



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В Г. БИШКЕКЕ (НС РАН)

МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР -  
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН (МНИЦ - ГП)

## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ



XII ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ

## МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

22 - 24 апреля 2020 года  
г. Бишкек



**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
НАУЧНАЯ СТАНЦИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В Г. БИШКЕКЕ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР –  
ГЕОДИНАМИЧЕСКИЙ ПОЛИГОН**

**XII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Сборник материалов  
XII Международной конференции молодых ученых и студентов**

**22-24 апреля 2020 года  
г. Бишкек**

**УДК 001**  
**ББК 30.6**  
**С56**

Ответственный редактор:  
Забинякова О.Б.

Редакционная коллегия:  
Асеева А.Н., Баталева Е.А., Имашев С.А., Карабут Н.В., Кульков Д.С., Матюков В.Е.,  
Мельниченко О.В., Морозова Л.Е., Непейна К.С., Саламатина Ю.М., Чешев М.Е.

Дизайн обложки:  
Борисова О.Г.

**С56 Современные техника и технологии в научных исследованиях:** Сб. материалов XII  
Междунар. конф. молодых ученых и студентов. – Бишкек: НС РАН, 2020. – 481 с.

**ISBN 978-9967-12-861-3**

В данный сборник включены материалы XII Международной конференции молодых ученых и студентов «Современные техника и технологии в научных исследованиях», проведенной Научной станцией РАН и Международным научно-исследовательским центром – геодинамическим полигоном в г. Бишкеке. В сборнике представлены работы молодых ученых и студентов из России, Киргизии, Узбекистана, Казахстана, Таджикистана и Украины, охватывающие исследования в области мониторинга геосреды, физики и механики горных пород, оценки сейсмического и геологического риска, математического моделирования различных процессов и других научных направлений.

Сборник может быть полезен студентам, аспирантам и специалистам, занимающимся исследованиями в области наук о Земле, механики и математики.

Утверждено к печати Ученым советом  
ФГБУН НС РАН в г. Бишкеке

**УДК 001**  
**ББК 30.6**

**ISBN 978-9967-12-861-3**

©ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке

©Международный научно-исследовательский  
центр - геодинамический полигон в г. Бишкеке

© Коллектив авторов, 2020

---

# **Геофизический мониторинг и геоинформационные системы**

---

## AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING OPEN PIT WALLS TAKING INTO ACCOUNT CLIMATE PROPERTIES

Alparov A.  
alparov\_a@auca.kg  
AUCA, Bishkek, Kyrgyzstan

*The study indicates the importance of the observation systems in the mining industry within seasonal climate changes. It reviews the tectonic settings of the study area which is Bozymchak mine. The study presents methods, software, and equipment used in the monitoring process. This work concludes that monitoring is an essential process in mining safety. As shown by local climate properties, within the monitoring period were lowest temperature around 0°C. and relative humidity is 80%. It's important to repeat such monitoring in the summer period too, as far as in this period will have the highest temperature and lowest relative humidity. Within the study, we recommend to make a seasonal monitoring taking into account a wider range of climate data (temperature), as it's quite different in summer compared to winter season.*

**Key words:** *fault, monitoring, open pit, walls, deposit, temperature, humidity.*

*Исследование указывает на важность систем наблюдения в горнодобывающей промышленности в условиях сезонных изменений климата. В данном исследовании рассматриваются тектонические параметры района исследования, который является рудником Бозымчак. В исследовании представлены: методы, программное обеспечение и оборудование, используемые в процессе мониторинга. В этой работе делается вывод о том, что мониторинг является важным процессом в безопасности горных работ. Как показали местные климатические свойства, в течение периода мониторинга были самые низкие температуры около 0°C. и относительная влажность составляет 80%. Важно повторить про такой мониторинг и в летний период, поскольку в этот период будет самая высокая температура и самая низкая относительная влажность. В рамках исследования мы рекомендуем проводить сезонный мониторинг с учетом более широкого диапазона климатических данных (температуры), поскольку летом он сильно отличается от зимнего сезона.*

**Ключевые слова:** *разлом, мониторинг, карьер, борта, отложения, температура, влажность.*

### Introduction

In the modern world, with an increase in the design parameters of quarries (depth, width), accordingly, there is a need to increase the general angle of the quarry. In turn, an increase in the general angle of the quarry necessitates continuous monitoring of the condition of the sides of the quarry. In connection with this need, a robotic total station was invented. All these incidents could be solved by geotechnical monitoring. Observations of the geotechnical condition of open pit walls and dumps within the Bozymchak field are of particular importance due to the high seismicity of the region (9 points). The observation system proposed by this program will make it possible to assess the extent of the impact of industrial activity and, if necessary, to develop technical protection measures in a timely manner. Most of the problems are appearing because of lack of data. Services that should prevent these incidents are not able to respond appropriately enough. Here is the solution. By the continuous monitoring of most risky and unstable areas we can predict mudflows and save people's lives. Because the lives of people and our workers are the most important part of our country.

### **Tectonic setting**

The Bozymchak deposit is located in the Hawasai ore district, divided into two ore fields: Hawasai and Bozymchak. The location of deposits is associated with the Dzhalgzyuryuk granitoid massif embedded in terrigenous-carbonate sediments of the Devonian and Carboniferous.

Faults are attributed to pre-ore tectonic disturbances in the deposit, which to some extent control the location of skarn deposits and ore mineralization, or ore mineralization develops in fault zones. This is reliably established for the hanging contact of the skarn ore deposit complicated by consonant discontinuous disturbances (Longitudinal fault).

In addition to faults consistent with the skarn deposit, the field has developed a large number of secant disjunctive structures. They have northwestern, northeastern and close to meridional strike. The role of many of them in the localization of the skarn deposit and ore bodies is quite definite. These are the following faults from west to east: Western, Central, North-Western, Shtolnevoy, Dykovy [1]. Cross-cutting faults are much more than listed. But many of them, especially in the Eastern section between the Shtolnev and Dykov faults, are still difficult to identify due to the lack of exploration data.

The western fault is the natural western boundary of the Central section of the field. The fault stretches northwest ( $340-350^\circ$ ), in some section's meridional. East fall at angles of  $80-85^\circ$ . Throughout the fault, it is accompanied by a zone of crushing and ironization of the rocks. A powerful skarn deposit is located on the hanging side of the fault. A fault is a fault-shear. Omitted is the eastern bloc. The amplitude of the vertical movement is about 200 m, the amplitude of the horizontal movement (with the shift of the lying block to the south) is 40-50 m.

Central and North-Western faults, both north-western strikes, limit the interval with a sharply increased thickness of the ore-bearing skarn deposits. The central fault has a southwestern dip at an angle of  $80^\circ$ . On it, the eastern block is raised by about 25 m and on the horizon of adit No. 6 it is shifted southeast by 50–60 m. Crushing, ironization and carbonation with a thickness of 10–15 m is observed along the fault. The Northwest Fault has a steep fall to the northeast. On it, the eastern block is raised by at least 40 m.

The adit fault has been opened by adit gate No. 6, has a northeastern  $20^\circ$  extension, and falls to the northwest at an average angle of  $60-65^\circ$ . The role of the fault in relation to the localization of mineralization is not clear. The fault divides the Central and Eastern sections. The dike fault has a northeastern strike, a dip to the northwest at angles of  $70-80^\circ$ . The thickness of the fault zone is 1–3 m. It divides the Vostochny and Davan sections. Mineralization at the Davan site is partially localized in the zone of this fault.

Latitudinal faults take part in the distribution of sulfide mineralization at the deposit, which is confirmed by the latitudinal strike of the pyritization and copper mineralization zones. A latitudinal bottom fault limits the explored, elevated part of the field; it was discovered in the left side of Bozymchak-say on the surface, in depth - by wells in the Central section. Its extension is east-northeast  $70^\circ$ , falling to the north-west.

The angle of incidence of the fault surface to the northwest ranges from  $40-45^\circ$ , rarely steeper. Along the Latitudinal Fault, the tectonic block of the Central section between the Western and Shtolnoy faults is pushed to the south. The fault is long-lived, with obvious young movements. The fact that in the ditches it is accompanied by ore mineralization testifies to the pre-ore time of the fault. In the post-ore period, the fault movement was more intense and led to the displacement of the lower part of the skarn deposit by hundreds of meters.

According to the drilling carried out in recent years by Kazakhmys Gold Kyrgyzstan, a part of the ore body displaced downward was marked at 1730–1650 m and 1815–1735 m (the Gluboky site). The displacement amplitude in the fault plane was 280 and 200 m, respectively.

The parameters of the ore deposit are largely determined by discontinuous violations, consonants and secants [1]. The relative position of the ore deposit and faults, from the model in the Micromine program, is shown on Figure 1.

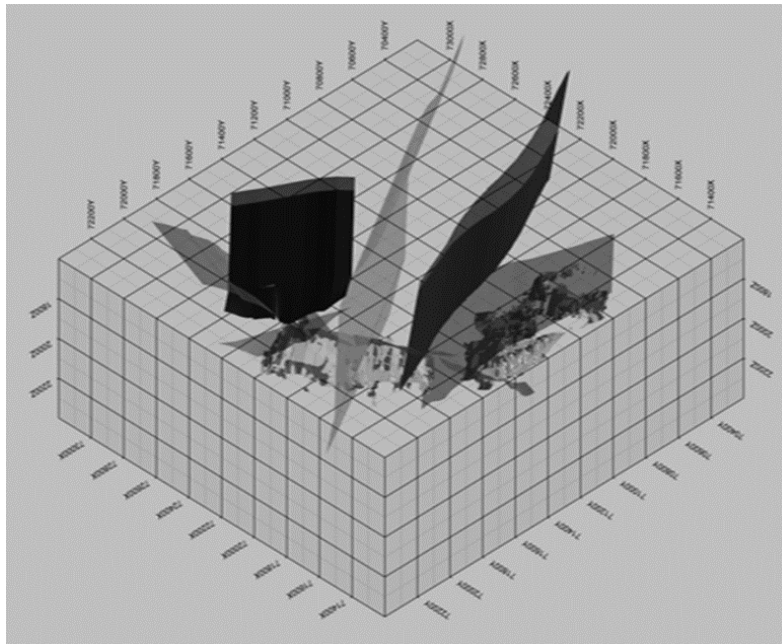


Figure 1 – Mutual arrangement of ore deposits and faults

### Methodology

Traditional method of monitoring the open pit walls deformations. In the traditional method of instrumental observation there is a necessity for mine workers to walk on berms every time for installation of a reflector to reference marks to carry out measurements. In terms of safety this is a high risk, especially in the period of thawing and after rainy days.

Leica Nova MS50 robotic electronic tacheometer with the scan function was purchased in order to implement the automated system for monitoring open pit walls.

Short technical characteristics of Leica Nova MS50: Angular accuracy - 1"; Linear measurement – to reflector - from 1.5 m to >10000 m, accuracy 1 mm + 1.5 ppm; Without reflector - from 1.5 m to 2000 m, accuracy 2 mm + 2 ppm; Automatic guidance to reflector - range for regimes ATR 2 / Lock 2; Scan – Max. range 7/ range of sound (1 sigma) 4; Imaging – camera and viewing telescope, CMOS sensor - 5 megapixels.

At the open pit bench fragment, you can see the rock sloughing from top benches that create a risk during traditional method of monitoring.

2.5-3.0 meters deep well was drilled at the installation site of the robot itself and concreted. The operated tachometer must be in a stable and fixed place. In case of instability, the data will merge. Red lines (Darker) are hard points with which the coordinates are reconciled. It is also necessary to constantly update using hard points. Blue lines are monitor prisms. By them we do online monitoring.

Disposition plan of reference marks at the open pit South wall and waste pile №1. At first, a topographical plan of the open pit and waste pile is downloaded to software as an underlying layer, then after adjustment of a robotic tacheometer above the reference point, reference marks (monitoring reflectors) are installed on safety berms. Initial coordinates (zero points) of observation stations are recorded in a traditional way to save in the database of Leica GeoMos software. Subsequent monitoring of reference marks is conducted automatically.

### Results

Currently, in order to track deformations, 13 monitoring prisms were installed at the south wall of the open pit (+2410 m, +2400 m and +2390 m) (fig.2).

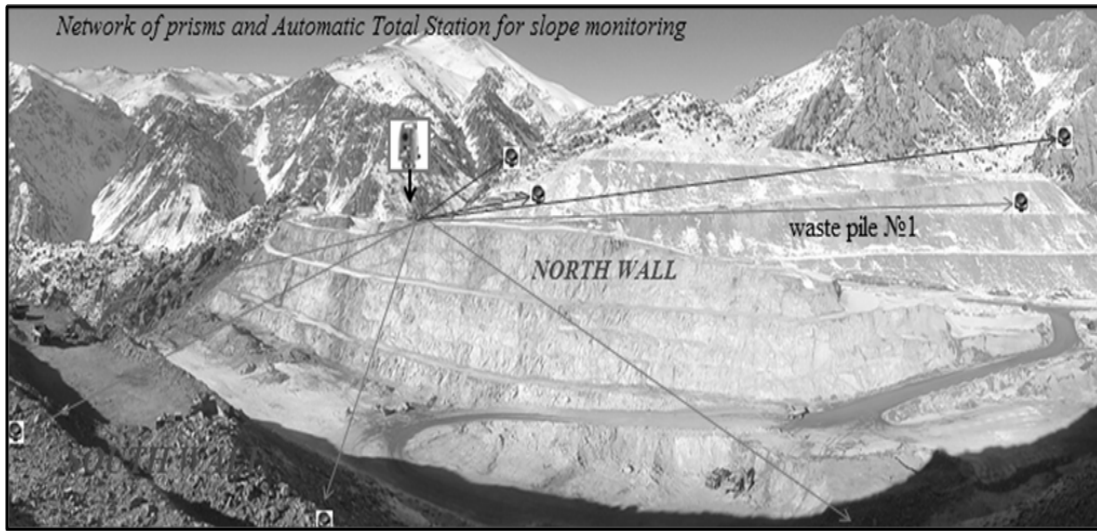


Figure 2 – View from South wall of the open pit

Leica GeoMoS is a state-of-the-art software monitoring system, configured for a specific application, on existing and under construction objects of any size. Each monitoring project presents certain requirements for the measurements made and their accuracy. Leica GeoMoS software provides a highly flexible automatic deformation control system that can combine the readings of geodetic, geotechnical, and meteorological sensors according to your needs. On Figures 3-5 are shown results and their interpretation.

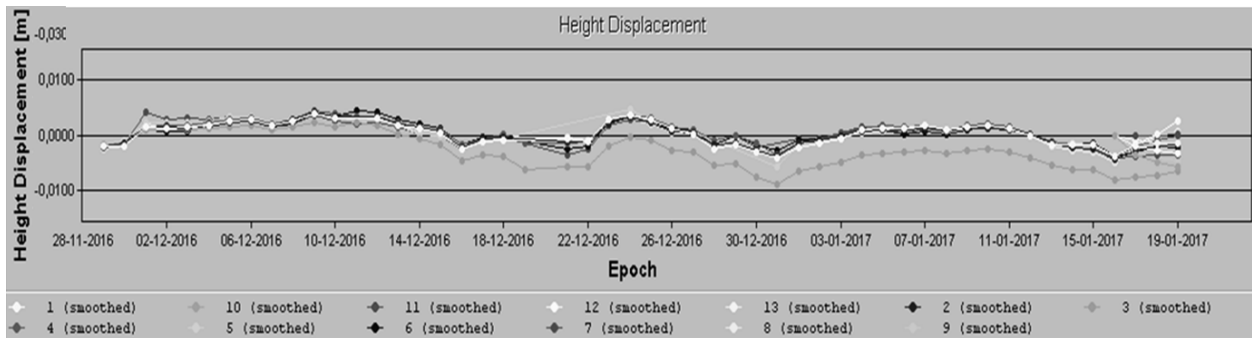


Figure 3 – Diagram of observation stations height displacement

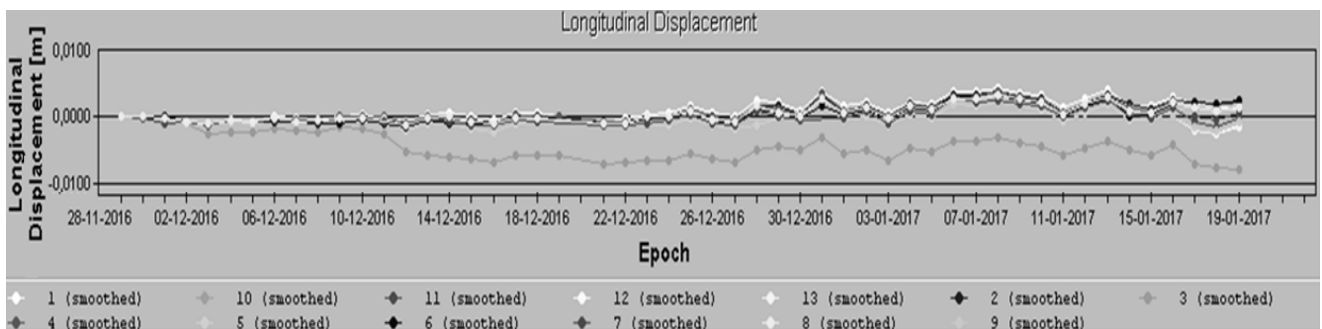


Figure 4 – Diagram of observation stations longitudinal displacements (distance from tacheometer to observation station)



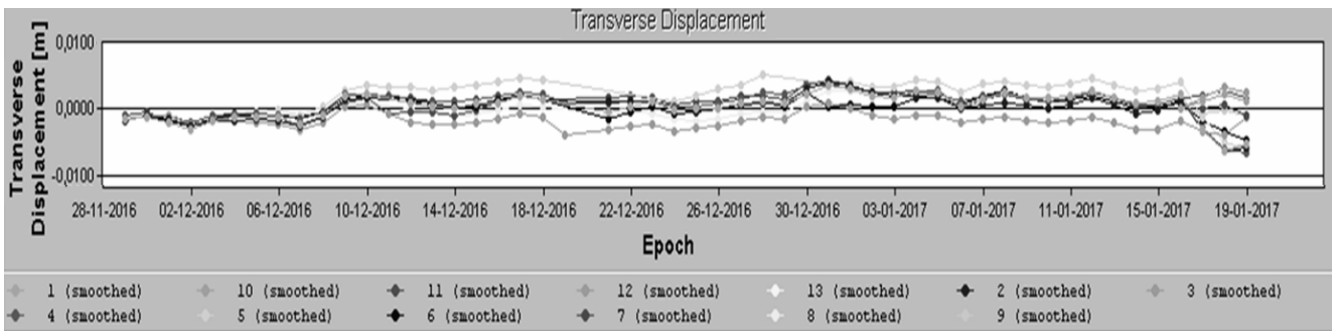


Figure 5 – Diagram of observation stations transverse displacements (deviation from the initial position of the observation station to the left or right)

The open pit is located on a high mountainous area and as well as it's very important climate properties. We have analyzed 10 years data within January, 2010 to December, 2019 from [3]. Figure 6 is an average annual temperature (min/max, °C) and relative humidity (%) for 10 years 2010-2019 yy.

As shown in the figure 6 average temperature is around 0 °C in the winter period, when monitoring open pit via equipment within 26 November 2016 to 19 January 2017. Relative humidity in this period is around 80%.

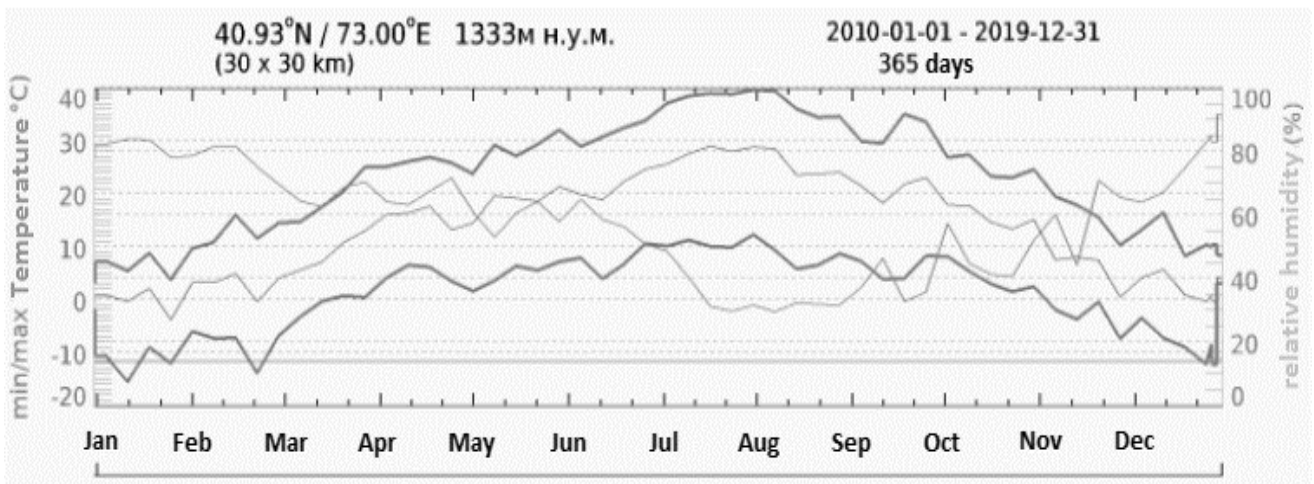


Figure 6 – Average annual temperature (min/max, °C) and relative humidity (%) for 10 years, 2010-2019 yy

The following photos (fig.7) have been made through a tacheometer built-in camera for visual inspection of the state of observed reference mark. Assessment of the prism photo quality. Distance from the tool to prism is 165 m and distance from the tool to the prism is 500 m.

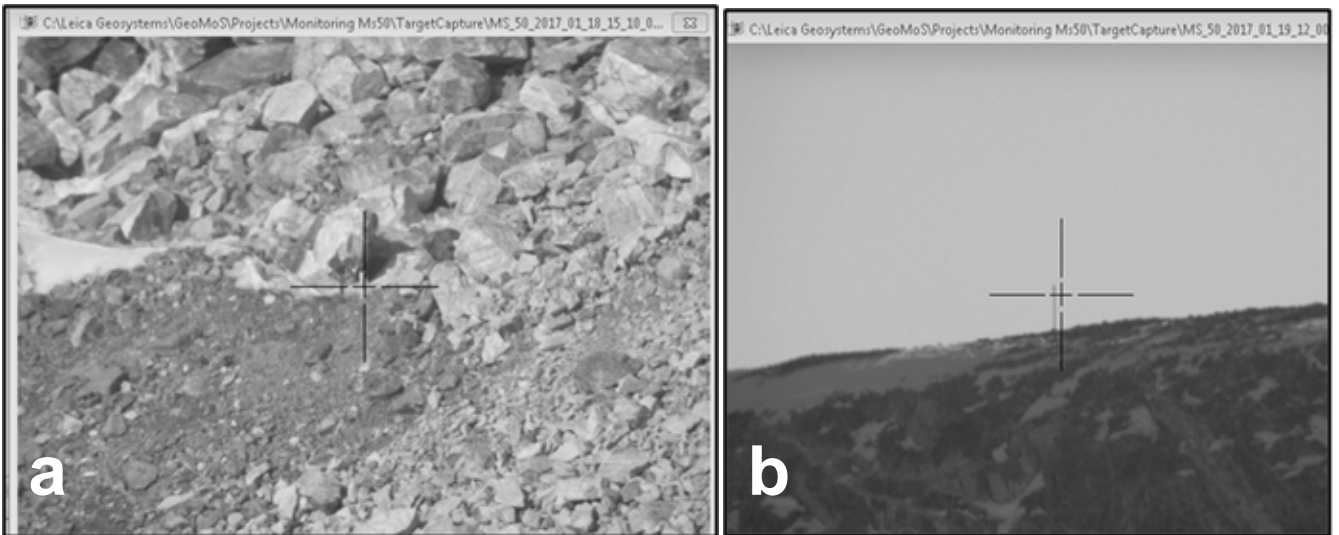


Figure 7 – a) The following photos have been made through a tacheometer built-in camera for visual inspection of the state of observed reference mark, b) The following photos have been made through a tacheometer built-in camera for visual inspection of the state of observed reference mark

Currently, we installed the limits, listed below. In case of exceeding these limits (fig. 8), GeoMoS will send messages to email, and additional GSM equipment will be installed for sending messages to mobile phones of the relevant open pit workers.

Type	Interval [h...]	Limit 1 ...	Limit 2 [m]	Limit 3 [...]
<input type="checkbox"/> Absolute Limit Ch...		0.000	0.000	0.000
<input checked="" type="checkbox"/> Short Time Limit ...	4.00	0.020	0.030	0.035
<input checked="" type="checkbox"/> Long Time Limit ...	24.00	0.018	0.020	0.030
<input type="checkbox"/> Regression Check	24.00	0.000	0.000	0.000

Figure 8 – Failure criteria. Limit class

### Conclusion

In conclusion, in this research you can deeply understand the advantages of the continuous monitoring of open pit walls by automated systems. By research I wanted to show how it is important to monitor open pit walls all the time. Open pit walls are potentially hazardous areas. Kaz Minerals as a company who put the safety of their workers in the first place are always interested in implementing such methods to keep workers safe. As shown by local climate properties (fig.6), within the monitoring period were lowest temperature around 0°C. and relative humidity is 80%. It's important to repeat such monitoring in the summer period too, as far as in this period will have the highest temperature and lowest relative humidity.

We can also apply this experience in civil engineering to save the lives of our citizens and this method applicable for monitoring of glaciers and the effect of Global Warming on them. Kyrgyzstan as a mountainous country should identify such hazardous areas and predict any incidents. With the help of nowadays technologies we can do it and save lives. Because the lives of individuals and our laborers are the foremost vital portion of our nation.

Within the carried-out study, we recommend to make a seasonal monitoring taking into account a wider range of climate data (temperature). As far as it's quite different in the summer period compared to winter season.

#### **References**

1. ОсОО "KAZ Minerals Вozымчак". (2017). Корректировка Проекта Добычного Комплекса Подземного Рудника На Месторождении Бозымчак (1st ed., Vol. 1). Bishkek.
2. Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Switzerland, Retrieved from [https://www.gfk-leica.ru/katalog/programmnoe\\_obespechenie/po\\_leica/leica\\_geomos/](https://www.gfk-leica.ru/katalog/programmnoe_obespechenie/po_leica/leica_geomos/)
3. Karl G. Gutbrod, Meteoblue, Handelsregister Basel-Stadt No. CH270.4.014.796-3, Switzerland.

## ESTIMATION OF BASE DISTANCES ACCURACY BY PHOTOGRAMMETRY METHOD

Salamatina Yu. M.

*salam@gdirc.ru*

Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek city, Bishkek, Kyrgyzstan

*If traditional methods of positioning characterize one point of area, then the photogrammetry method gives information on the positioning of a 2- or 3-dimensional object. Test works had performing on the site of geodetic area POLYGON with 5 geodetic benchmarks P0÷P4 located on the northern slopes of Kyrgyz Range, 20 km south of the city of Bishkek. Photography by drone DJI Magic Air on 11.04.2019 was in two stages at an elevation of 70 m and at an elevation of 30. Topographic plans and digital 3D surface models for 2 projects were built based on aerial photographs. We found, the longer the baselines between geodetic benchmarks and the steeper its slope, the worse the true distance between geodetic benchmarks is determined by the photogrammetry for the 6 baselines (P2=3, P2=4, P3=4; P0=1, P0=2, P1=2). Selected photogrammetry method with improved technical and analytical indicators cannot provide the necessary accuracy of relative positioning in millimeters for geodynamic purposes.*

*Keywords: photogrammetry method, linear-angular measurements, variations of base lines, accuracy*

Geographic informatics and geographic information systems (GIS) based on location allow to link and analyze highly heterogeneous information. For the staff of the Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek city (RS RAS), this topic is of interest in terms of geodynamic research. Long-term observations by methods of space and ground geodesy at separate reference points on Earth's surface allows us to evaluate current movements of the earth's crust, taking into account geological, seismological and other geophysical data [1-3]. Geodynamic displacements of the Earth's surface within Central Asia are vary from 1-2 to 20 mm per year, therefore the problem of geographical or relative positioning accuracy of observed objects is important [4].

In addition to existing methods of positioning (ground and space geodesy), new methods of mapping and photogrammetry has been actively developed recently, utilizing unmanned aircraft vehicles (UAV, drones) equipped with cameras and GNSS positioning tools. If traditional methods of positioning characterize one point of area, then the photogrammetry method gives information on the positioning of a 2- or 3-dimensional object. For the purposes of geodynamic research, the accuracy of such positioning in geographical coordinates is very small, especially in kinematics mode or at moving observer. However, relative positioning between reference points based on photography can be of practical interest.

The RS RAS territory is located on the northern slopes of Kyrgyz Range, here is also one of the areal objects for regular deformation observations of near-surface part of the earth's crust (Fig.1).

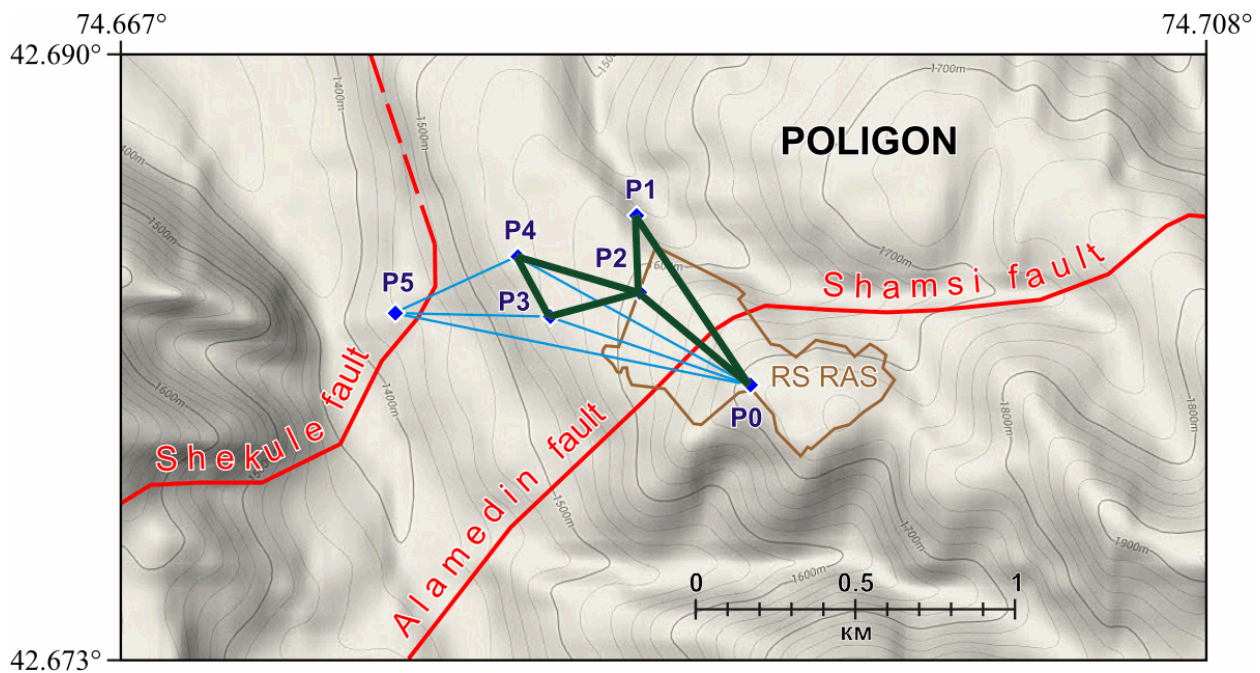


Figure 1 – Position of geodetic benchmarks (P0÷P5), and 11 connecting those baselines (BL) of the POLIGON area for GPS and linear-angular measurements. Bold straight lines are distances for comparative analysis of different positioning methods. Curve lines are active faults

Regular GPS and linear-angular measurements are taken at the fundamental geodetic benchmarks of the POLIGON area from June 2012 to the present. At 11 BL of area, linear-angular measurements are performed weekly, and 36-hour GPS positioning sessions are carried out 4 times a year at 6 geodetic benchmarks. The convergence of results and the accuracy of such measurements can be represented by the following graphical representation (Fig.2).

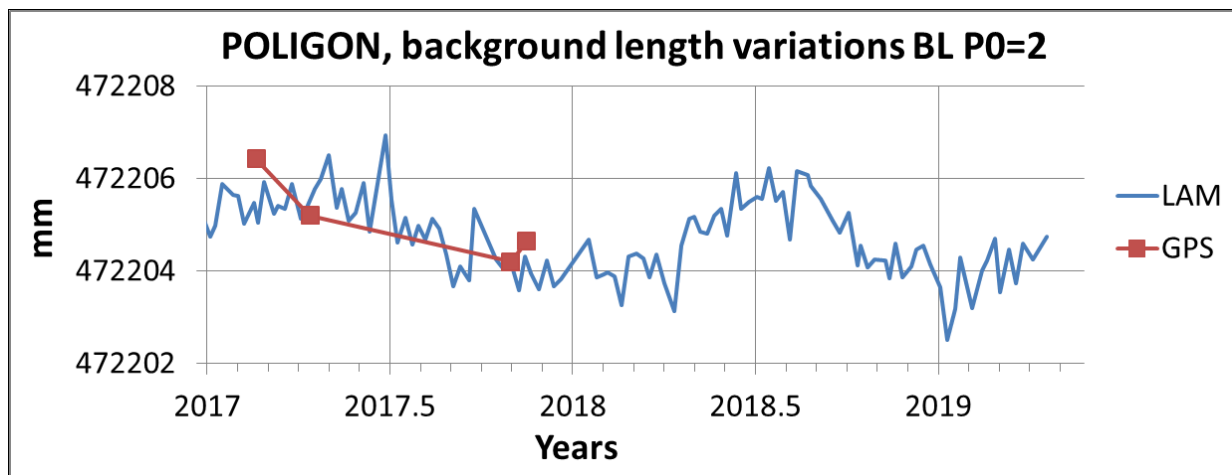


Figure 2 – Length variations P0 = 2 BL according to weekly linear-angular measurements (LAM), and to episodic 36-hour GPS observations (after a full processing cycle by the program GAMIT/GLOBK)

In our case, "background variations" means all LAMs of baselines lengths, except for the excluded extreme length increase of 17 mm from 12 to 26 September 2018 (3 dimensions). GPS observation data are presented on the basis of averaged positioning over 36 observation hours 4 times a year after the full processing cycle by the program GAMIT/GLOBK. Such averaging in itself excludes extreme outliers. The distribution of length variations for other BLs is almost the same both by the LAM method and by the GPS observation method. Differences in the length estimation of the same BL at the same time for LAM and GPS methods can achieve 2-3 mm. But it

is necessary to take into account the fact that LAM data are formed within 10-60 minutes, and GPS measurement data for 36 hours. Tectonic or other factors can influence the determination of lengths by different methods for different periods of time.

The technology of high-precision GPS positioning has no limitations on the distances between geodetic benchmarks on the earth's surface, but it requires at least daily measurements and a long time for data processing, with a lag of up to 1 year from the moment of measurement to obtaining coordinates. The LAM method we use is restricted to distances up to 3 km, but during the first tens of minutes it is possible to obtain quality data on the relative positioning of 2 geodetic benchmarks. Therefore, we will use data obtained by the LAM method as the reference BL lengths.

Aerial photography of the earth's surface can be used in the method of aerial photogrammetry (AFGM) to build detailed topographic plans and digital 3D surface models. Currently, there are professional drones being developed and available for geodetic tasks. They have built-in GNSS receivers and feature PPK (Post-Processed Kinematics) and RTK (Real Time Kinematic) technologies [5]. Claimed ground survey accuracy varies horizontally to 5 cm and to 10 cm vertically, depending on the drone and its equipment, data processing technology and the complexity of the observed area [5-7].

We utilized a non-professional Mavic Air drone (Fig. 3) of DJI Company [8] for experiment to research the accuracy of relative positioning based on aerial photography data and image processing method.



Figure 3 – The appearance of the remote controller and drone Mavic Air from DJI company

Such drone has the following specifications: navigation: GPS + GLONASS. Hovering accuracy with GPS positioning: vertically  $\pm 0,5$  m; horizontally  $\pm 1,5$  m. Camera: HDR 12 MP. Range of shooting: from 0,5m. Still image size 4:3 - 4056×3040 pixels, или 16:9 - 4056×2280 pixels. Photo format: JPEG [9].

For the experimental ground aerial photography, the site of the POLIGON area was selected, bounded by 5 geodetic benchmarks (P0 ÷ P4) and 6 bold BLs (Fig. 1). In this paper, data have presented from April 11, 2019 on 2 methods of aerial photography of the territory under different conditions. In the project, 3 geodetic benchmarks P2, P3 and P4 were fringed to a quadrilateral area with snake-like overflight trajectory in 35 meters (grid mission) at an elevation of 70 m and snapshot frequency every 13 m of the way (Fig. 4).

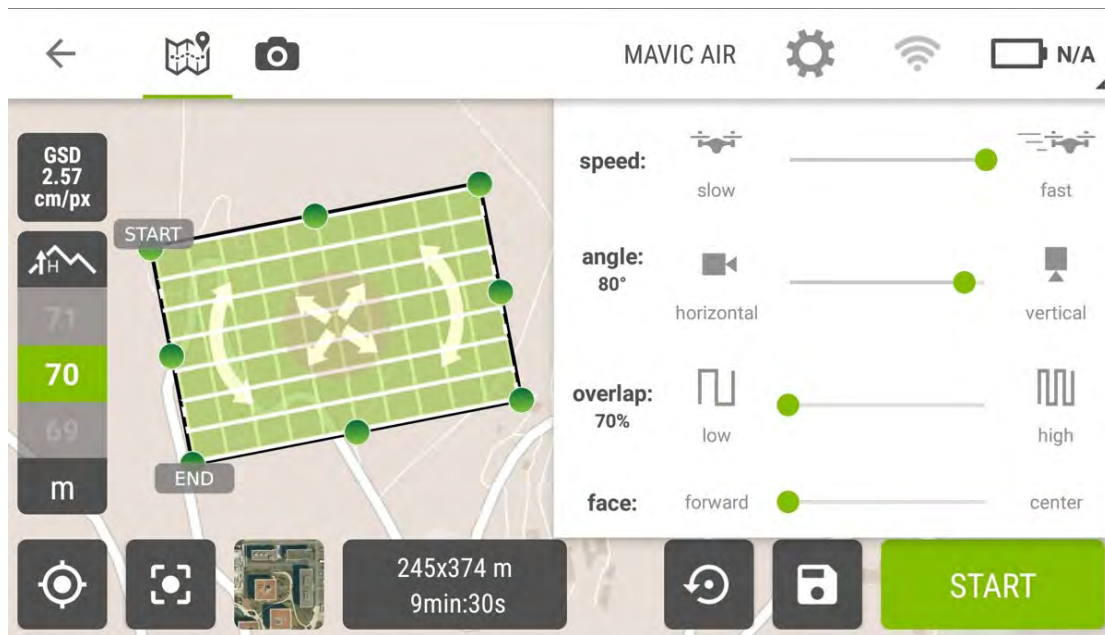


Figure 4 – Screenshot of the drone control panel for aerial photography of P2, P3 and P4 geodetic benchmarks at 70 m altitude

Due to the limited time (~20 minutes) of flight drone, the second project consisted of 3 rectangular tracks, covering separately pairs of geodetic benchmarks and BLs P0=1, P0=2 and P1=2. In this case, the flight was carried out along each BL with a similar snake-like overflight trajectory through 12 meters (grid mission) at an elevation of 30 meters and snapshot frequency every 10 m path.

One of the simple and affordable ways to implement the AFGM method - processing aerial photographs and building digital 2D and 3D surface models is using the Pix4D cloud server [10], which processes projects based on standard templates (Fig. 5).

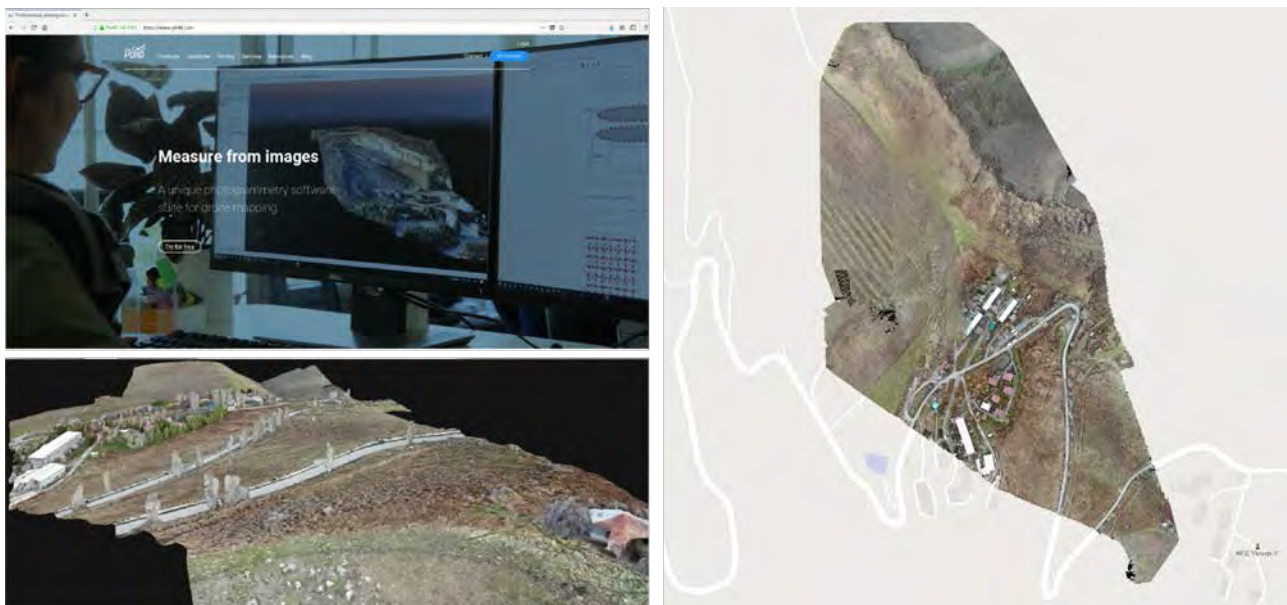


Figure 5 – Screenshot of the main page of the Pix4D website (top left), built digital 2D surface model (right), built 3D surface model (left bottom)

Based on the constructed digital 3D surface models according to AFGM method, we determined the distances between the above geodetic benchmarks for 6 baselines. So accuracy of

the selected photogrammetry method can be assessed based on a comparison of the baseline lengths determined by the AFGM and LAM methods (Table 1).

Table 1 – The lengths of 6 baselines determined by the methods of AFGM and LAM and its characteristics and accuracy of the method AFGM

Method	Date	Photography elevation 30 m			Photography elevation 70 m		
		P0=1, mm	P0=2, mm	P1=2, mm	P2=3, mm	P2=4, mm	P3=4, mm
AFGM	11.04.2019	658784.26	470900.60	245217.46	294070.30	405388.38	216920.84
LAM	05.04.2019	660079.76	472204.26	245615.26	293978.41	405259.91	217072.18
AFGM-LAM		-1295.50	-1303.66	-397.80	91.89	128.47	-151.34
LAM	Vert. angle, °	-11.02955	-14.32375	2.16931	-8.95883	-8.19659	-3.19707

From data presented in the table, it follows that with an aerial photography 30 m elevation all the distances according to BLs are determined with smaller values compared with the reference (LAM) BLs lengths. With an aerial photography 70 m elevation, the longest lines (P2=3 and P2=4) already exceed their true values. In general, the longer the BL and the steeper its slope, the worse the true distance between geodetic benchmarks is determined by the AFGM method. Theoretically, you can choose the height of aerial photography, at which for a given set of BLs their length will be determined with minimal error.

Obviously, the selected AFGM method (type of drone, resolution of the camera, numerical processing of photographs) cannot provide the necessary accuracy of relative positioning in millimeters for geodynamic purposes. In the future, there are options for testing AFGM methods with improved technical and analytical indicators for constructing 3D surface models.

*The work was performed as part of the state assignment for the Federal State Budgetary Institution of Science of the Research Station of the Russian Academy of Sciences in Bishkek (Registration number No. AAAA-A19-119020190066-3).*

### References

1. Kuzikov, S.I.; Mukhamediev, Sh.A. Structure of the Present-Day Velocity Field of the Crust in the Area of the Central-Asian GPS Network. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 2010, 46 (7), 584–601, DOI: 10.1134/S1069351310070037.
2. Rebetsky Yu.L., Kuzikov S.I. Active faults of the northern Tien Shan: tectonophysical zoning of seismic risk // *Russian Geology and Geophysics*. – 2016. – No.57. – Pp.967–983.
3. Qiao X., Yu P., Nie Z., Li J., Wang X., Kuzikov S.I., Wang Q., Yang S. The Crustal Deformation Revealed by GPS and InSAR in the Northwest Corner of the Tarim Basin, Northwestern China // *Pure and Applied Geophysics*. – 2017. – Vol.174. – Iss.3 – Pp.1405–1423. doi:10.1007/s00024-017-1473-6.
4. Kuzikov, S.I. Methodical Questions and Accuracy Problems of GPS Observations by the Example of the Geodynamic Proving Ground in Bishkek. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth* 2014, 50 (6), 770–784, DOI: 10.1134/S1069351314060032.
5. Pix4D. Do RTK/PPK drones give you better results than GCPs? Available online: <https://www.pix4d.com/blog/rtk-ppk-drones-gcp-comparison> (accessed on 14 March 2020).
6. DJI. Phantom 4 RTK. Available online: <https://www.dji.com/phantom-4-rtk> (accessed on 14 March 2020)
7. WINGTRA. WingtraOne. Available online: <https://wingtra.com/drone/> (accessed on 14 March 2020)
8. DJI. Mavic Air. Available online: <https://www.dji.com/mavic-air> (accessed on 14 March 2020)
9. DJI. Mavic Air Specs. Available online: <https://www.dji.com/mavic-air/info> (accessed on 14 March 2020)
10. Cloud Pix4D. Available online: <https://cloud.pix4d.com/> (accessed on 14 March 2020)



## HYDROLOGICAL SIMULATION OF THE KYZYL-SUU RIVER

Zhumabaev A.Z., Kulenbekov Z.E.  
zhumabaev.aidar1999@gmail.com, kulenbekov@gmail.com  
American University of Central Asia, Bishkek, Kyrgyzstan

*Kyzyl-Suu River's runoff model was simulated using Mike Hydro Basin software; CROPWAT software was used in order to calculate evapotranspiration rates. The precipitation and temperature were gathered from the weather stations located in the study area, Daroot-Korgon and Sary-Tash villages, Kyrgyzstan. As a result the mean river runoff level of summer 2016 is noticeably lower compared to 2015 and 2017. It is because of the low level of precipitation. Relative high river runoff rates in summer 2017 are due to lower evapotranspiration rates and higher amount of precipitation. First time in Kyrgyzstan the river runoff model simulation of the Kyzyl-Suu River was carried out by this paper authors.*

*Key words: Hydrology, Kyzyl-Suu, runoff, Mike Hydro Basin, simulation.*

*Моделирование стока реки Кызыл-Суу был произведен с использованием программного обеспечения Mike Hydro Basin; Программное обеспечение CROPWAT использовали для расчета показателей суммарного испарения. Осадки и температура были получены с метеостанции, расположенной в районе исследований, деревнях Дароот-Коргон и Сары-Таш, Кыргызстан. В результате средний уровень стока реки летом 2016 года заметно ниже по сравнению с 2015 и 2017 годами. Это связано с низким уровнем осадков. Относительно высокие показатели стока реки летом 2017 года связаны с более низким суммарным испарением и большим количеством осадков. Впервые в Кыргызстане симуляция модели стока реки Кызыл-Суу был произведен авторами данной статьи.*

*Ключевые слова: Гидрология, Кызыл-Суу, сток, Майк Хайдро Бейзин, симуляция*

### Introduction

River is one of the most essential components of the environment. It is an important source of water and nourishment supply. River is a vital shared natural resource. Moreover, rivers are dynamic fluvial systems. Natural and anthropogenic activities influence river systems. Human interventions and ecological changes are significant factors that impact hydrological processes. Thus, it is essential to monitor and evaluate these systems to comprehend their dynamics. This work aims to create a hydrological simulation of the Kyzyl-Suu River; analyze the simulation for better understanding and further forecast the impact of climate change on the river.

### Study area

Kyzyl-Suu River flows through the Alay and Chon-Alai valleys (Kyrgyzstan). The sources of the river are glaciers that are located at Trans-Alay Range. The mouth is Vakhsh river 39°16'13.0"N 71°22'51.0"E, where Kyzyl-Suu joins the Muksu river. Biggest settlements along the river are Sary-Tash, Daroot-Korgon, Jekendi, Dombachy. The map illustrated below (fig.1) shows a study area of this paper.

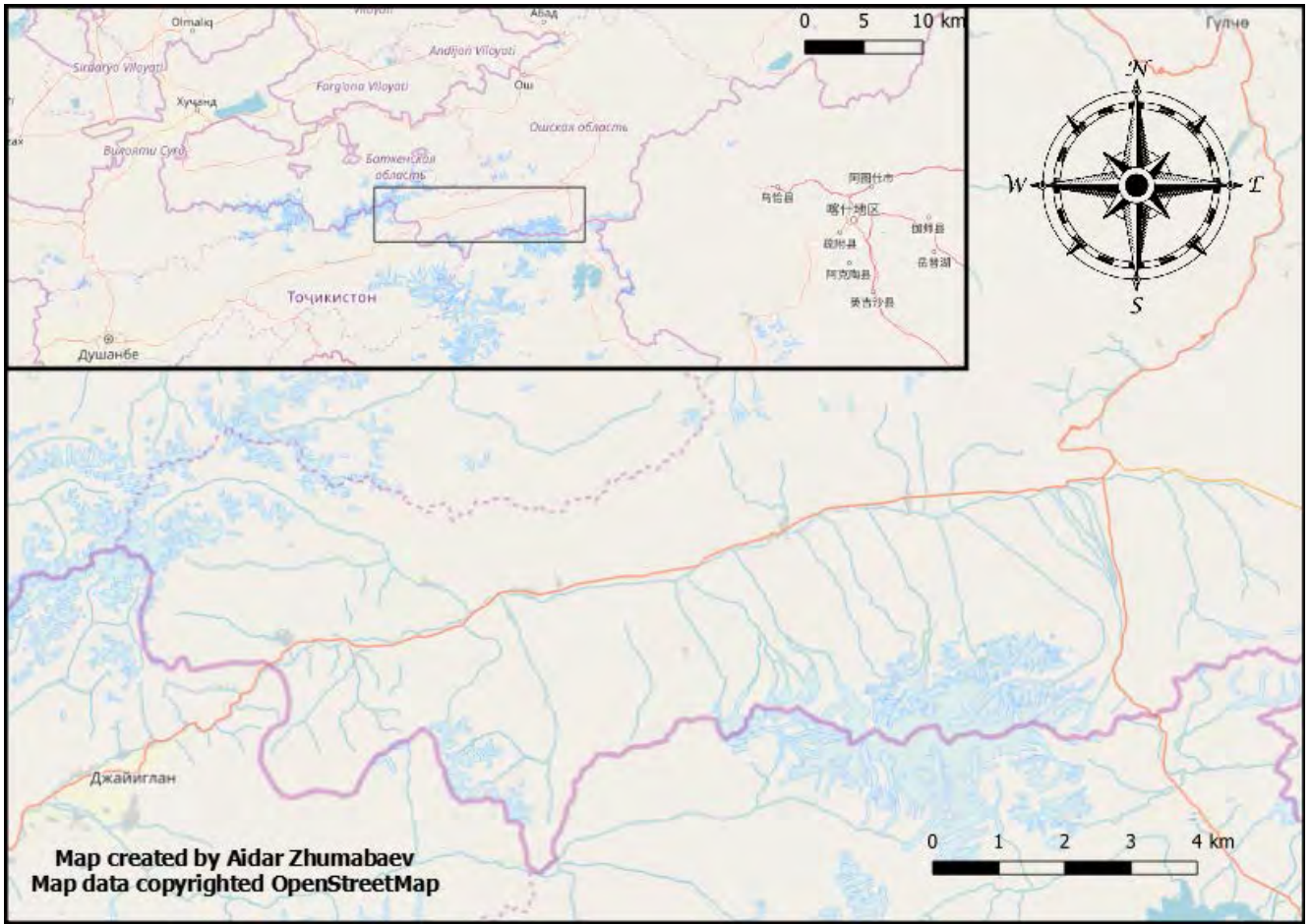


Figure 1 – Kyzyl-Suu river basin (Kyrgyzstan, Central Asia). Map data is available under the Open Database License CC BY-SA [openstreetmap.org/copyright](https://openstreetmap.org/copyright) [1,2]

### Methodology

This work uses the Mike Hydro Basin tool for runoff calculation. It is software for integrated water resources analysis, planning and management of river basins. It was developed by Danish Hydraulic Institute (DHI), Denmark [3]. The software is used for analyzing water sharing issues at international and local levels.

### Input data

Input data are precipitation, temperature, and evapotranspiration. Precipitation and temperature data are acquired from the land-based observation stations. Evapotranspiration is calculated using the CROPWAT software [4] developed by Food and Agriculture organization (FAO). Formula used in this software is the FAO Penman-Monteith equation (1).

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)} \quad \text{FAO Penman-Monteith equation} \quad (1)$$

where

- ET<sub>0</sub> reference evapotranspiration (mm day<sup>-1</sup>),
- R<sub>n</sub> net radiation at the crop surface (MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>),
- G soil heat flux density (MJ m<sup>-2</sup> day<sup>-1</sup>),
- T mean daily air temperature at 2 m height (°C),
- u<sub>2</sub> wind speed at 2 m height (m s<sup>-1</sup>),
- e<sub>s</sub> saturation vapour pressure (kPa),
- e<sub>a</sub> actual vapour pressure (kPa),

$e_s - e_a$  saturation vapour pressure deficit (kPa),  
 $D$  slope vapour pressure curve (kPa °C<sup>-1</sup>),  
 $g$  psychrometric constant (kPa °C<sup>-1</sup>).

This formula was developed by experts from FAO, International Commission for Irrigation and Drainage (ICID), and the World Meteorological Organization (WMO) [5].

In order to compute the evapotranspiration values, the software needs to have climatological records of sunshine (hours), air minimum and maximum temperature, humidity (%) and wind speed (km/day). The outputs are sunshine radiation (MJ/m<sup>2</sup>/day) and evapotranspiration (mm/day). The results of these calculations can be seen in the graph below (fig.2).

### Evapotranspiration

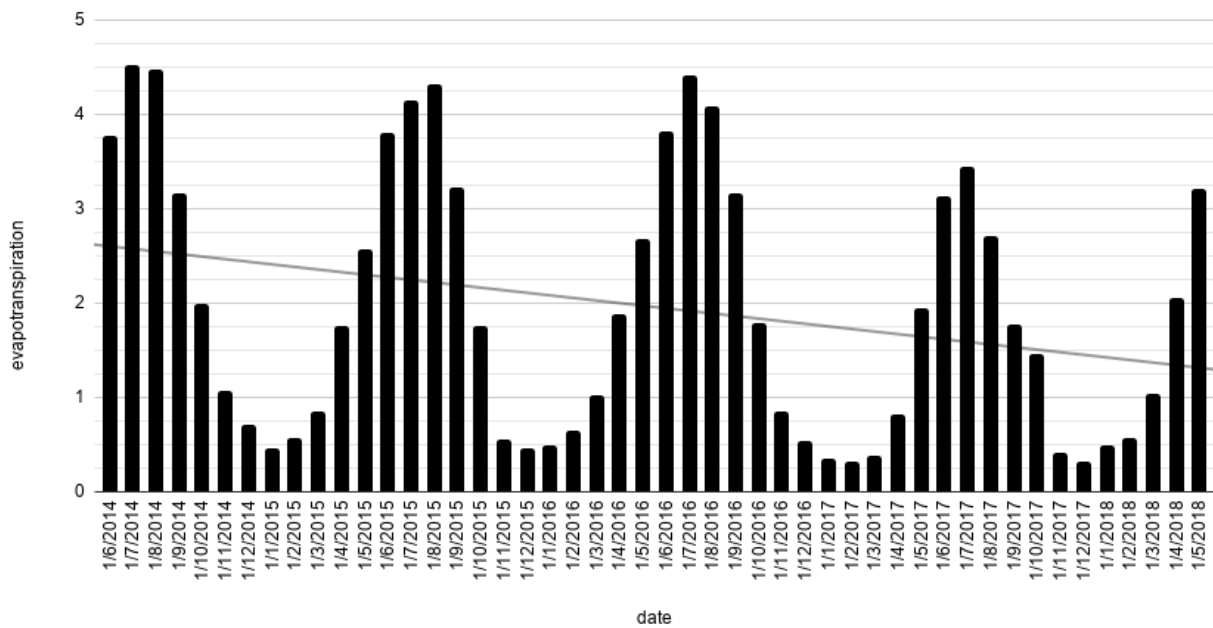


Figure 2 – Evapotranspiration (mm/day) data from 2014 to 2018

Temperature and precipitation data were acquired from a land-based meteorological observation station located in the Kyzyl-Suu river basin.

The following graph (fig.3) shows the mean temperature from 1/6/2014 to 30/5/2018. This data was calculated from minimum and maximum temperature that was obtained from a land-based observation station.

### Mean temperature

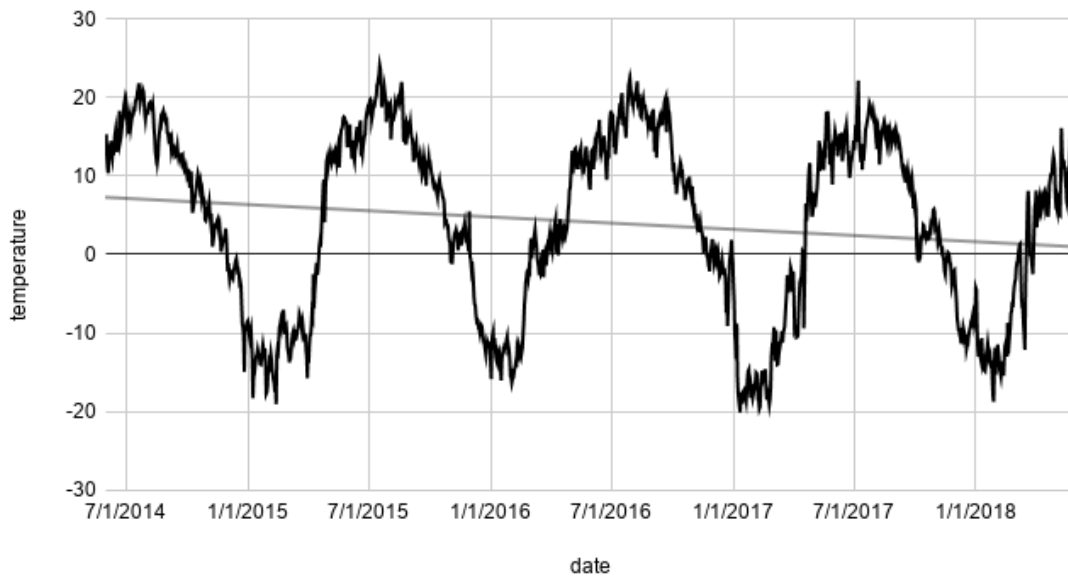


Figure 3 – Mean temperature (°C) data from 2014 to 2018

The same timeline presented in the step-accumulated precipitation (mm/day) chart (fig.4). This barchart illustrates data for each day. Data collection has been done instrumentally.

### Precipitation

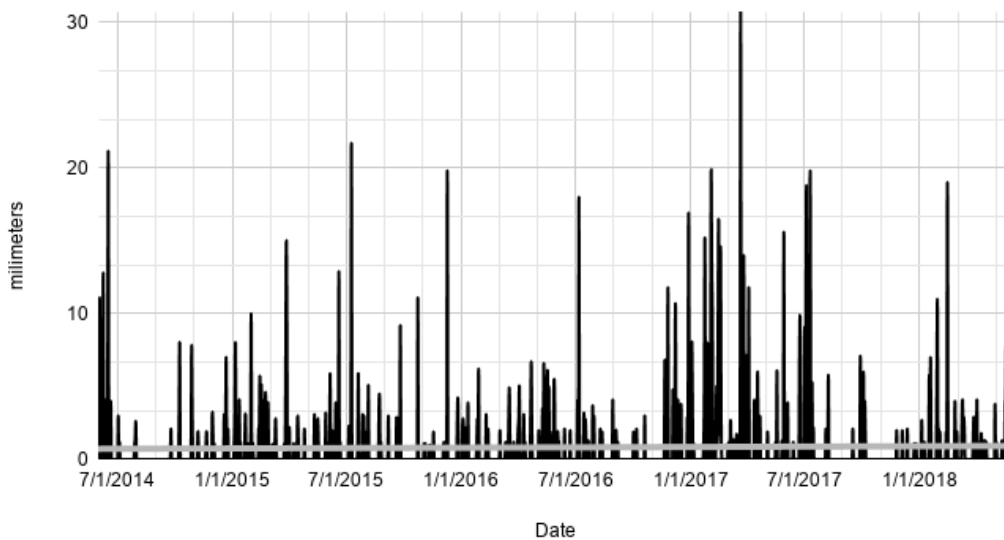


Figure 4 – Precipitation (mm/day) data from 2014 to 2018

### Results

The program outputs the runoff data (fig.5). Results show that runoff values fundamentally depend on seasons; in winter a few water is drained away because it is frozen due to low temperatures. That produces natural icy and snowy water reservoirs. Relative high evapotranspiration caused by high mean temperature indicates extremely low runoff values in summer 2014. However, it does not correlate with precipitation data in the same timeline. Possibly, software has made a mistake because of the absence of the data before summer 2014.

Mean runoff level of summer 2016 is noticeably lower compared to 2015 and 2017. It is because of the low level of precipitation. Relative high runoff rates in summer 2017 are due to

lower evapotranspiration rates and higher amount of precipitation. From the results of these two summers, it can be inferred that precipitation is the most important factor in the runoff calculations.

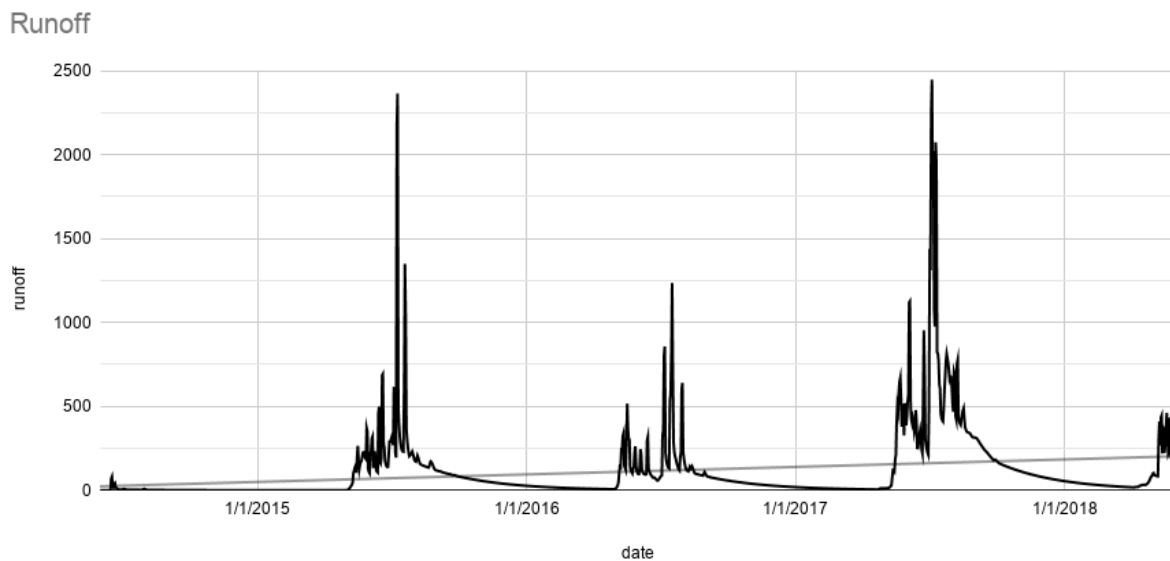


Figure 5 – Runoff ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) data from 2014 to 2018

### Conclusion

This hydrological simulation concludes that any small changes in environment such as temperature, precipitation and evapotranspiration have observable impact on the runoff of the fluvial system. Despite the fact that the mean temperature tends to decrease over time (fig.3) runoff trend line is going up; which can indicate that glaciers ablation increased overtime or runoff mainly depends on precipitation factor. The study shows that more detailed hydrological simulation is needed and the time range must be increased. The covered timeline is not enough for forecasting, climate analysis, and global hydrological investigation. The further research will be conducted with more data and more variables.

### References

1. OpenStreetMap contributors. Planet dump [Data file from \$date of database dump\$]. OpenStreetMap. 2015.
2. QGIS Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2020.
3. DHI – MIKE HYDRO Basin [Computer Software]. Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Online. 2020.
4. Smith, M. CROPWAT: a computer program for irrigation planning and management.: FAO land and Water Development Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1992. 126 p.
5. Allen, R. G. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements: FAO land and Water Development Division Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1998. 327 p.

## **ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЮЖНОЙ СТУПЕНИ ФЕРГАНСКОЙ МЕЖГОРНОЙ ВПАДИНЫ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОГО КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ**

Абдуллаев Г.С., Икромов Т.Р., Нурматов М.Р.

*Maximus\_9192@mail.ru*

Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*Одним из важнейших условий развития нефтегазовой отрасли государства является обеспечение собственными природными ресурсами нефти, газа и конденсата, особым пунктом которой является восполнение добычи нефти и газа опережающим его приростом запасов углеводородного сырья. Существенную роль в этом, в ближайшей перспективе, должны сыграть старейшие регионы Республики Узбекистан. Одним из них является Ферганский нефтегазоносный регион, который содержит в своих недрах значительные объемы УВ-сырья, что предопределяет перспективы для наращивания поисково-разведочных работ на нефть и газ. За весь период проведения геологоразведочных работ в Узбекской части Ферганского нефтегазоносного региона открыто более 30 месторождений с залежами углеводородов. Однако в последнее время темпы добычи и прирост запасов углеводородного сырья снижаются. Для поддержания добычи и наращивания прироста запасов мы предлагаем более детальное изучение геологического строения меловых отложений Ферганского региона, включая старый фонд.*

*Ключевые слова: геология, разведка, прирост, запасы, углеводород, горизонт, нарушения, структура.*

В настоящее время в Ферганском регионе особое внимание уделяется геологоразведочным работам, направленным на прирост запасов углеводородов, увеличение объемов добычи и переработки ресурсов, а также развитие отраслевой инфраструктуры.

Планомерное и продуктивное достижение выше указанных целей геологоразведки можно осуществить с помощью наличия устойчивой сырьевой базы углеводородов. Для этого нужно более детальное изучение геологического строения меловых отложений Ферганского региона, постоянный анализ, интерпретация и переинтерпретация сейсмических данных с целью подготовки структур, открытия новых месторождений и осуществление прироста запасов углеводородов.

Комплексным изучением геологического строения [1] и перспективами нефтегазоносности [2] Южной ступени Ферганской межгорной впадины занимались известные ученые, что невозможно не учитывать и следует взять за основу данной исследовательской работы.

Южная ступень протягивается с запада на восток вдоль разрывных нарушений, имеющих почти широтное простирание и отделяющих ступень и впадину от Туркестанско-Алайской горной системы на юге. На севере граница проходит по Южному переходному поясу, выделявшаяся ранее как Южно-Ферганская флексурно-разрывная зона, где проходит резкий перепад мощностей кайнозойских моласс. Ступень гипсометрически наиболее приподнята по поверхности палеогеновых отложений (от -3200 до -1200) и отличается разнообразным и сложным строением [3]. В ее пределах развиты линейно-вытянутые цепочки складок различного размера (2-8 км) x (0,5-3 км) с амплитудой 150-250 м, часто нарушенные надвигами и взбросами, опрокинутые в направлении центра впадины. Простирание локальных нарушений совпадает с направлением складок. Амплитуда разломов возрастает с запада на восток от 200-250 м до 2000-3000 м.

Всего по югу Ферганского региона открыто 37 месторождений нефти и газа (рис. 1), в т.ч. в узбекской части – 22, кыргызской – 8 и таджикской – 7 месторождений, приуроченных к более 35 залежам от верхнепалеозойских до бактрийских отложений.

На примере месторождения Учтепа был проведен анализ геолого-геофизических данных по меловым отложениям Южной ступени Ферганской межгорной впадины.

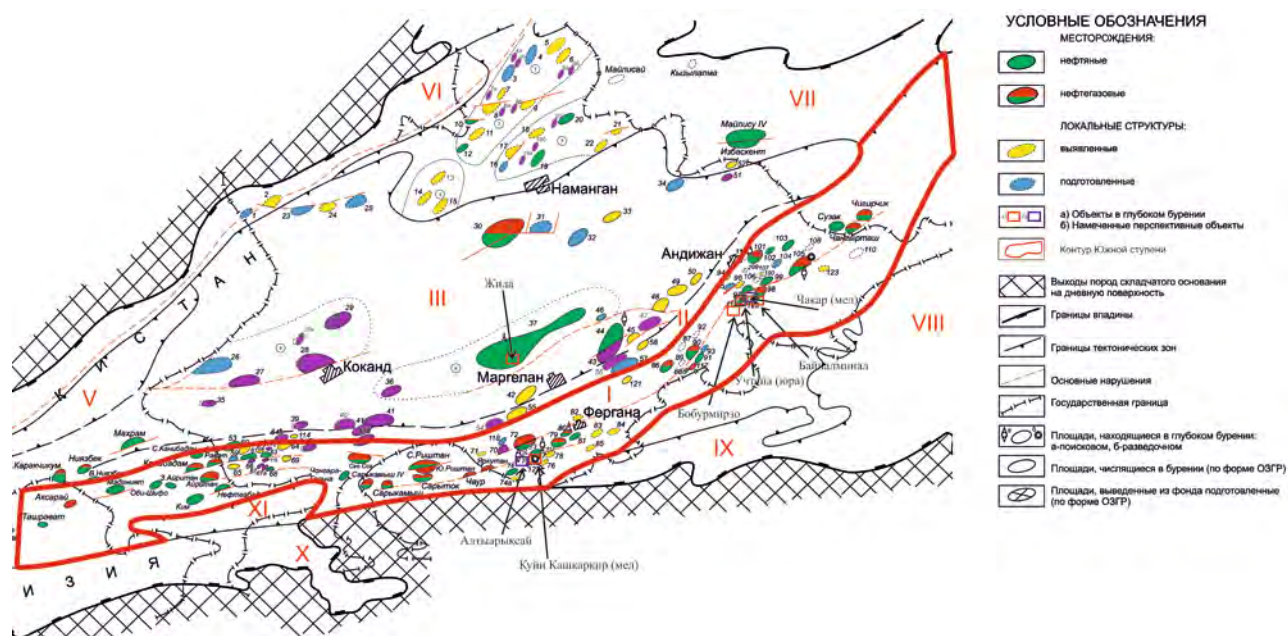


Рисунок 1 – Схема размещения месторождений и нефтегазоперспективных структур Ферганского региона (по данным АО «ИГИРНИГМ»)

В 2017 г. на территории Булакбашинского района Андижанской области было открыто новое месторождение Учтепа. Структура Учтепа в 2014 году была подготовлена сейсморазведочными исследованиями МОГТ - 3D по I горизонту бактрийских слоев неогена [4]. В дальнейшем были пробурены и испытаны две поисковые скважины № 1 и № 2 на подготовленный геофизикой объект, глубиной, соответственно, 511 м и 472 м. Испытаны 8 объектов проницаемые песчаных интервалов бактрийских слоев неогена и во всех объектах получены пластовые воды, за исключением интервала 417-411 м и 464-458 м, где отмечены пленки нефти. В 2016 году структура Учтепа переподготовлена по данным сейсморазведки МОГТ - 3D по кровле экзогированной свиты верхнего мела и представляет собой антиклинальную складку субширотного простирания. Размеры структуры составляют 1,5×0,7 км, ожидаемая площадь 0,93 км<sup>2</sup>.

По рекомендации геофизиков была заложена поисковая скважина № 3 Учтепа (мел), на пересечении профилей In Line 4390 и Cross Line 2325 с полным вскрытием меловых отложений.

В 2017 году скважина № 3 пробурена на глубину 1200 м со вскрытием нижнемеловых отложений. При испытании в колонне из XX и XVIII (совместно) горизонтов получен промышленный приток газа дебитом 206 тыс. м<sup>3</sup>/сут на 12 мм штуцере, и она является первооткрывательницей месторождения Учтепа по меловым отложениям (XVIII и XX горизонты).

В 2018-2019 годы на месторождении Учтепа пробурены №№ 4, 5, 6, 7, №1ю. Из скважины №4 получен газ с конденсатом дебитом 257,044 тыс. м<sup>3</sup>/сут из XVIII и XIX горизонтов, в скважине № 5 из XX-горизонта - нефть дебитом 96,0 м<sup>3</sup>/сут и газа дебитом 10,46 тыс. м<sup>3</sup>/сут, а из скважин №1-Ю и №7 был получен промышленный приток газа из XVIII горизонта. Результаты бурения скважин №6 и №1ю позволили уточнить геологическую модель структуры и газо-водяные контакты (ГВК). Скважина № 8 закончена строительством,

был получен промышленный приток газа дебитом 140,1 тыс. м<sup>3</sup>/сут и конденсат дебитом 2,5 м<sup>3</sup>/сут из XVIII горизонта. Скважина № 9 уточнила местонахождение нарушения и в контур месторождения не вошло.

По имеющимся данным были составлены подсчётные планы (рис. 2) по кровле продуктивных горизонтов (XVIII, XIX, XX) и схема опробования (рис. 3).

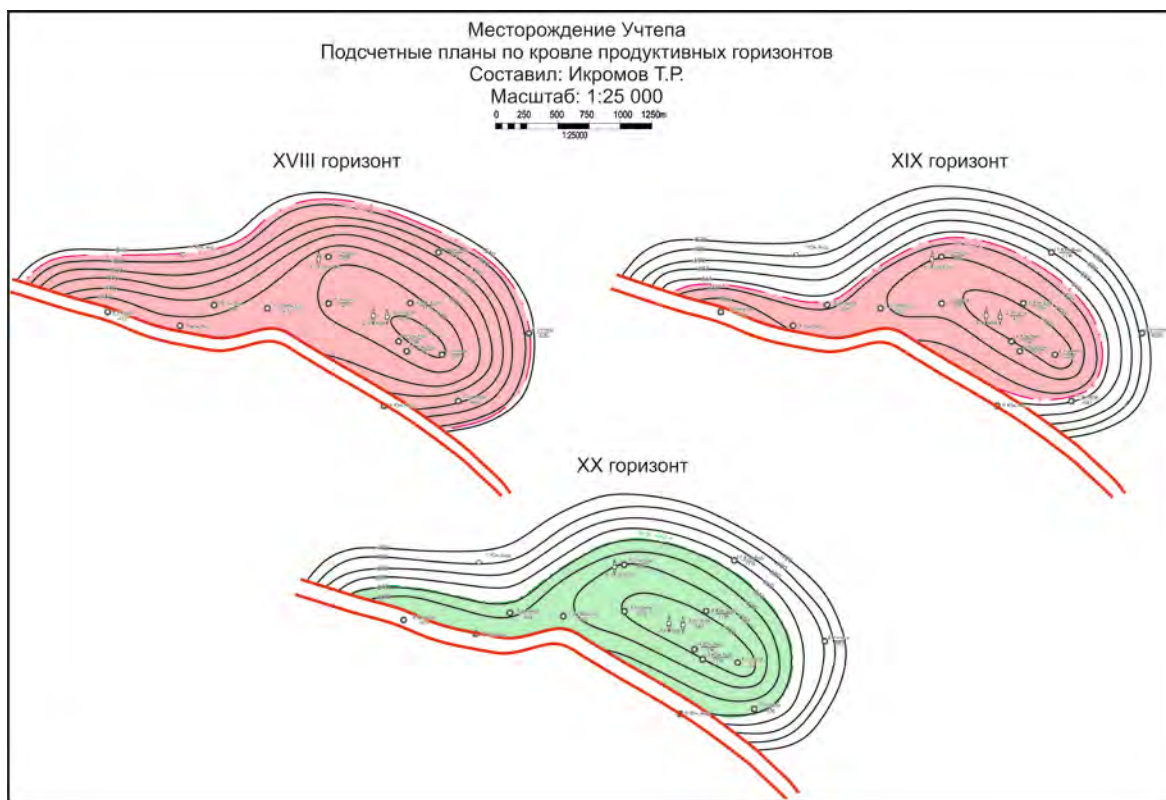


Рисунок 2 – Подсчетный план по кровле продуктивных горизонтов

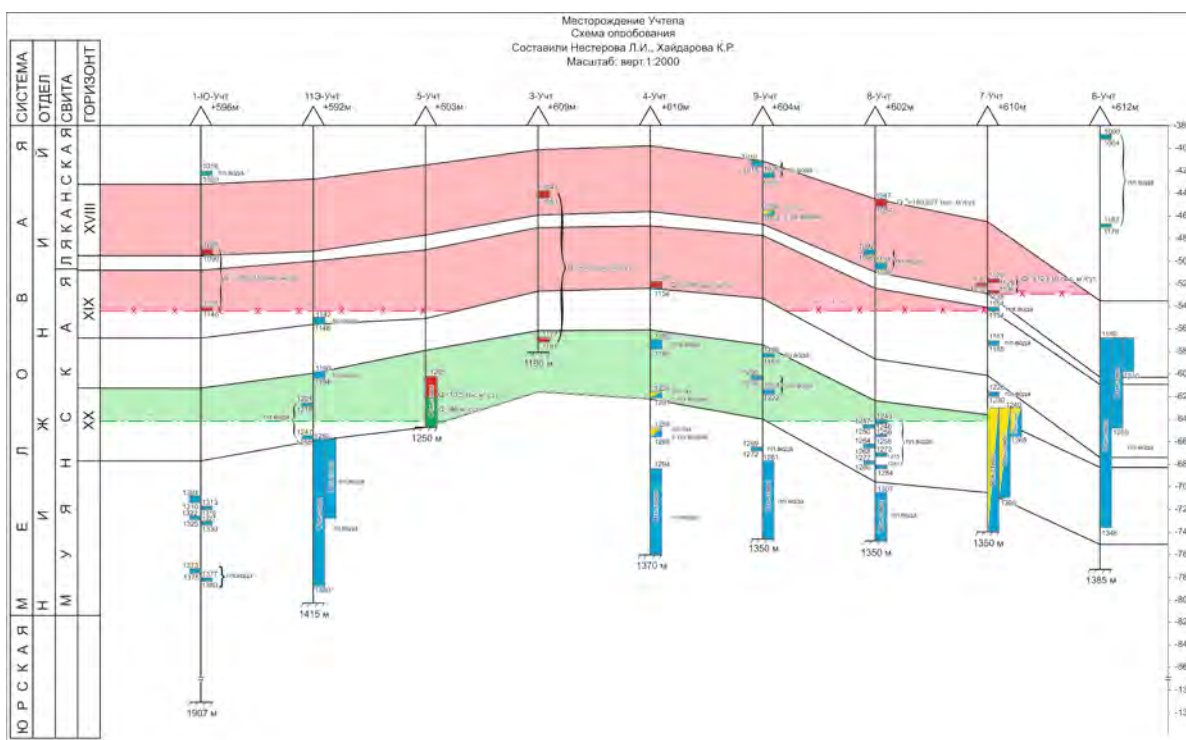


Рисунок 3 – Схема опробования месторождения Учтепа



А также проанализировав данные с других структур и месторождений, была составлена схема распределения залежей углеводородов по меловым отложениям на Южной ступени Ферганской нефтегазоносной области (табл. 1). Желтыми квадратами обозначены возможно продуктивные горизонты, рекомендуемые для дальнейшего изучения.

Таблица 1 – Схема распределения залежей углеводородов по меловым отложениям на Южной ступени Ферганской нефтегазоносной области.

ГРУППА	СИСТЕМА	ОТДЕЛ	ЯРУС, СЕРИЯ, СЛОИ	СВИТА	ГОРИЗОНТ	ЧИМИОН	ХАНКЫЗ	СЕВ.ХАНКЫЗ	АВВАЛЬ	ВОСТ.АВВАЛЬ	МАРК. АВВАЛЬ	КАШКАКИР	ЗАП.ПАЛВАНТАШ	ПАЛВАНТАШ	ХОДЖАОСМАН	ГАРЬ.ХОДЖАОСМАН	АНДИЖАН	ХОДЖААБАД	БОСТОН	ЮЖ.АЛАМЫШИК	СЕВ.АЛАМЫШИК	ХАРТУМ	ВОСТ.ХАРТУМ	ЧАКАР	УЧТЕПА (МЕЛ)					
МЕЗОЗОЙСКАЯ	МЕЛОВАЯ	Верхний	Сенонский	Пестроцветная	XIII																									
					XIV																									
					XV																									
			Туронский	Яловачская	XVa																									
					XVI																									
				Устричная	XVII																									
			Сеноман	Калачинская	XVIIa																									
					XVIIб																									
			Нижний	Альбский	Кызыл-пиляльская	XVIIв																								
		XVIIг																												
		Ляканская			XVIII																									
		Неоком-апский		Муянская	XIX																									
					XX																									
					XXI																									
		XXII																												

Резюмируя вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

Анализ материалов старого фонда месторождений показывает, что в ряде месторождений не изучены возможно продуктивные горизонты нижнемеловых отложений.

В связи с этим рекомендуем провести сейсморазведку МОГТ-3D для изучения структурного плана по кровле возможно продуктивного горизонта нижнемеловых отложений (XVIII, XIX, XX).

Реализация этого предложения, приведет к открытию новых залежей нефти и газа, как на месторождении Учтепа, не только в Республике Узбекистан, но и в соседних с ней – Республике Таджикистан и Киргизской Республике. Это, в свою очередь, позволит осуществить прирост запасов нефти, газа и конденсата.

### Литература

1. Акрамходжаев А.М., Сайдалиева М.С. Ферганский нефтегазоносный бассейн. М.: Недра. 1971. 280 с.
2. Нурматов М.Р. Перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений Юга Ферганского региона в свете новых геолого-геофизических данных. Ташкент. 2017. 241 с.
3. Нефтяные и газовые месторождения Узбекистана. Кн. 1. Ферганская межгорная впадина / Ходжаев А.Р., Акрамходжаев А.М., Азимов П.К. и др. Ташкент. 1973. 188 с.
4. Нурматов М.Р., Ахрарова Н.Р., Расулова Н.И., Икромов Т.Р. Уточнение геологической модели продуктивных горизонтов меловых отложений месторождения Учтепа в Ферганском регионе // Сборник материалов международной научно-практической конференции АО “ИГИРНИГМ”. Ташкент. 2019. С. 183-186.

## МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ GPS TEC

Андреев А.Б., Капытин В.И.  
*alexey.andreyev@rambler.ru, kapytinsanct@mail.ru*  
ДТОО Институт ионосферы, г. Алматы, Казахстан

*В работе описан метод детектирования ионосферных возмущений от различных источников на основе данных GPS TEC. Представлены результаты наблюдения волновых возмущений в ионосфере Земли, вызванных воздействием различных источников, по данным сети GNSS приемников UNAVCO. Определены критерии разделения наблюдаемых волновых возмущений в зависимости от источника их происхождения. Выявлены перемещающиеся ионосферные возмущения, генерируемые прохождением солнечного терминатора, а также возмущения полного электронного содержания, обусловленные геомагнитной бурей.*

*Ключевые слова: солнечный терминатор, полное электронное содержание, GPS TEC.*

### Введение

Проблемы изучения космического пространства, солнечно-земных связей требуют изучения динамики верхних слоев атмосферы, составной частью которых является ионосфера. Для изучения ионосферы используются различные наземные и спутниковые методы ее зондирования. Глобальные навигационные спутниковые системы (GNSS), благодаря своей доступности для гражданского использования в последние десятилетия, помимо своего прямого назначения стали представлять собой глобальное и экономически эффективное средство мониторинга окружающей среды. На сегодняшний день, в мире насчитывается 4 действующие глобальных навигационных спутниковых систем. Созвездия навигационных спутников GNSS насчитывают более сотни действующих спутников. GNSS активно используются для наземного и орбитального радиозатменного мониторинга атмосферы [1].

Для выявления возмущений от определённых источников в данных, в которых присутствует множество различных сигналов, используются специализированные алгоритмы, учитывающие особенности исследуемых источников возмущений. Основными инструментами математического аппарата, используемыми в геофизике для выделения источников возмущений, являются методы статистической обработки сигналов: спектральный и вейвлет анализы, метод наложения эпох, корреляционный анализ и др. Для анализа более сложных и нестандартных типов возмущений требуются модифицированные либо новые методы, например, метод построения годохрон временных рядов. Данный метод применяется для выделения точечных источников возмущений с известным местоположением в данных пространственно-разнесённых пунктов измерения. Метод построения годохрон широко известен в геофизике и сейсмологии [2,3].

### Методика обработки экспериментальных данных

Для обработки большого массива наблюдательных данных разработано специализированное программное обеспечение, работающее с международным архивом GPS данных. Программное обеспечение разработано на языке Python и Fortran, и предназначено для работы в операционной системе Linux. Частью разработанного комплекса программного обеспечения является база данных реализованная на СУБД PostGRE.

С помощью созданного программного обеспечения, произведена обработка данных сети перманентных GPS приемников расположенных на западном побережье США.

Одним из исследуемых нами источников возмущений ионосферы Земли является

солнечный терминатор (СТ). СТ представляет собой протяженный движущийся источник. При своём движении он генерирует плоский фронт волны, вытянутый вдоль линии терминатора и движущийся в том же направлении [4]. Для выявления этого источника возмущений произведена модификация метода построения годохран, суть которой заключается в том, что вместо расстояния до эпицентра на графике откладывается расстояние вдоль горизонтальной линии, проходящей вдоль различных азимутов.

В пространственных данных ПЭС вычисляются средние значения ПЭС для направлений, расположенных вдоль различных азимутов. Для направлений совпадающих с движением волновых возмущений благодаря сложению синфазных волн будет наблюдаться чёткая волновая картина. Для направлений, не совпадающих с направлением движения волновых возмущений из-за сложения волн в случайной фазе волновая картина наблюдаться не будет.

Построение данных графиков для различных моментов времени в координатах *расстояние вдоль выбранного направления / время* позволяет получить моменты появления волновых возмущений, их скорости, направления распространения, периоды и длины волн. При этом, срезы данных диаграмм вдоль оси расстояний дают график истинных длин волн в данный момент времени, а срезы вдоль оси времени дают график истинной временной зависимости ПЭС в данной географической точке.

На рисунках 1 и 2 приведен результат применения, модифицированного нами метода годохран – выявлены проявления СТ в вариациях ПЭС, в частности показаны годохраны вариаций ПЭС для направления фронта волн  $31^\circ$  и  $0^\circ$  и годохраны вариаций ПЭС для направления фронта волн  $82^\circ$ .

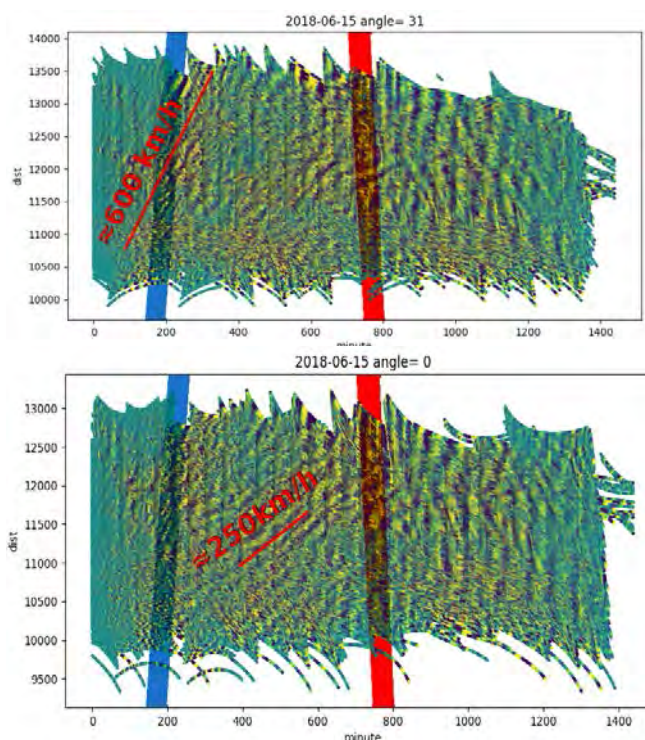


Рисунок 1 – Годохраны вариаций ПЭС для направления фронта волн  $31^\circ$ (слева) и  $0^\circ$ (справа)

На рисунке 2 видны перемещающиеся волновые возмущения во время прохождения вечернего СТ, имеющие скорость около 600 км/ч и двигающиеся в направлении движения терминатора. В районе полуночи местного солнечного времени эти волновые возмущения сменяются волнами, имеющими западное направление и скорость около 250 км/ч.

На рисунке 2 видны перемещающиеся волновые возмущения во время прохождения утреннего терминатора имеющие скорость около 420 км/ч, двигающиеся в направлении движения терминатора. В районе полуночи местного солнечного времени эти волновые

возмущения сменяются волнами, имеющими западное направление и скорость около 250 км/ч.

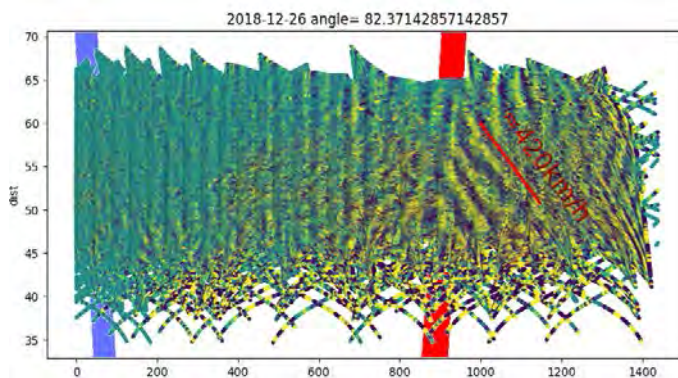


Рисунок 2 – Годохроны вариаций ПЭС для направления фронта волн 82°

Кроме проявлений СТ выявлены также проявления мощных геомагнитных бурь в данных вариаций ПЭС. На рисунке 3 приведена годохрона вариаций ПЭС во время самой мощной геомагнитной бури в 2018 г., произошедшей 27 августа. Мощные возмущения с амплитудой более 1 ТЕСУ возникают одновременно на всех станциях. Годохроны для любых азимутов выглядят одинаково, что говорит о мгновенном распространении возмущений

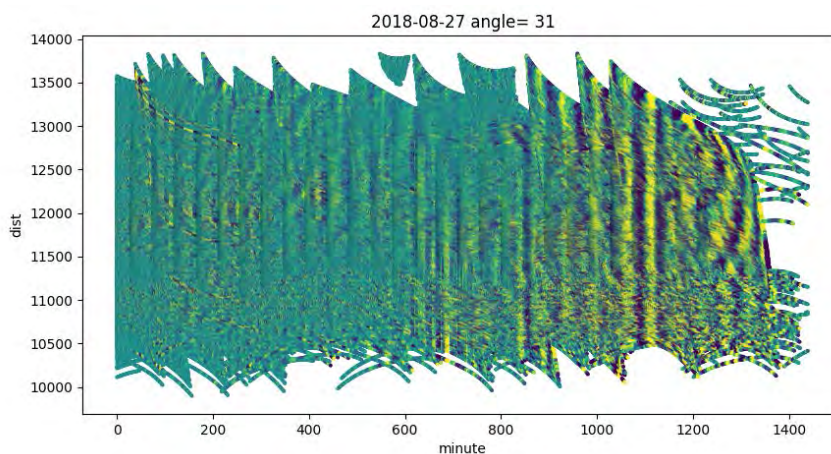


Рисунок 3 – Годохрона вариаций ПЭС во время самой мощной геомагнитной бури в 2018 г.

### Заключение

Предложенная нами методика позволяет решить проблему определения периодов и длин волновых возмущений ПЭС полученных методом GPS. Поскольку ионосферные точки для которых производится расчёт ПЭС перемещаются относительно поверхности Земли и лежат в области максимума электронной концентрации F2 слоя ионосферы (высота около 300 км) на линии радиолуча от спутника до стационарного GNSS приемника, их положение зависит от вращения спутников и Земли. Орбиты спутников GNSS расположены на высоте около 20000 км, а период обращения спутников составляет 12 часов. При этом скорость движения ионосферной точки в которой производится измерение, может достигать 500 км/ч, что усложняет определение истинного периода и длины волн ионосферных возмущений на основании данных GPS приемников, поскольку ионосферная точка может двигаться вдоль движущегося волнового возмущения ионосферы, в том же или обратном направлении, более чем вдвое искажая значения его периода и длины волны.

Вертикальный и горизонтальный срезы описанной диаграммы волновых возмущений дают графики истинных длин волн в данный момент времени и истинной временной зависимости возмущений ПЭС.

### Литература

1. Разработка методов диагностики и прогноза геоактивных событий на основе измерений параметров ионосферы, мезосферы, атмосферного электрического поля и тепловых нейтронов: Отчёт о НИР (промежуточный) / АО «Национальный центр космических исследований и технологий» ДТОО «Институт ионосферы»; рук. Сомсиков В.М., Антонова В.П. 2018. 51 с. – №ГР 0118РК00798. – Инв.№ 0218РК00046.
2. Heki K. Ionospheric electron enhancement preceding the 2011 Tohoku-Oki earthquake // *Geophys. Res. Lett.* 2011. № 38. P. L17312-17318.
3. Zhou Y., Wu Y., Qiao X.J. Ionospheric anomalies detected by ground-based GPS before Mw7.9 Wenchuan earthquake of May 12, 2008, China // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2009. № 71. P. 959-966.
4. Сомсиков В.М., Троицкий Б.В. Генерация возмущений в атмосфере при прохождении через нее солнечного терминатора // *Геомагнетизм и аэрномия.* 1975. Т. 15. №5. С. 856-860.
5. Сомсиков В.М. Солнечный терминатор и динамические явления в атмосфере // *Геомагнетизм и аэрномия.* 2011. Т. 51. №. 6. С. 723-735.

## СЕЙСМИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ МАСС ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

Артиков Т.У.<sup>1</sup>, Мирзаев М.А.<sup>1</sup>, Артиков М.Т.<sup>1</sup>, Терлецкая И.Р.<sup>2</sup>  
*murod1984@mail.ru*

<sup>1</sup> Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан,  
 г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup> Тель-Авивский Университет, Израиль

*На основе параметров сейсмического режима и каталога механизмов очагов землетрясений в рамках методологического подхода Ю.В.Ризниченко проведено изучение сейсмического течения горных масс для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана. Определены значения и построены карты площадного распределения шести основных компонент тензора скорости сейсмостектонической деформации. Рассчитаны главные компоненты тензора деформаций и через значение коэффициента Лодэ-Надаи определен вид напряженного состояния земной коры различных участков территории Узбекистана. Принято считать, что в глобальном масштабе региональное поле тектонических напряжений Среднего Тянь-Шаня, куда относится исследуемая территория, определяется надвиганием на Евразийскую плиту Аравийской и Индостанской плит. Причем, действие последней из них является преобладающим. В случае близмеридиональной направленности внешних сил, действующих на юге со стороны Индостана в горизонтальном направлении, при наличии жесткого упора на севере (каковым является Казахский щит), естественно ожидать, что находящийся в этом поле напряжений единый однородный объем геофизической среды, будет испытывать деформации близмеридионального укорочения и близширотного и вертикального удлинения. Реальная геологическая среда существенно неоднородна, наделена блоковым строением, наличием активных разрывных нарушений земной коры. Поэтому распределение деформаций при действии внешних сил, может существенно отличаться от упрощенной схемы, описанной выше. Вместе с тем, основные тенденции в поведении компонент тензора скорости сейсмостектонической деформации в широтном, меридиональном и вертикальном направлениях, в целом, согласуются с приведенной выше упрощенной схемой деформирования однородного геоматериала.*

*Ключевые слова: землетрясение, механизм очага, сейсмостектоническая деформация, тензор скорости деформации, коэффициент Лодэ-Надаи*

### Введение

К настоящему времени разработаны различные методы реконструкции напряженно-деформированного состояния земной коры, основанные на интерпретации распределения в пространстве осей растяжения и сжатия в совокупности очагов землетрясений, попадающих в исследуемый сейсмоактивный объем [1-3 и др.].

Исторически, одним из первых в данном направлении, является подход Ю.В.Ризниченко, которым разработана теория сейсмического течения горных масс. Под сейсмическим течением горных масс по Ю.В.Ризниченко [1], понимается движение, образованное за счет остаточных смещений в совокупности всех очагов землетрясений, попадающих в пространственно-временной объем  $V * T$ . Расчет компонент тензора скорости сейсмостектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс базируется на данных о фокальных механизмах очагов землетрясений и долговременных характеристиках сейсмического режима исследуемой территории.

К настоящему времени картирование различных компонент тензора скорости сейсмостектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс проведено для

ряда сейсмоактивных регионов. Исследованием сейсмического течения горных масс территории Восточного Узбекистана в рамках подхода Ю.В. Ризниченко занимались С.С. Сейдузова и Л.М. Матасова [4]. На основе параметров фокальных механизмов очагов землетрясений, произошедших в период с 1960 по 1984 годы, ими рассчитаны значения шести компонент тензора скорости сеймотектонической деформации при сейсмическом течении горных масс и построены карты площадного распределения этих параметров, а также проведено определение и картирование коэффициента Лодэ-Надаи, характеризующего вид напряженно-деформированного состояния различных участков земной коры территории Восточного Узбекистана.

Взросший к настоящему времени фактический материал по определению фокальных механизмов очагов землетрясений позволил провести исследование сейсмического течения горных масс для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана.

### Исходные данные

Расчет долговременных параметров сейсмического режима исследуемой территории проводился на базе регионального каталога землетрясений территории Узбекистана, содержащего данные об исторических и инструментальных землетрясениях. Подробные сведения о классификации землетрясений по величине и представительности событий различного энергетического уровня в региональном каталоге содержатся в [5]. Сведения о базе данных механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана и прилегающих к нему областей содержатся в [6].

### Метод расчета компонент скорости сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс

Расчет шести компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций пространственного объема  $V$  при сейсмическом течении горных масс за период времени  $T$  проводится по формуле [1]:

$$v_{ik} = \frac{1}{2\mu VT} \sum_{j=1}^N (M_{0ik})_j,$$

где  $(M_{0ik})_j$  компоненты тензора сейсмического момента  $j$ -го землетрясения, попавшего в рассматриваемый объем осреднения  $V$  за время  $T$ .

$i, k$  – индексы компонент тензора средней скорости деформаций ( $i, k=1,2,3$ ),  $\mu$  – модуль сдвига.

Компоненты тензора скорости сеймотектонической деформации можно записать через единичный тензор  $\theta_{ik}$  сейсмического момента:

$$v_{ik} = \frac{1}{2\mu VT} \sum_{j=1}^N M_{0j} (\theta_{ik})_j,$$

где  $M_0$  – сейсмический момент  $j$ -го землетрясения;  $\theta_{ik}$  – единичный тензор сейсмического момента.

Компоненты единичного тензора  $\theta_{ik}$  выражаются через параметры механизма очага следующим образом [1]:

$$\begin{aligned} \theta_{xx} &= \sin^2 \varphi_T \sin^2 \alpha_T - \sin^2 \varphi_p \sin^2 \alpha_p & \theta_{xy} &= \theta_{yx} = \sin^2 \varphi_T \sin \alpha_T \cos \alpha_T - \sin^2 \varphi_p \sin \alpha_p \cos \alpha_p \\ \theta_{yy} &= \sin^2 \varphi_T \cos^2 \alpha_T - \sin^2 \varphi_p \cos^2 \alpha_p & \theta_{yz} &= \theta_{zy} = \sin \varphi_T \cos \alpha_T \cos \varphi_T - \sin \varphi_p \cos \alpha_p \cos \varphi_p \\ \theta_{zz} &= \cos^2 \varphi_T - \cos^2 \varphi_p & \theta_{zx} &= \theta_{xz} = \sin \varphi_T \sin \alpha_T \cos \varphi_T - \sin \varphi_p \sin \alpha_p \cos \varphi_p \end{aligned}$$

$\varphi_T, \varphi_p$  – углы, образованные осями растяжения и сжатия с вертикалью, и

$\alpha_T, \alpha_p$  – азимутальные углы тех же осей по данным механизма очага.

Три первые формулы определяют компоненты удлинения (знак «+») или укорочения (знак «-») единичного отрезка, а три вторые – сдвиговые компоненты. В географической

системе координат ось  $X$  имеет широтное направление, причем положительному значению соответствует направление на восток. Соответственно, для оси  $Y$  - ориентация по меридиану и на север, а для оси  $Z$  – перпендикулярно дневной поверхности и в зенит.

Как правило, величина сейсмического момента для каждого землетрясения устанавливается не напрямую, а через корреляционное соотношение через магнитуду сейсмического события  $M$  или же его энергетический класс  $K$ . Поскольку в региональном каталоге землетрясений в качестве основной характеристики для классификации землетрясений по величине используется энергетический класс землетрясения  $K$ , связь между сейсмическим моментом и энергетическим классом имеет вид:

$$\lg M_0 = c_1 + c_2(K - K_0),$$

где  $K_0$  – энергетический класс землетрясения, к которому приведено определение сейсмической активности (обычно  $K_0 = 10$ ).

На основе данных об абсолютном значении сейсмических моментов землетрясений  $M_0$ , попавших в площадку осреднения, и компонент их единичных тензоров  $\theta_{ik}$ , определяют компоненты среднего единичного тензора сейсмического момента по формуле:

$$\bar{\theta}_{ik} = \frac{\sum_{j=1}^N M_{0j}(\theta_{ik})}{\sum_{j=1}^N M_{0j}}$$

Далее, вычисляются компоненты скорости сейсмостектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс:

$$v_{ik} = v\bar{\theta}_{ik},$$

где, с учетом графика повторяемости землетрясений различного энергетического уровня, в предположении одинаковой направленности подвижки в очагах землетрясений, происходящих в пределах площадки осреднения, значение  $v$  находится по формуле [1]:

$$v = \frac{\gamma A(K_0) M_0(K_0) 10^{(c_2 - \gamma)(K_{max} - K_0)}}{2\mu V(c_2 - \gamma)(10^{0.5\gamma} - 10^{-0.5\gamma})}.$$

В данном выражении и сейсмическая активность  $A(K_0)$  и сейсмический момент  $M_0(K_0)$  приведены к энергетическому классу  $K_0$  (обычно полагают  $K_0 = 10$ ),  $\gamma$  - угловой коэффициент графика повторяемости землетрясений,  $K_{max}$  - величина сейсмического потенциала для выбранной ячейки осреднения.

Необходимые для расчета сейсмического течения горных масс значения долговременных параметров сейсмического режима ( $A_{10}$ ,  $\gamma$ ,  $K_{max}$ ) для каждой ячейки осреднения, а также мощность сейсмоактивного слоя для различных участков исследуемой территории, были определены ранее в [7].

### Результаты и их обсуждение

По методике, изложенной выше, были рассчитаны шесть компонент тензора скорости сейсмостектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана. Расчеты проводились в узлах сетки  $0,25^0 \times 0,25^0$  в кругах с радиусом  $R = 35$  км.

На рисунках 1-6 приведены карты шести компонент тензора скорости сейсмостектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (в единицах  $10^{-8}$ ). На этой же карте показаны основные активные разломы земной коры исследуемой территории [8]. Обратимся к анализу представленных карт.

**Компонента  $V_{xx}$**  (рисунок 1) характеризует изменение относительной длины отрезка, ориентированного в широтном направлении. Положительным значениям  $V_{xx}$  отвечает удлинение, а отрицательным значениям  $V_{xx}$  его укорочение. Деформации широтного укорочения и широтного удлинения занимают на ней приблизительно равные площади. Наибольшие значения относительного укорочения широтного отрезка составляют величину  $-0.5 - -0.2 \cdot 10^{-8}$  и приурочены к району Газли на западе, а также к центральной части Северо-



Ферганского разлома и одноименной флексурно-разрывной зоны, к восточной части Южно-Ферганской системы разломов, Талдысуйскому и Куршабскому разлому в Восточном Узбекистане. Наибольшие значения относительных удлинений отрезков в широтном направлении составляют величину  $(0.05-0.1) \cdot 10^{-8}$  и происходят в районе сочленения Чаткало-Атойнакского разлома с Таласо-Ферганским разломом, а также в пределах Южно-Ферганского разлома и одноименной флексурно-разрывной зоны в районе города Ферганы.

**Компонента  $V_{yy}$**  (рисунок 2) характеризует изменение относительной длины отрезка, ориентированного в меридиональном направлении. Как это следует из рисунка 3, значительная часть исследуемой территории характеризуется деформацией сжатия в меридиональном направлении (укорочение отрезка). Наибольшие значения относительного укорочения составляют величину  $-0.5 - -0.2 \cdot 10^{-8}$  и приурочены к трем районам: восточной части Северо-Ферганского и Южно-Ферганского разломов и к району Газли. Наибольшие значения деформации растяжения (удлинение отрезка в меридиональном направлении) отмечаются к югу от Ташкента и составляют значение  $0.01-0.02 \cdot 10^{-8}$ . Несколько меньшими деформациями удлинения характеризуется территория Южного Узбекистана и район, прилегающий к Северо-Тамдынскому разлому.

**Компонента  $V_{zz}$**  (рисунок 3) характеризует изменение относительной длины отрезка, ориентированного в вертикальном направлении. Эта компонента представляет значительный интерес, поскольку, с одной стороны отражает движение свободной поверхности, с другой – характеризует особенности современного рельефа и поддается качественному сопоставлению с современными движениями земной коры, на основе инструментальных данных. Как это видно из рисунка 4, практически вся исследуемая территория характеризуется деформацией относительного удлинения вертикального отрезка. Наибольшие значения скорости деформаций удлинения  $(0.2-0.5 \cdot 10^{-8})$  за исследуемый период отмечаются в районе Газли и в пределах горного обрамления Ферганской межгорной впадины. Скорость вертикальных деформаций уменьшается по мере продвижения от орогена к платформе и резко возрастает в районе Газли. Отрицательные значения скорости вертикальных деформаций (укорочение вертикального отрезка) наблюдается к югу от Ташкента, и составляют величину  $(-0.05 - -0.02) \cdot 10^{-8}$ .

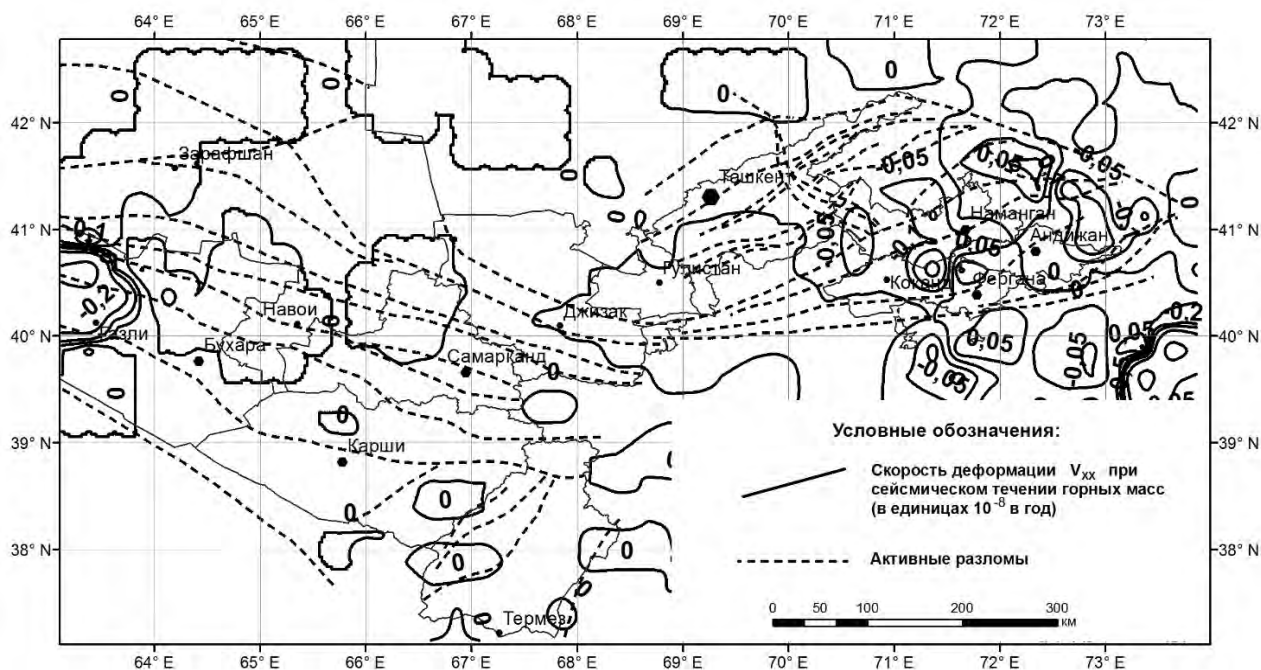


Рисунок 1 – Распределение по площади скоростей сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{xx}$ )

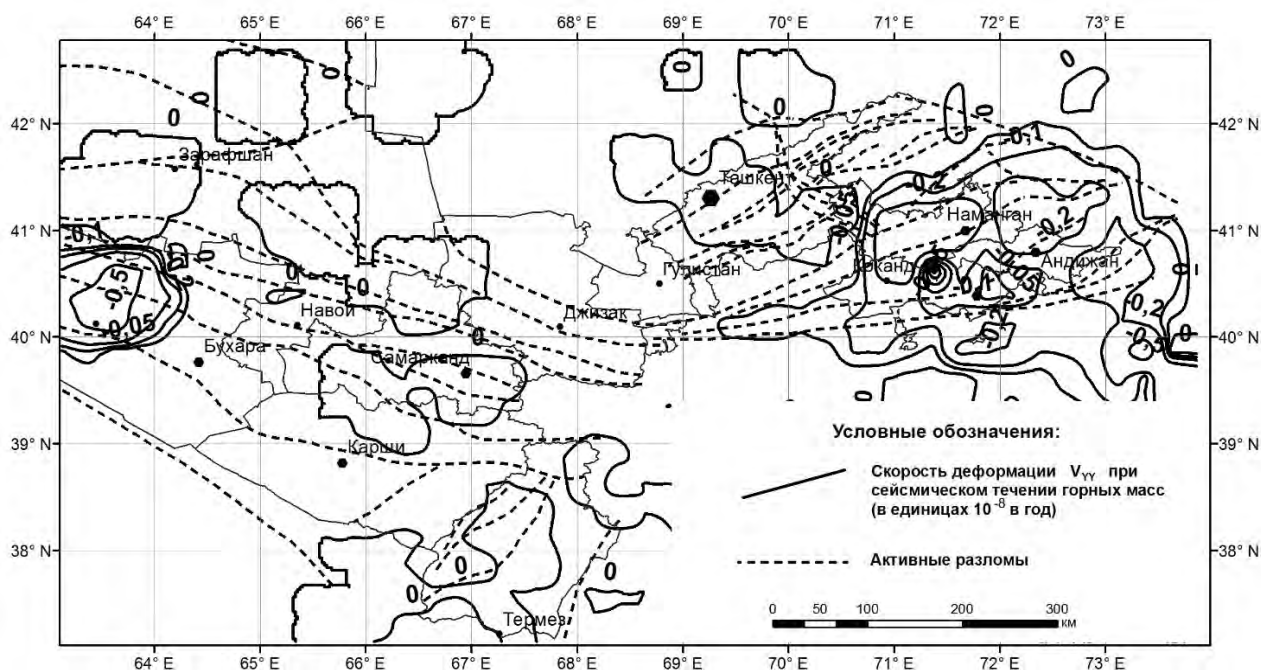


Рисунок 2 – Распределение по площади скоростей сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{yy}$ )

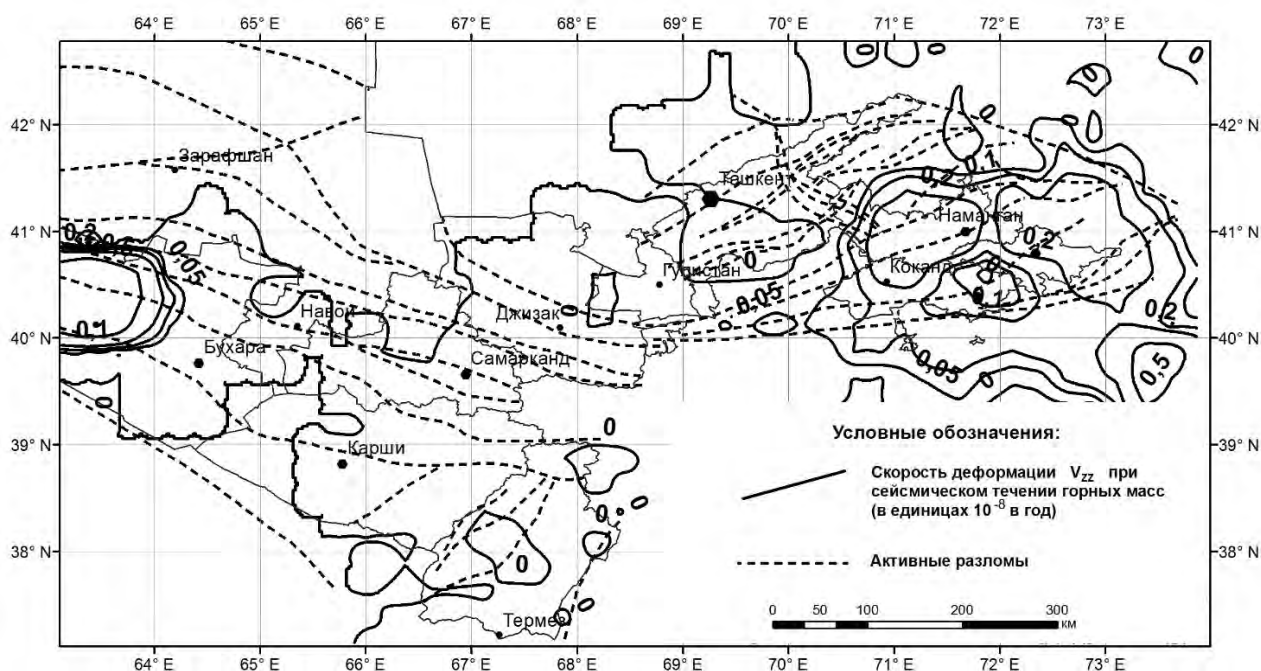


Рисунок 3 – Распределение по площади скоростей сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{zz}$ )

**Компоненты скорости сдвиговой деформации  $V_{xy}$ ,  $V_{xz}$ ,  $V_{yz}$**  (рисунки 4-6) отражают изменение угла между лучами с общим началом, проведенными в соответствующих плоскостях. Причем положительным значениям отвечает уменьшение угла, а отрицательным – его увеличение. Как это видно из рисунка 5, наибольшие положительные значения по компоненте  $V_{xy}$  наблюдаются в районе поселка Газли на западе, а также в пределах Северо-Ферганского разлома севернее Коканда и в восточной части Южно-Ферганского разлома на востоке. Наибольшие отрицательные значения компоненты  $V_{xy}$  наблюдаются к востоку от очаговой зоны трех сильнейших Газлийских землетрясений, в очаговой области сильнейшего

Чаткальского землетрясения 1946 года с магнитудой  $M = 7,5$  и в очаговой области Андижанского землетрясения 1902 года с магнитудой  $M = 6,4$ .

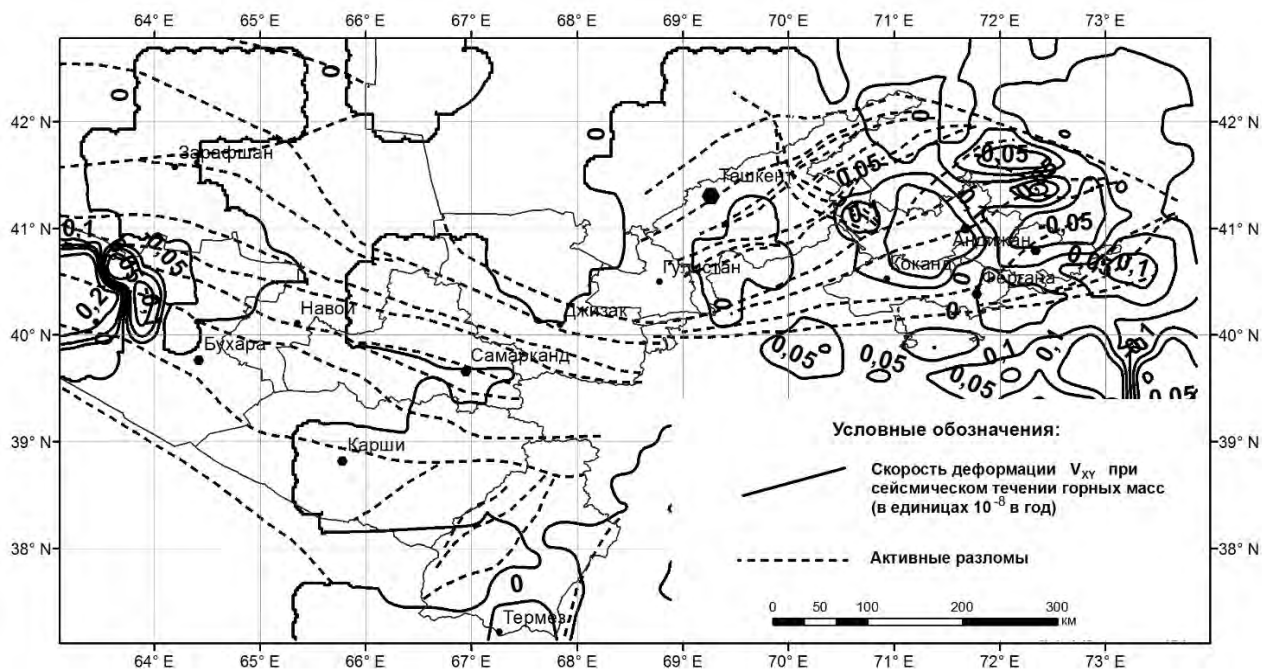


Рисунок 4 – Распределение по площади скоростей сейсмотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{xy}$ )

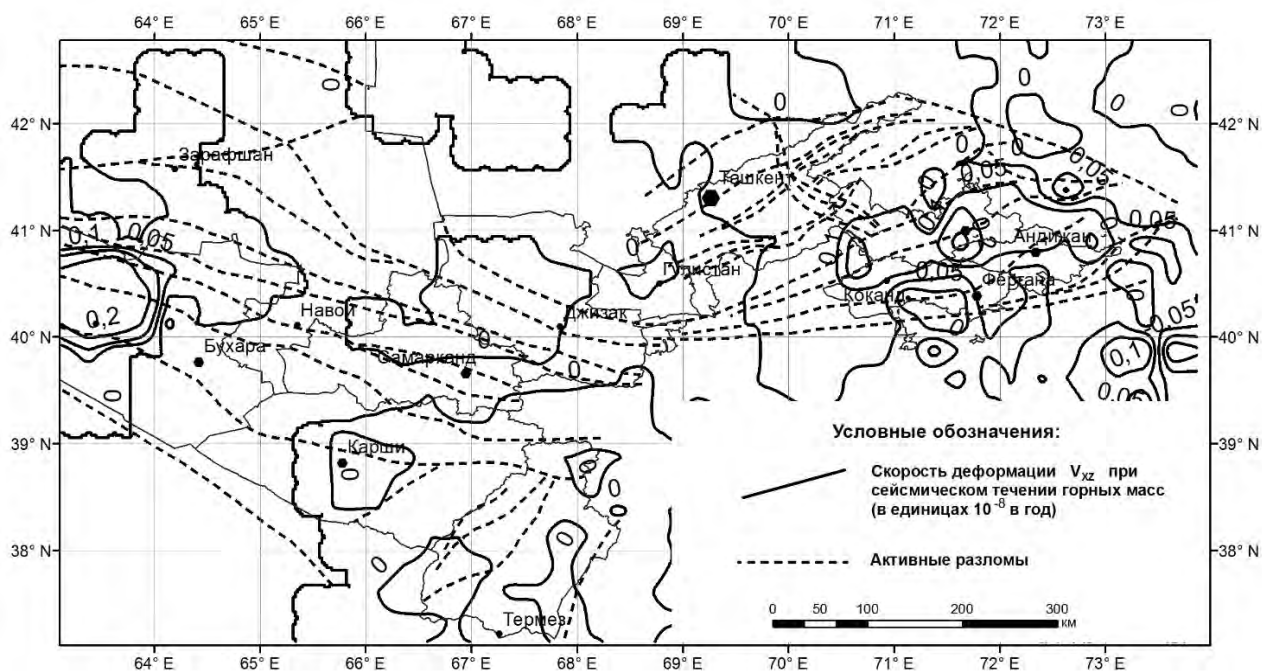


Рисунок 5 – Распределение по площади скоростей сейсмотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{xz}$ )

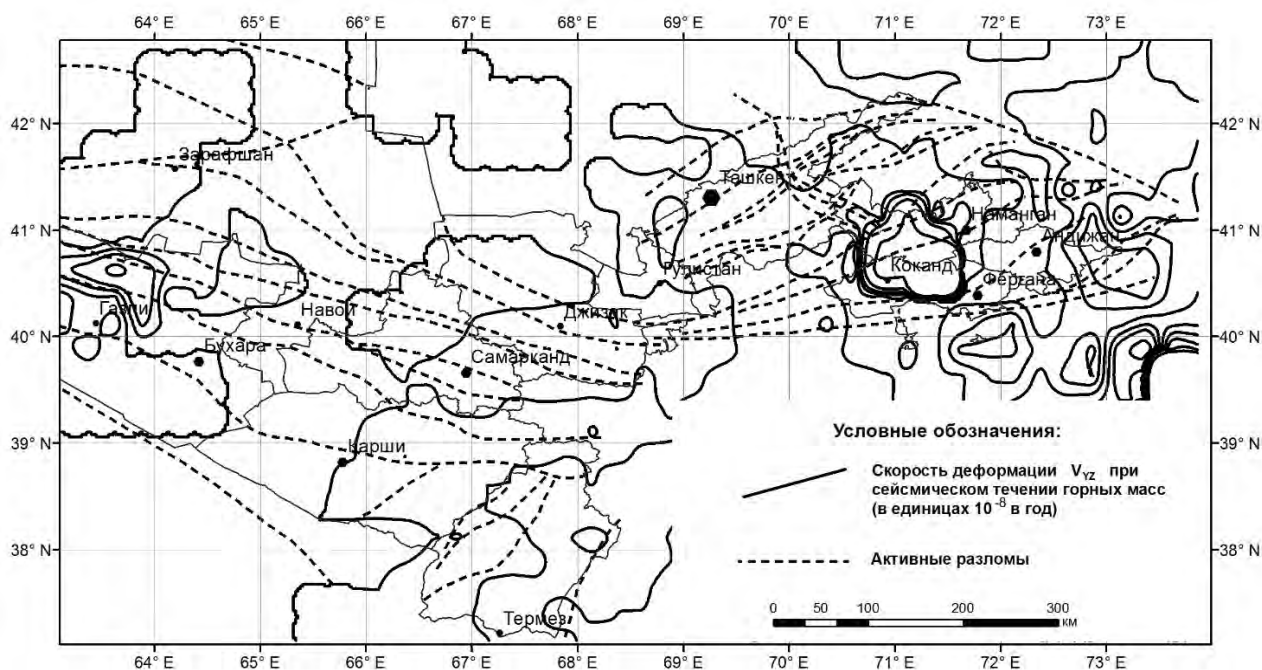


Рисунок 6 – Распределение по площади скоростей сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс (компонента  $V_{yz}$ )

Компонента  $V_{xz}$  практически для всей территории Узбекистана характеризуется положительными значениями. Наибольшие значения по данной компоненте отмечаются для района Газли и северного обрамления Ферганской межгорной впадины, и составляют величину  $0.1-0.2 \cdot 10^{-8}$ . Небольшая область отрицательных значений по компоненте  $V_{xz}$  расположена на фрагменте Южно-Ферганского разлома в районе очаговой области Исфара-Баткентского и Чимионского землетрясений. По компоненте  $V_{yz}$  не обнаруживается четкой приуроченности экстремальных значений к разломным зонам и очагам сильнейших землетрясений исторического периода. Более того, зоны повышенных и пониженных значений по данной компоненте зачастую располагаются между зонами активных разломов.

Принято считать, что в глобальном масштабе региональное поле тектонических напряжений Среднего Тянь-Шаня, куда относится исследуемая территория, определяется надвиганием на Евразийскую плиту Аравийской и Индостанской плит [9]. Причем, действие последней из них является преобладающим. В случае близмеридиональной направленности внешних сил, действующих на юге со стороны Индостана в горизонтальном направлении, при наличии жесткого упора на севере (каковым является Казахский щит), естественно ожидать, что находящийся в этом поле напряжений единичный однородный объем геофизической среды, будет испытывать деформации близмеридионального укорочения и близширотного и вертикального удлинения. Реальная геологическая среда существенно неоднородна, наделена блоковым строением, наличием активных разрывных нарушений земной коры. Поэтому распределение деформаций при действии внешних сил, может существенно отличаться от упрощенной схемы, описанной выше. Вместе с тем, основные тенденции в поведении компонент тензора скорости сеймотектонической деформации в широтном, меридиональном и вертикальном направлениях (компоненты  $V_{xx}$ ,  $V_{yy}$ ,  $V_{zz}$ ), в целом, согласуются с приведенной выше упрощенной схемой деформирования однородного геоматериала.

Шесть основных компонент тензора скорости сеймотектонической деформации  $V_{xx}$ ,  $V_{yy}$ ,  $V_{zz}$ ,  $V_{xy}$ ,  $V_{xz}$ ,  $V_{yz}$  дают представление о характеристиках течения горных масс в географической системе координат. Для оценки вида напряженного состояния земной коры используют параметры напряженно-деформированного состояния, выраженные через

главные компоненты тензора деформаций  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ . Для этих целей обычно используется коэффициент Лодэ-Надаи:

$$\mu_\varepsilon = \frac{2(\varepsilon_2 - \varepsilon_3)}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} - 1$$

Всевозможные значения  $\mu_\varepsilon$  заключены в пределах  $-1 \leq \mu_\varepsilon \leq 1$ . Величина  $\mu_\varepsilon = 1$  характеризует одноосное сжатие,  $\mu_\varepsilon = -1$  – одноосное растяжение,  $\mu_\varepsilon = 0$  – простой сдвиг.

Для получения главных компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций для каждой ячейки осреднения решалось характеристическое уравнение, сводящееся к нахождению корней кубического многочлена. По значениям главных компонент тензора скорости деформаций  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  проводился расчет коэффициента Лодэ-Надаи (рисунок 8).

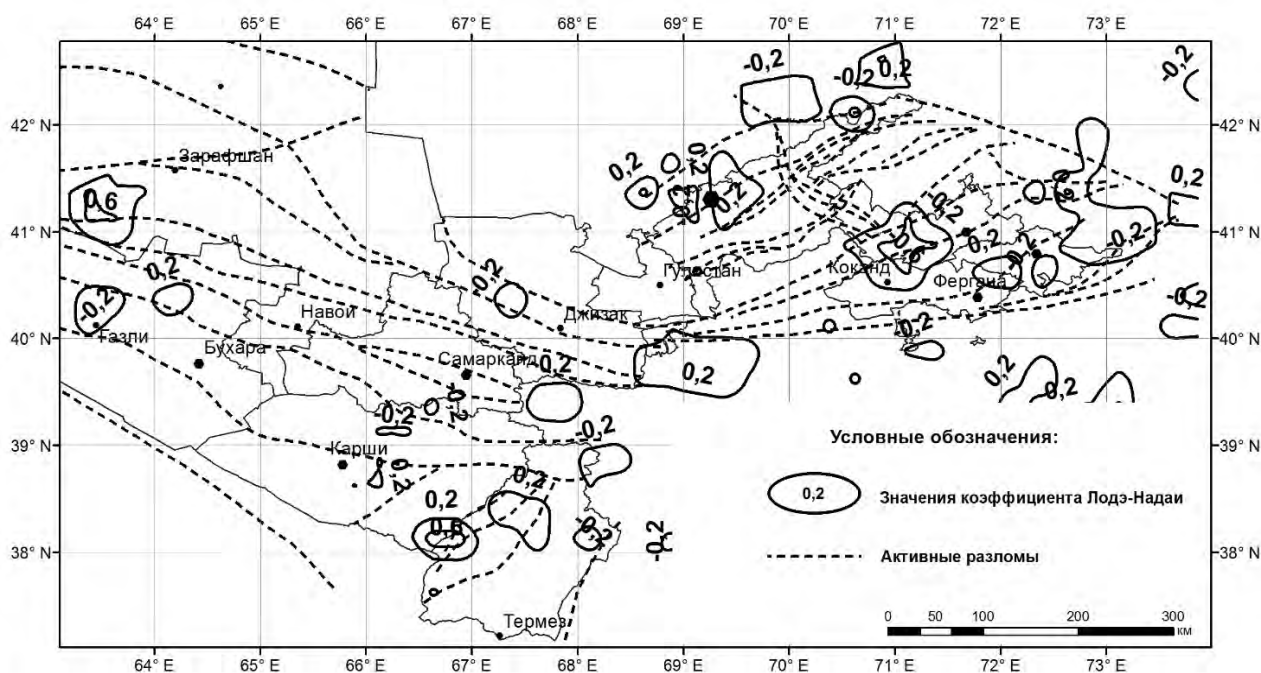


Рисунок 7 – Распределение по площади различных значений коэффициента Лодэ-Надаи

Площадное распределение коэффициента Лодэ-Надаи на сейсмоактивной части территории Узбекистана показано рисунке 8. Как видно из рисунка, подавляющая часть территории характеризуется напряженным состоянием, близким к простому сдвигу ( $-0,2 \leq \mu_\varepsilon \leq 0,2$ ). Напряженное состояние, близкое к одноосному растяжению ( $\mu_\varepsilon \leq -0,6$ ) отмечается в очаговой области Газлийских и Каратагских землетрясений, в центральной части системы Северо-Ферганских разломов, а также в области Талдысуйских и Куршабских разломов. Напряженное состояние, близкое к одноосному сжатию ( $\mu_\varepsilon \geq 0,6$ ) наблюдается в западной части Северо-Тамдынского разлома, в южной части системы Байсун-Кугитанских и Сурхантау-Шерабадских разломов, а также в пределах Каржантауской структуры вблизи города Ташкента.

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1. Для всей сейсмоактивной части территории Узбекистана проведено определение шести основных компонент тензора скорости сеймотектонической деформации. Показано, что качественная картина распределения скоростей деформаций в широтном направлении (компонента  $V_{xx}$ ), в меридиональном направлении (компонента  $V_{yy}$ ) и в вертикальном направлении (компонента  $V_{zz}$ ) согласуется с представлениями о формировании

регионального поля напряжений, обусловленного надвиганием Индостанской и Аравийской плит на Евразийскую плиту;

2. Проведен расчет главных компонент тензора скорости сеймотектонических деформаций при сейсмическом течении горных масс и через значение коэффициента Лодэ-Надаи определен вид напряженного состояния земной коры различных областей территории Узбекистана. Показано, что подавляющая часть исследуемой территории характеризуется напряженным состоянием, близким к простому сдвигу ( $-0,2 \leq \mu_\epsilon \leq 0,2$ ).

### Литература

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. М.: Наука. 1985. 408 с.
2. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сеймотектонических деформаций. М.: Наука. 1990. 190 с.
3. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: Академкнига. 2007. 406 с.
4. Сейдузова С.С., Матасова Л.М. Отчет по теме: Изучить корреляционные связи параметров сейсмического течения с особенностями энергетического режима земной коры применительно к количественным оценкам сейсмической опасности за 1984-1985 гг.(заключительный). Труды Института геологии и геофизики АН УзССР. Ташкент. 1985. 187 с.
5. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Кучкаров К.И., Мирзаев М.А. Методология построения нового комплекса карт общего сейсмического районирования территории Узбекистана ОСР-2017// Геориск. 2018. Т. 12. № 2. С. 6-24.
6. Мирзаев М.А., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л. Каталог механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана (настоящий сборник).
7. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Ташкент: ФАН. 2012. 254 с.
8. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.О., Ибрагимов О.Р. Сеймотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. Ташкент: Гидроингео. 2002. С. 59-74.
9. Уломов В.И. Динамика земной коры и прогноз землетрясений. Ташкент: Фан. 1974. 215 с.

## СОСТОЯНИЕ СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ 20 ЯНВАРЯ 2010 ГОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА DEMETER

Аязбаев Г.М.<sup>1,2</sup>, Лозбин А.Ю.<sup>1,2</sup>, Инчин А.С.<sup>2</sup>, Крякунова О.Н.<sup>3</sup>

[Lozbin.a@istt.kz](mailto:Lozbin.a@istt.kz)

<sup>1</sup>Казахский Национальный Университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Институт космической техники и технологий, г.Алматы, Республика Казахстан

<sup>3</sup>Институт ионосферы, г.Алматы, Республика Казахстан

*В данной работе рассматривается состояние среднеширотной ионосферы по ее различным параметрам на основе спутниковых данных во время геомагнитной бури 20 января 2010 года. Для описания события магнитной бури использовались данные Геомагнитной обсерватории ДТОО «Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий» г.Алматы. В качестве анализируемых данных в настоящем исследовании использовались измерения с приборов, установленных на борту КА «DEMETER». Для анализа и визуализации измерений использовалась разработанная в ДТОО «Институт космической техники и технологии» «Система поиска ионосферных аномалий «DIAS». С целью выявления воздействия геомагнитной бури на ионосферу, был проведен комплексный анализ данных электромагнитного поля, ионных параметров (температуры, скорости и концентрации), а также энергетических электронов.*

*Ключевые слова:* ионосфера, геомагнитная буря, магнитное поле Земли, электроны, ионы

### Введение

Одним из самых информативных методов исследования ионосферы является измерения её параметров с борта космического аппарата. Данные методы имеют ряд преимуществ и недостатков. Основным преимуществом спутниковых методов исследований ионосферы является возможность измерений непосредственно внутри исследуемого объекта. Используя на спутнике комплекс измерительных приборов, можно получать ряд параметров ионосферы для исследования ее связи с другими слоями атмосферы, с литосферой, солнечной активностью и пр. Так как спутник, который находится на солнечно-синхронной орбите, на высоте 600-700 км над Землей за сутки делает примерно 15 витков, мы имеем возможность исследования ионосферы над всей Землей. Однако, это является и минусом, т.к. практически исключается возможность исследования кратковременных возмущений над определенными регионами Земли. Для этих целей потребуется группировка спутников. Одним из самых ярких спутниковых проектов для исследования ионосферы и ионосферно-литосферных связей являлся французский спутник DEMETER [1].

Космический аппарат DEMETER (Detection of Electro-Magnetic Emissions Transmitted from Earthquake Regions) – это миниспутник для исследования возмущений в ионосфере Земли, являющихся следствием сейсмической и вулканической активностей.

DEMETER вызывает интерес тем, что это был единственный спутник на орбите, позволяющий проводить комплексные исследования ионосферных возмущений.

DEMETER имел вес 130 кг и был запущен на солнечно-синхронную орбиту Земли высотой 710 км и наклоном 98.3° 29 июня 2004 года. 9 декабря 2010 года спутник прекратил свое существование.

Проект DEMETER преследовал научные цели изучить ионосферные возмущения, связанные с сейсмической и вулканической активностью и имеющие отношение к антропогенной деятельности;

Полезная нагрузка миниспутника включала 5 измерительных приборов:

- ICE - 4 электрических датчика, работающих в режиме постоянного тока и в частотном диапазоне до 3.5 МГц [2];
- IMSC - 3 магнитных датчика, интервал частот от нескольких Гц до 18кГц [3];
- IAP - ионный анализатор [4];
- IDP - детектор частиц высокой энергии [5];
- ISL - ленгмюровский зонд [6].

Таким образом, данные с приборов КА «DEMETER» позволяют комплексно исследовать различные ионосферные возмущения и проводить их корреляцию с природными и антропогенными явлениями.

В данной работе рассматривается состояние среднеширотной ионосферы по ее различным параметрам на основе спутниковых данных во время геомагнитной бури 20 января 2010 года.

### **Исходные данные и методы исследования**

В настоящем исследовании рассматривается событие магнитной бури, которое произошло 20 января 2010 года и вызвало возмущение в ионосфере на средних широтах.

Для описания события магнитной бури использовались данные Геомагнитной обсерватории ДТОО «Институт ионосферы» АО «Национальный центр космических исследований и технологий» г.Алматы [7].

Обсерватория «Алма-Ата» находится на высоте 1300 м над уровнем моря, в предгорьях Тянь-Шаня, примерно в 10 км от г.Алматы, географические координаты [43,10°N; 76,57°E], геомагнитные координаты обсерватории [34,3°N; 152,7°E]. В качестве регистрирующей аппаратуры используются феррозондовый магнитометр LEMI-008 [8], портативный однокомпонентный магнитометр LEMI-203 [9] и процессорный оверхаузеровский датчик POS-1 [10]. Данная аппаратура соответствует современным международным стандартам. В конце 2005 года Геомагнитная обсерватория «Алма-Ата» получила сертификат качества Международной организации INTERMAGNET [11].

На обсерватории «Алма-Ата» производятся измерения трех составляющих вектора геомагнитного поля: X (направлена на географический север), Y (направлена на восток, перпендикулярно оси X) и Z (направлена вверх) размерность – нТл; амплитуда векторного поля F – размерность нТл. Вариационные измерения XYZ-компонент геомагнитного поля производятся с частотой 1 Гц., измерения F – с частотой 5 Гц, из секундных данных формируются минутные файлы XYZF. В обсерватории имеются данные по состоянию магнитного поля с 1964 по настоящее время. На сайте Института ионосферы [7] представлены минутные и часовые данные XYZF и значения k-индексов геомагнитной активности за период с 2003г. по настоящее время.

В качестве анализируемых данных в настоящем исследовании использовались измерения с приборов, установленных на борту КА «DEMETER».

Электрометр ICE предназначен для измерения электрических возмущений в ионосфере. Аппаратура и бортовая обработка данных были разработаны так, чтобы обеспечить оптимальный набор данных в различном диапазоне частот.

На выходе прибора исследователю предоставляется следующая информация:

- 3 ряда данных по 3-м осям (X – по направлению движения спутника; Y – перпендикулярно вектору движения спутника; Z - направление в надир) в УНЧ диапазоне (0-20 Гц). Каждые 6,5536 с прибор выдает массив из 256 значений по каждой компоненте, что соответствует частоте измерений 39,0625 Гц. Единица измерения – мВ/м. Измерения осуществляются в одном режиме над всей территорией Земли, кроме полярных зон.

- 3 ряда данных по 3-м осям в КНЧ диапазоне (0-1250 Гц). Каждые 1,6384 с прибор выдает массив из 4096 значений по каждой компоненте, что соответствует частоте измерений 2500 Гц. Единица измерения – мкВ/м. Измерения осуществляются только над сейсмоопасными регионами Земли;



– 1 ряд данных по оси Z в ОНЧ диапазоне (0-40 кГц). Каждые 0,2048 с прибор выдает массив из 8192 значений, что соответствует частоте измерений 40 000 Гц. Единица измерения – мкВ/м. Измерения осуществляются только над сейсмоопасными регионами Земли;

– спектральная форма измерений в ОНЧ диапазоне (0-40 кГц). Разрешение по оси X спектра составляет 4,096 с, а по оси Y – 19,53125 Гц. Единица измерения –  $\log \frac{(\text{мкВ/м})^2}{\text{Гц}}$ . Измерения осуществляются только над сейсмоопасными регионами Земли;

– 1 ряд данных по оси Z в ВЧ диапазоне (0-3,3 МГц). Каждые 0,6144 с прибор выдает 4096 значений, что соответствует частоте измерений 6 666,667 Гц. Единица измерения – мкВ/м. Измерения осуществляются только над сейсмоопасными регионами Земли;

– спектральная форма измерений в ВЧ диапазоне (0-3,3 МГц). Разрешение по оси X спектра составляет 4,096 с, а по оси Y – 3,255 кГц. Единица измерения –  $\log \frac{(\text{мкВ/м})^2}{\text{Гц}}$ . Измерения осуществляются только над сейсмоопасными регионами Земли.

Магнитометр IMSC предназначен для измерения возмущений магнитного поля в ионосфере. Прибор состоит из 3-х ортогональных магнитных антенн, присоединенных к блоку предусилителя экранированным кабелем длиной 80 см.

На выходе прибора IMSC исследователю предоставляется следующая информация:

– 3 ряда данных по 3-м осям в КНЧ диапазоне (0-1250 Гц). Каждые 1,6384 с прибор выдает ряд из 4096 значений по каждой компоненте, что соответствует частоте измерений 2500 Гц. Единица измерения – нТ. Измерения осуществляются только над сейсмоопасными регионами Земли;

– 1 ряд данных по оси Z в ОНЧ диапазоне (0-40 кГц). Каждые 0,2048 с прибор выдает массив из 8192 значений, что соответствует частоте измерений 40 000 Гц. Единица измерения – нТ. Измерения осуществляются только над сейсмоопасными регионами Земли;

– спектральная форма измерений в ОНЧ диапазоне (0-40 кГц). Разрешение по оси X спектра составляет 4,096 с, а по оси Y – 19,53125 Гц. Единица измерения –  $\log \frac{(\text{нТ})^2}{\text{Гц}}$ . Измерения осуществляются только над сейсмоопасными регионами Земли.

Ионный анализатор IAP предназначен для измерения состава ионов, их плотности, температуры и скорости.

На выходе прибора пользователю предоставляется следующая информация:

– плотность ионов  $\text{H}^+$ ,  $\text{He}^+$  и  $\text{O}^+$  (част/см<sup>3</sup>);

– температура ионов (К);

– скорость ионов вдоль спутниковой оси OZ (м/с);

– угол между вектором скорости ионов и спутниковой осью OZ (градусы);

– угол между проекцией вектора скорости ионов на плоскость XOY осью спутника OX (градусы);

– потенциал спутника (В).

Частота измерений составляет 2,317 с над сейсмоопасными регионами Земли и 4,429 с над остальной территорией.

Детектор заряженных частиц IDP предназначен для регистрации слабых электронных потоков в диапазоне от 70 до 1000 кэВ.

Выходными данными прибора IDP для сейсмически опасных регионов Земли является энергетический спектр электронов (электронов/см<sup>2</sup>/с/ср/кэВ). Для остальных регионов Земли предоставляется следующая числовая информация:

– потоки электронов с энергией от 90,7 до 526,8 кэВ (част/см<sup>2</sup>/с/ср/кэВ);

– потоки электронов с энергией 526,8 до 971,8 кэВ (част/см<sup>2</sup>/с/ср/кэВ);

– потоки электронов с энергией от 971,8 до 2342,4 кэВ (част/см<sup>2</sup>/с/ср/кэВ).

Частота измерений составляет 1 Гц.

Ленгмюровский зонд ISL предназначен для измерения плотности электронов и их температуры.

Выходные файлы с прибора ISL содержат следующую научную информацию:

- плотность электронов (част/см<sup>3</sup>);
- плотность ионов (част/см<sup>3</sup>);
- температуру электронов (К)
- потенциал плазмы (В);
- плавающий потенциал (В);
- потенциал спутника (В).

Частота измерений составляет 1 Гц.

Для анализа и визуализации измерений использовалась разработанная в ДТОО «Институт космической техники и технологии» «Система поиска ионосферных аномалий «DIAS» [12-13]. Это программный комплекс предназначенный для выявления и идентификации ионосферных аномалий по спутниковым данным КА «DEMETER». Назначение системы - визуализация, анализ и картографическая привязка спектрометрических и волновых данных с научных приборов, установленных на борту КА «DEMETER».

Основная задача программы состоит в обеспечении исследователя удобным инструментом для выявления и идентификации источников различных возмущений в ионосфере по спутниковым данным.

### Результаты и обсуждение

20 января 2010 года различными геомагнитными обсерваториями мира была зафиксирована геомагнитная буря (рисунок 1). Максимум Кр индекса приходится на 15-18 часов по времени UTC. По данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата», в это же время наблюдались возмущения магнитного поля по всем 3-м направлениям (Рисунок 2).

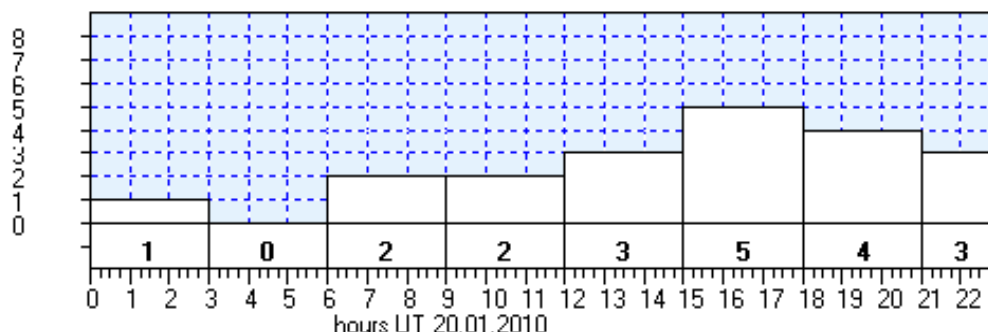


Рисунок 1 – Значение Кр индекса за 20.01.2010

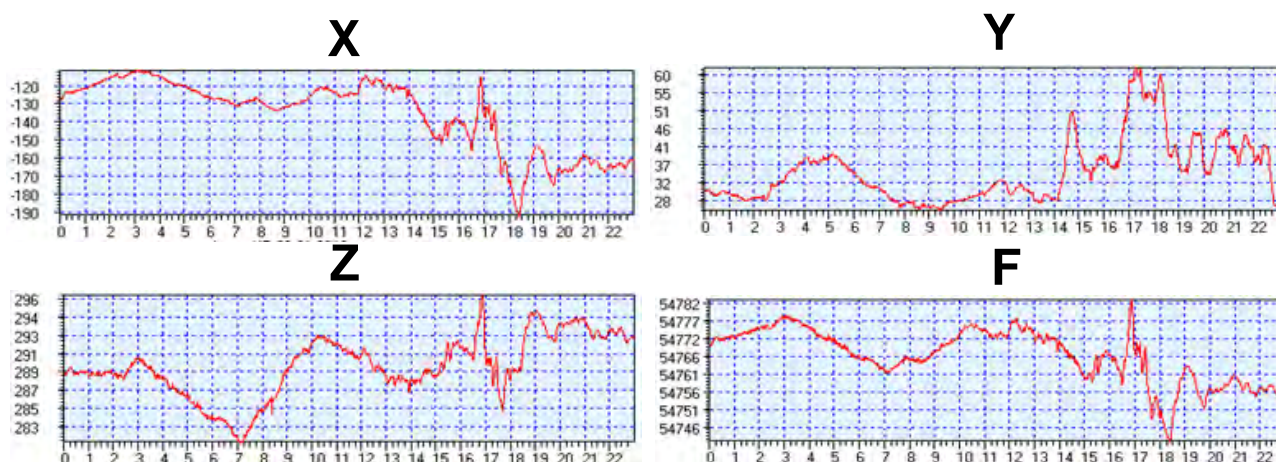


Рисунок 2 – Напряженность геомагнитного поля в обсерватории «Алма-Ата» за 20.01.2010

В это же время, согласно данным сайта [www.spaceweatherlive.com](http://www.spaceweatherlive.com) наблюдалось усиление параметров солнечного ветра и напряженности межпланетного магнитного поля (рисунок 3). Здесь мы видим, что возрастание скорости солнечного ветра началось примерно с 08:00 UTC. Резкий скачок произошел примерно в 17:00 UTC, а максимум пришелся на 23:40 UTC. В целом, возрастание скорости солнечного ветра по сравнению с 08:00 UTC составило ~80%.

Также, в 15:50 UTC наблюдался максимум плотности солнечного ветра – до 45 част/см<sup>3</sup>. С 08:00 до 23:00 UTC происходило возрастание напряженности межпланетного магнитного поля с 3 до 18 нТ. Согласно этому же сайту, повышения уровня солнечных протонов с энергией более 10 МэВ 20 января 2010 года не наблюдалось.

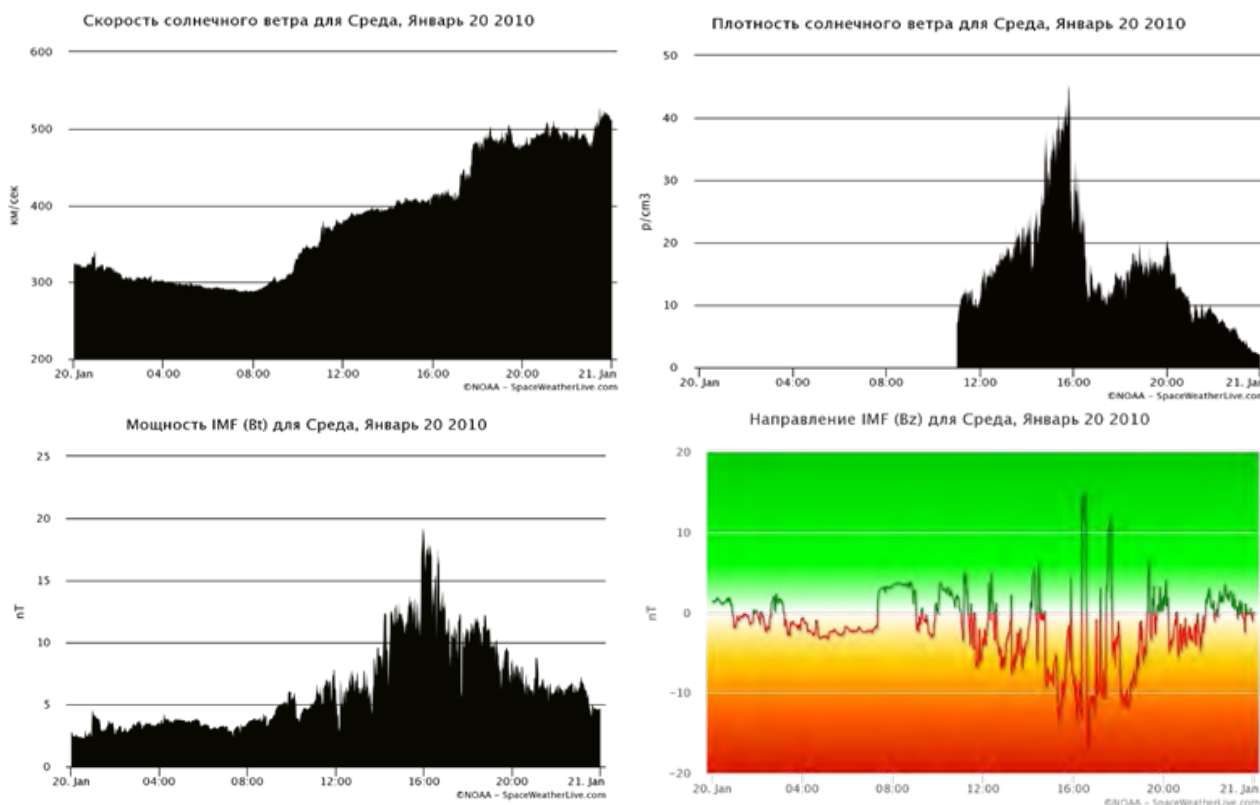


Рисунок 3 – Параметры солнечного ветра и межпланетного магнитного поля за 20.01.2010

Во время максимума этих событий (~ 16:00 UTC), восходящая орбита космического аппарата DEMETER проходила над территорией Казахстана. Начальное время полувитка: 15:40 UTC, а конечное – 16:15 UTC.

В УНЧ диапазоне электрического поля (0-20 Гц) явных возмущений не наблюдалось. Анализ электрического поля в КНЧ диапазоне на спутниковой высоте показал наличие на спектре низкочастотных электростатических колебаний (горизонтальные структуры в левой части спектра на рисунке 4). Это всплески электрических колебаний на частотах ~100 - 400 Гц, которые обычно наблюдаются на ИСЗ в зоне полярных сияний на различных высотах. Чаще всего, эти всплески объясняются или пересечением ИСЗ мелкомасштабных пространственных зарядовых структур, или токовой генерацией ионно-звуковых или ионно-циклотронных колебаний [14]. Однако, в нашем случае эти возмущения наблюдаются на средних широтах (32°-47° С.Ш.), но связать их с геомагнитной бурей довольно сложно, т.к. для других полувитков, при спокойных геомагнитных условиях, такие колебания также наблюдались.

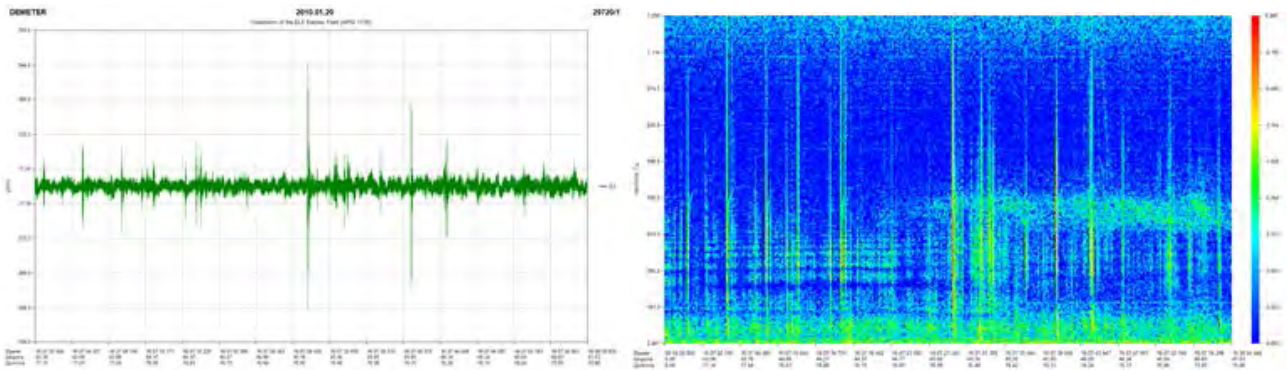


Рисунок 4 – Волновая и спектральная форма напряжённости электрического поля в КНЧ диапазоне для восходящего полувитка №29720

В правой части спектрограммы на рисунке 4 в диапазоне частот ~450-550 Гц наблюдаются, по всей видимости, плазмосферные шипения. Эти излучения возникают довольно часто и рассредоточены по всей плазмосфере с незначительными вариациями по интенсивности. В нашем случае, видимо, эти шумы были усилены как раз за счет высыпания электронов. Вертикальные структуры на данной спектрограмме - это электронные свисты, вызванные разрядами молний в атмосфере.

Данные с магнитометра IMSC оказались довольно сильно «зашумлены» и не представляется возможным анализ тонких структур в данном случае.

По данным с прибора IAP (рисунок 5) мы видим, что наблюдалось возмущение температуры и скорости ионов с 16:03 по 16:08 UTC с максимумом в 16:05:40, что приходится на территорию центрального Тянь-Шаня ~ 41-42° С.Ш. (северная магнитосопряженная точка). Также, наблюдалось существенное снижение концентрации ионов кислорода и ее стабилизация над территорией пустыни Гоби на уровне 30-40 частиц/см<sup>3</sup>. По концентрации ионов гелия и водорода наблюдались незначительные колебания и общая тенденция роста к северу по широте.

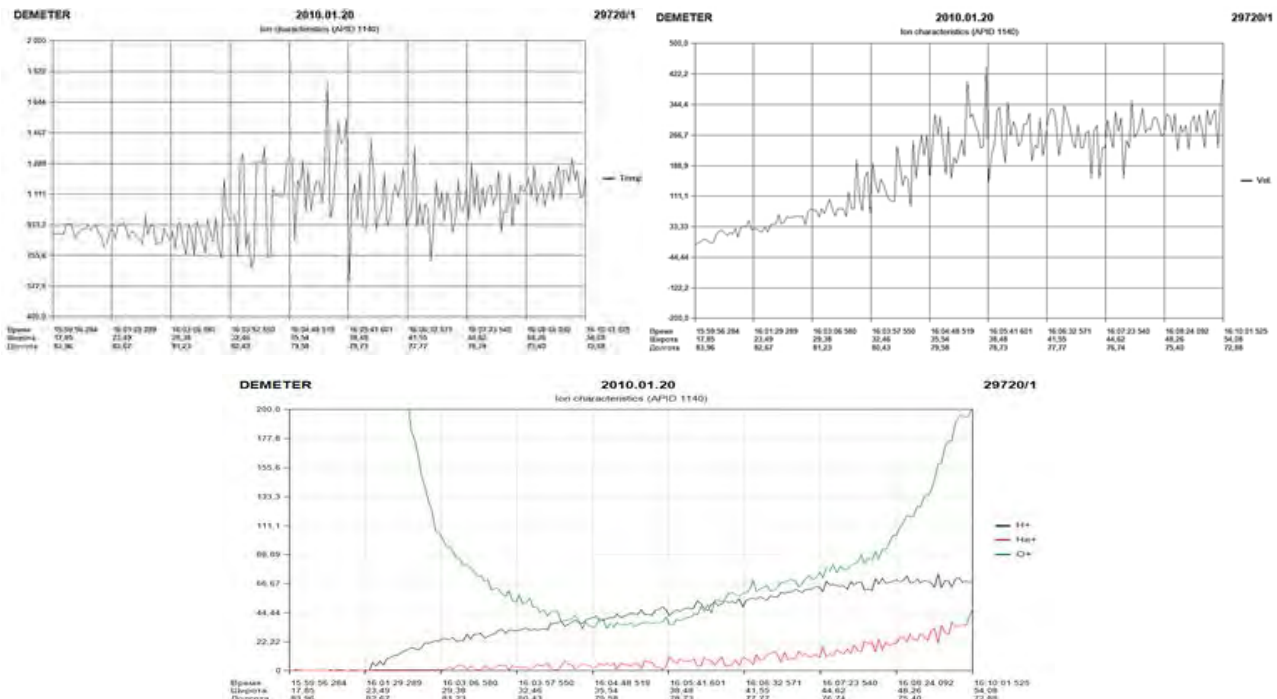


Рисунок 5 – Температура, скорость и концентрация ионов для полувитка №29720

На спектрограмме прибора IDP (рисунок 6) видно, что с 16:07:15 по 16:08:33 произошло высыпание из внутреннего радиационного пояса Земли электронов с энергией до 160 кэВ.

### Заключение

Таким образом, в данной работе рассмотрено состояние среднеширотной ионосферы по ее различным параметрам на основе спутниковых данных во время геомагнитной бури 20 января 2010 года. По этим данным, было выявлено наличие в КНЧ спектре напряженности электрического поля электростатических колебаний в диапазоне частот ~100-400 Гц, которые довольно сложно связать напрямую с геомагнитной бурей. Также, наблюдалось возмущение температуры и скорости ионов, однако, они приходятся на более низкие широты и связать их с геомагнитной бурей, также, довольно сложно, т.к. аналогичные озмущения наблюдались и для спокойных полувитков. Во время максимума геомагнитной бури произошло высыпание из внутреннего радиационного пояса Земли электронов с энергией до 160 кэВ, что, возможно, связано с геомагнитной бурей, происходящей в тоже время. Однако, данное предположение требует более тщательной проверки, для других полувитков проходящих над этой же территорией.

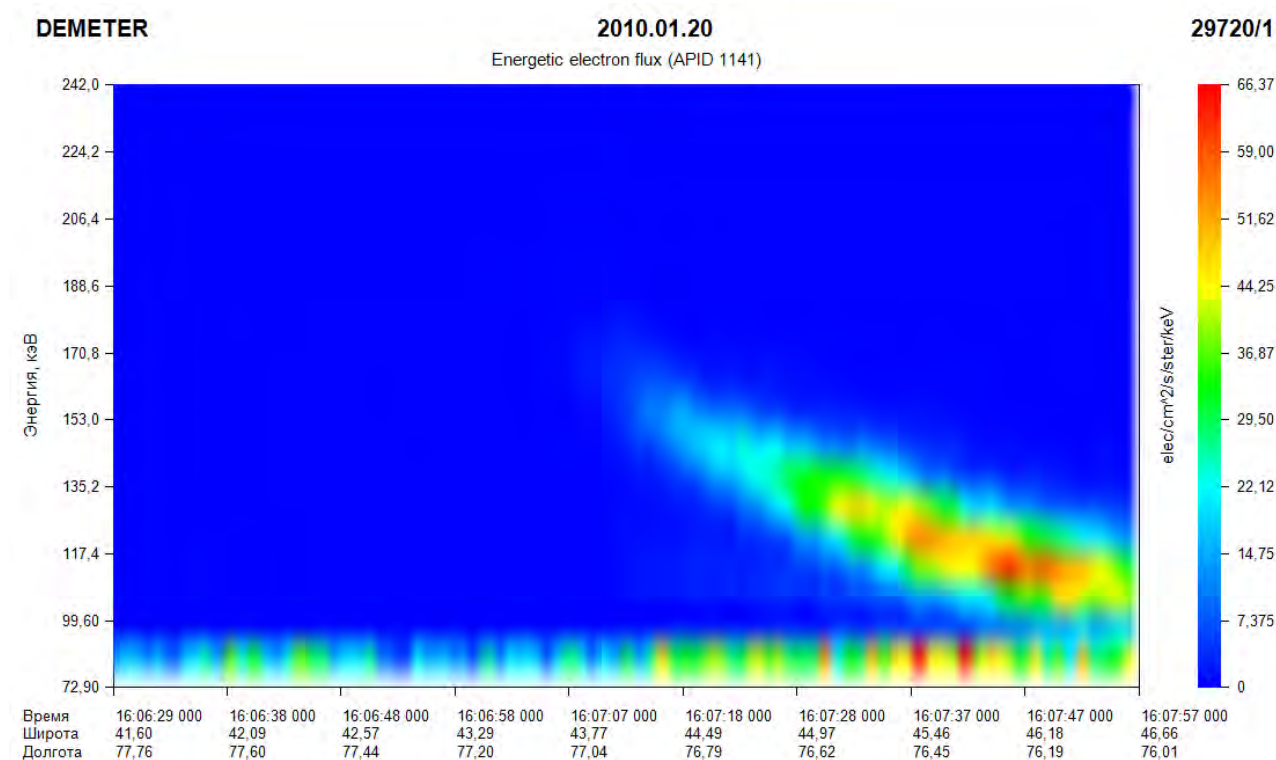


Рисунок 6 – Энергетический спектр электронов для полувитка №29720

### Литература

1. Cussac T. and others. The DEMETER microsatellite and ground segment. - Special issue of Planetary and Space Science "DEMETER". J. Planetary and Space Science №54. 2006. P. 413-427
2. Berthelier J.J., Godefroy M. and others. ICE, the electric field experiment on DEMETER. J. Planetary and Space Science. Vol.54. 2006. P. 456-471.
3. Parrot M., Benoist D. and others. The magnetic field experiment IMSC and its data processing onboard DEMETER: Scientific objectives, description and first results. J. Planetary and Space Science. Vol.54. 2006, P. 441-455.

4. Berthelier J.J. and others. IAP. The thermal plasma analyzer on DEMETER. Planetary and Space Science. Vol. 54. 2006. P. 487-501.
5. Sauvaud J.-A. and others. High-energy electron detection onboard DEMETER: The IDP spectrometer, description and first results on the inner belt. J. Planetary and Space Science. Vol. 54. 2006. P.502-511.
6. Merikallio S. Analysis and visualisation software for Demeter Langmuir probe instrument. Raportteja rapporter reports. No. 2006:10. Helsinki. 2006. 43 p.
7. <http://ionos.kz/>
8. <https://www.isr.lviv.ua/lemi008.htm>
9. <https://www.isr.lviv.ua/lemi203.htm>
10. <http://geoget.ru/images/stories/ММОПС.pdf>
11. <https://www.intermagnet.org/>
12. Лозбин А.Ю., Шпади М.Ю. Новое программное обеспечение для визуализации и картографической привязки данных спутника ДЕМЕТЕР // Тезисы докладов XIII Международной молодежной научно-практической конференции. "Человек и Космос". Днепропетровск. 2011. С. 21.
13. Инчин А.С., Лозбин А.Ю., Шпади М.Ю. Методики и программный комплекс для выявления и идентификации ионосферных аномалий по спутниковым данным // Тезисы докладов международной научной конференции «Независимый Казахстан: 20 лет развития космических исследований», посвященной 75-летию академика У.М. Султангазина и 20-летию организации Института космических исследований. Алматы. 2011. С. 13.
14. Молчанов О.А. Низкочастотные волны и индуцированные излучения в околоземной плазме. М. Наука. 1985. 224 с.

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В БУХАРО-ХИВИНСКОМ РЕГИОНЕ НОВЫМИ МЕТОДАМИ ГИС (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ КЕМАЧИ)**

Бегматов Б.Б., Мирзаахмедов М.М., Нурматов М.Р., Расулов Б.Б.

*mtm6886@mail.ru*

Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*Работа посвящена определению коллекторских свойств карбонатных пород, с использованием новых современных методов ГИС (геофизические исследования скважин). В работе выполнен анализ геологического строения карбонатных пород юрских отложений Бухаро-Хивинского региона и проведен комплекс геофизических исследований скважин по продуктивным (XV-HP и XV-P) горизонтам месторождения Южный Кемачи. Конкретизированы основные подходы, которые определяют физико-механические свойства (ФМС) пород коллекторов, акустическую анизотропию пород, связанную с кавернозностью и трещиноватостью, а также проницаемостью пород. Актуальность работы обусловлена определением коллекторских свойств в трещиновато-кавернозных и трещиноватых карбонатных породах юрских отложений газоконденсатных месторождений с использованием новых методов ГИС. Особо следует подчеркнуть, что применение рекомендуемых современных методов ГИС дает возможность более точно определять параметры и коллекторские свойства (ФЕС) сложных юрских карбонатных отложений.*

*Ключевые слова:* ГИС, нефтегазоносность, коллектор, трещиноватость, геологоразведочные работы, месторождение, сейсморазведка, комплексный анализ, залежь, порода, нефть, газ.

В административном отношении месторождение Южный Кемачи расположено в Бухарском районе Бухарской области Республики Узбекистан (рис. 1).

В орографическом отношении район работ представляет собой слабовсхолмленную полупустыню с развитием барханных песков. Район работ относится к категории безводных пустынь. Ближайшими водотоками являются река Амударья и Аму-Бухарский канал. [1]

В рассматриваемом районе работ геолого-геофизические исследования были начаты уже в 50-60 годы XX столетия, которые заключались в проведении государственных геологических съемок, структурном и геологическом бурении, аэромагнитных, гравиметрических, электроразведочных и сейсморазведочных работах в модификации МОВ. В результате проведенных работ были получены общие сведения о геологическом строении района, установлена глубина залегания палеозойского фундамента, выявлена связь магнитного и гравитационных полей с основными тектоническими элементами земной коры.

В геологическом строении рассматриваемого района принимают участие дислоцированные магматические и интенсивно метаморфизованные осадочные породы палеозоя до триасового возраста и осадочного чехла, представленного отложениями юрской, меловой, палеогеновой, неогеновой и четвертичной системами. Отложения палеозоя на месторождении Южный Кемачи проведенным бурением не вскрыты. В строении месторождения выделяется три структурных этажа-надсолевой, подсолевой и подрифовый.

По надсолевым отложениям оцениваемая площадь располагается в южной части Кемачи-Зекринской брахиантиклинальной структуры, осложненной серией низкоамплитудных локальных куполов различных размеров (рис. 2). Данная структура является наиболее крупной и высокоподнятой в пределах Испанлы-Чандырского поднятия (25 км x 15 км x 120 м). В северной части она ограничена региональным разломом,

отделяющую Чарджоускую ступень от Бухарской [2].



Рисунок 1 – Обзорная карта района исследований.

Продуктивными на месторождении являются отложения XV-HP и XV-P горизонтов, представленные карбонатными породами рифогенного комплекса.

Строение рифового массива идентично структурному плану нежных ангидритов, за исключением узкой зоны вдоль границы массива, характеризующийся очень крутыми углами (40-50°) падения, что является типичном для всех рифовых массивов данного региона. В южной части структуры Южной Кемачи углы падения составляет 1-2°

Размеры рифовой ловушки длина 12 км, ширина 4-5 км, высота 140 м.

На месторождении Южной Кемачи установлено промышленная нефтегазаносность верхнеюрских карбонатных отложений (XV-HP и XV-P горизонты).

Размеры газовой залежи: длина 11,5 км, ширина 3,7-4,6 км, высота 130 м. Тип залежи - массивный.

На месторождении Южный Кемачи с отбором керна пробурено 18 скважин, суммарной колонковой проходкой 1715,4 пог.м. При этом было отобрано 1108,45 пог.м



керна, что составило 64,6% от проходки [2].

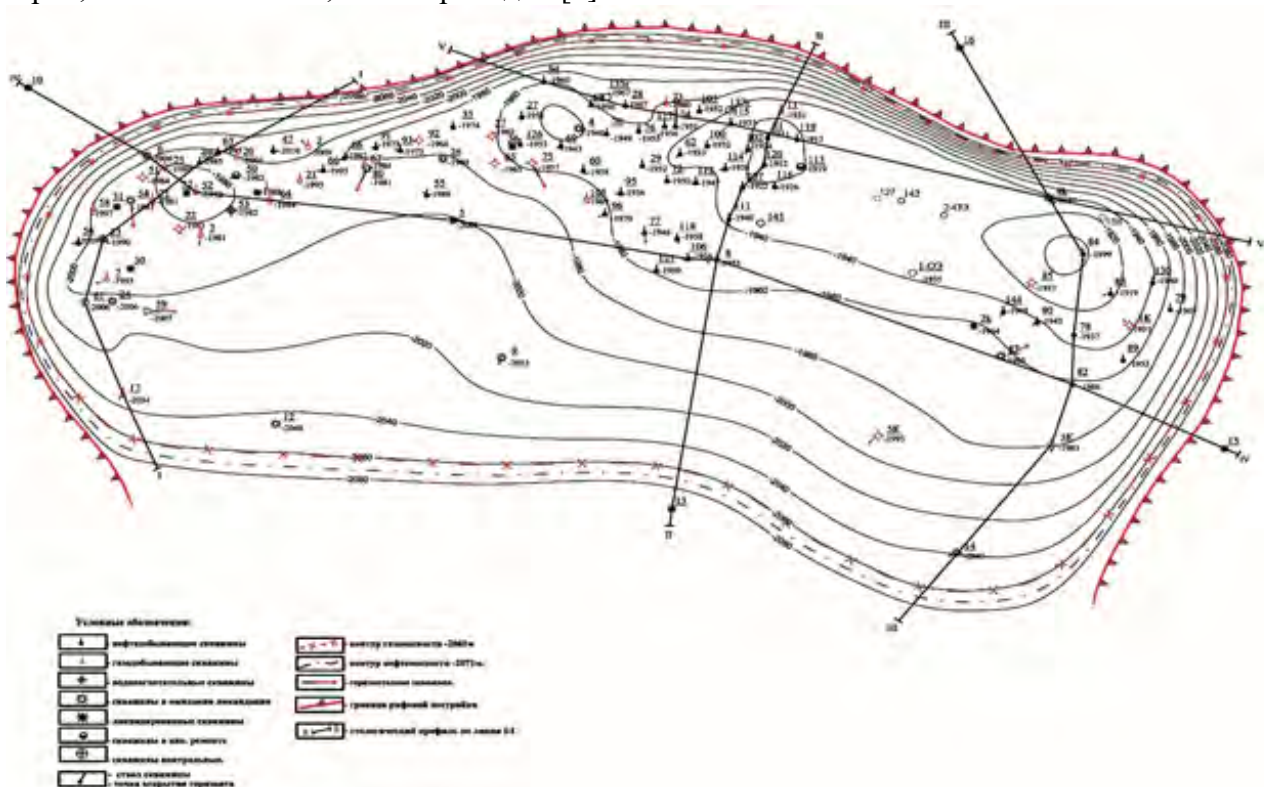


Рисунок 2 – Структурная карта месторождения Южный Кемачи.

По результатам петрофизических исследований керна нами построены зависимости распределения пористости, проницаемости (рис. 3).

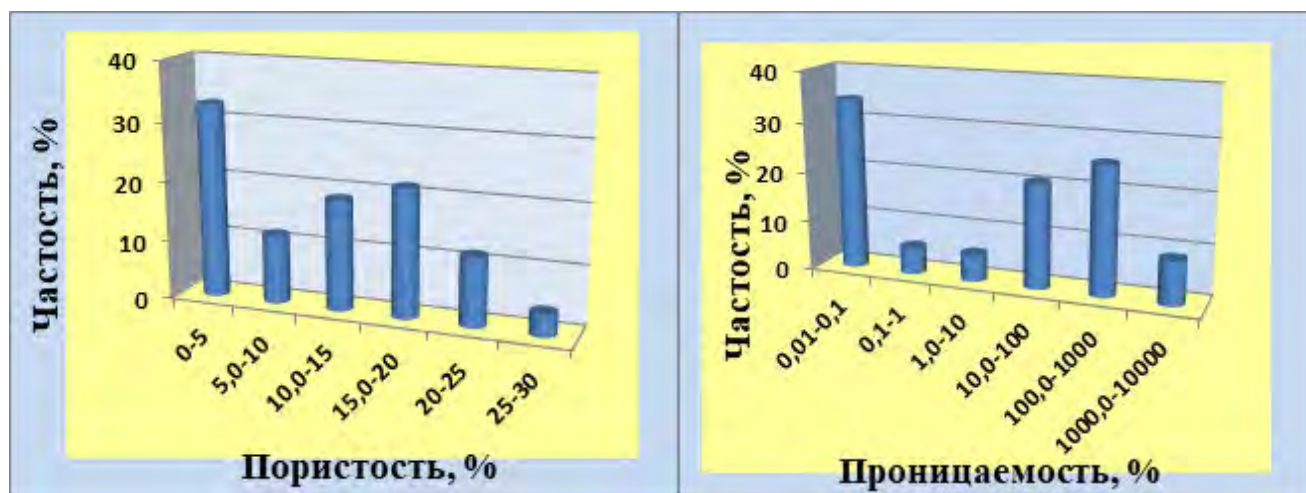


Рисунок 3 – График пористости и проницаемости.

В скважинах месторождения Южный Кемачи проведены нижеследующие комплексы промыслово-геофизических исследований скважин в масштабе глубин 1:200:

1. Стандартный каротаж, включающий запись кривых КС двух стандартных зондов и кривой ПС.
2. Замер диаметра скважины (ДС).
3. Боковое каротажное зондирование (БКЗ).

4. Боковой каротаж (БК).
5. Радиоактивный каротаж (ГК и НГК).
6. Акустический каротаж (АК).
7. Индукционный каротаж (ИК)
8. Инклинометрия

Обработка геофизической информации проводилась в программе Камертон.

По материалам ГИС решались следующие задачи:

- литологическое расчленение разреза;
- выделение коллекторов;
- определение пористости;
- определение характера насыщения и оценка газонасыщенности пород.

Выделение коллекторов [3] с использованием количественных критериев основано на том, что в исследуемом разрезе породы-коллекторы отличаются от вмещающих пород повышенными значениями фильтрационно-емкостных свойств. Граничное значение пористости для выделения пород-коллекторов карбонатных юрских отложениях принято по данным [4] лабораторных исследований керна равным  $K_{пгр} = 5\%$  (рис. 4).

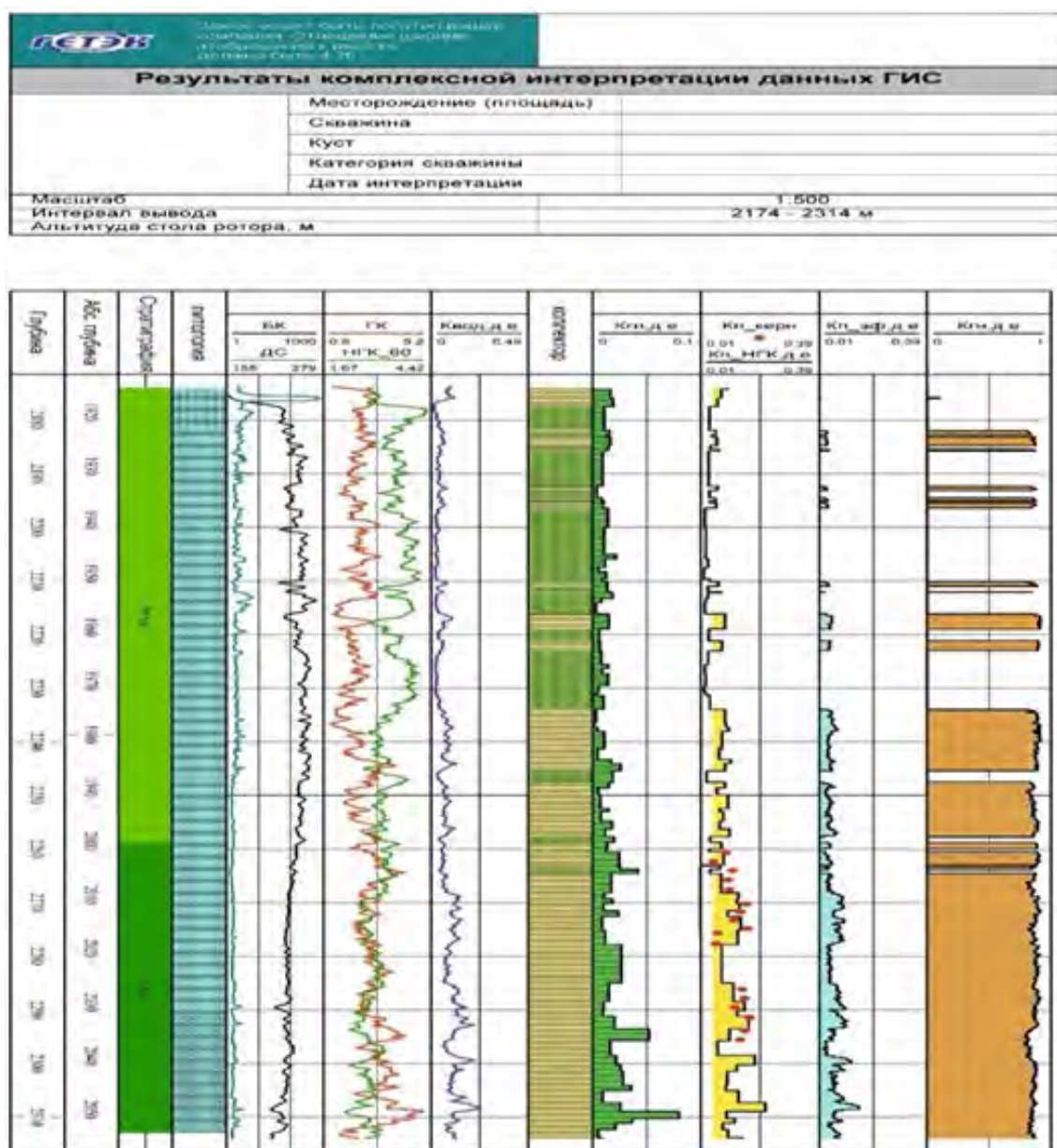


Рисунок 4 – Итоговый планшет комплексной интерпретации данных ГИС по скважине № 127 месторождения Южный Кемачи.

## Выводы и рекомендации

Для рифового и надрифового горизонтов месторождения Южный Кемачи:

- Выделены коллекторы;
- Определена глинистость коллекторов по данным ГК;
- Определена пористость коллекторов по данным методов НГК и АК;
- Определена газонасыщенность коллекторов по данным БК.

Из-за влияния газа на показания значения НГК (Пористость занижается), подсчетные параметры для оценки запасов газа приняты по результатам данных акустического каротажа (АК). Замеры акустического каротажа (АК) во многих скважинах удовлетворительные, однако в некоторых скважинах замеры АК низкого качества из-за этого в некоторых скважинах создается затруднения определить значение пористости пород коллекторов.

Не определено физико-механических свойств (ФМС) пород, акустической анизотропии пород, связанной с кавернозностью и трещиноватостью, и оценка проницаемости пород.

В связи с этим нами рекомендуется включение в комплекс следующих методов ГИС для определения данных свойств пород:

- ГГМ-П и ННМ-Т для определения общей пористости (совместное использование этих методов дает хороший результат);
- Волновой акустический каротаж дипольный (ВАК-Д) для определения физико-механических свойств (ФМС) пород, определения акустической анизотропии пород, связанной с кавернозностью и трещиноватостью, и оценка проницаемости пород;
- Боковое каротажное сканирование (БКС) для оценки характера насыщения пластов.

Включение этих методов позволит определить кавернозности, трещиноватости, проницаемости, насыщенности и пористости пород коллекторов, чтобы уточнить более точные запасы углеводородного сырья.

## Литература

1. Дивеев И.И. Уточнение геологической модели и пересчет запасов нефти, газа и конденсата месторождения Южный Кемачи. Ташкент: УзЛИТИнефтегаз. 2014.
2. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н. Эйделнант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан. Ташкент: Zamin nashr. 2019. 820 с.
3. Золоева Г.М., Лазуткина Н.Е. Комплексная интерпретация геофизических данных с целью оценки параметров коллекторов. Учеб. пособие. М.: Макс Пресс. 2009. 148 с.
4. Кулапова М.В., Хохлова М.С. АРМ специалиста по интерпретации данных ГИС. Учеб. пособие по интерпретации данных ГИС в системе «Камертон». М.: Издат. Центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2011. 112 с.

## АНАЛИЗ ИСКАЖАЮЩИХ ЭФФЕКТОВ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ КРИВЫХ СТАЦИОНАРНОГО ПУНКТА АКСУ

Валуйский А.Ю.  
webattack@list.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе проведен анализ искажающих эффектов магнитотеллурических кривых стационарного пункта Аксу (Бишкекский геодинамический полигон). Показано, что использование дисперсного соотношения амплитудной и фазовой кривых магнитотеллурического зондирования, позволяет значительно повысить качество предварительной обработки данных полевых наблюдений, следовательно, и достоверность мониторинговых исследований.*

*Ключевые слова: магнитотеллурический мониторинг, искажения амплитудных и фазовых кривых, Тянь-Шань.*

### Введение

Метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ) является самым глубинным методом электроразведки, с помощью которого исследуется распределение электропроводности в земной коре и верхней мантии, и основан он на изучении естественного переменного электромагнитного поля Земли. Магнитотеллурические измерения, выполненные в широком частотном диапазоне, дают уникальную информацию о флюидном режиме тектоносферы, зонах графитизации, дегидратации и частичного плавления. Модели электропроводности земной коры и верхней мантии, построенные для многих регионов нашей планеты, позволяют получить новую информацию о состоянии земных недр и проходящих в них процессах [1, 2].

*Актуальность* обусловлена тем, что мониторинговые исследования связаны с одной из ключевых задач современной геодинамики - изучением вариаций электромагнитных полей во взаимосвязи распределения сейсмичности. Сейсмическая активность является одним из проявлений современных геодинамических процессов. Таким образом, изучая динамику электромагнитного поля Земли во времени и её взаимосвязь с режимом сейсмичности, мы исследуем пространственно-временные закономерности в поведении геофизических полей и сейсмического процесса. Это очень важно и актуально для такого сейсмоактивного региона, как Тянь-Шань.

Мониторинговые магнитотеллурические исследования территории Бишкекского геодинамического полигона направлены на:

1. Изучение геоэлектрической структуры [3-6];
2. Выявление и изучение зон активных разломов, как тензочувствительных режимных пунктов магнитотеллурического мониторинга [7-10];
3. Определение электромагнитных параметров геологической среды, наиболее чувствительных к изменениям напряженно-деформированного состояния геологической среды [3, 11];
4. Совершенствование методов обработки и интерпретации магнитотеллурических данных [12-17];
5. Повышение точности построения геоэлектрических моделей и частотно-временных рядов МТ-мониторинга [17].

*Изучение геологической структуры* разреза, среды, в том числе, и с целью мониторинга, происходит посредством анализа динамики объектов созданных

геоэлектрических моделей. В геоэлектрических условия такого сложноустроенного региона, как Тянь-Шань, особенно важно качество экспериментального материала, поэтому на этапе качественной интерпретации был осуществлен анализ всех данных, полученных при выполнении электромагнитных зондирований. При этом оценивались не только точность измерений и возможные искажения наблюдаемых кривых, но и их корреляция между собой. В результате проведенных исследований вдоль профиля Аксу была получена геоэлектрическая модель (рис. 1), которая верифицировалась результатами электромагнитных зондирований (ЗСД), выполненных ранее, и данными параметрических скважин [19]. Вдоль заложенного МТ-профиля были выбраны пункты, в которых наблюдаемые кривые наименее искажены разного рода помехами. В дальнейшем такие пункты зондирования могли быть использованы как стационарные, так и режимные пункты мониторинговых наблюдений.

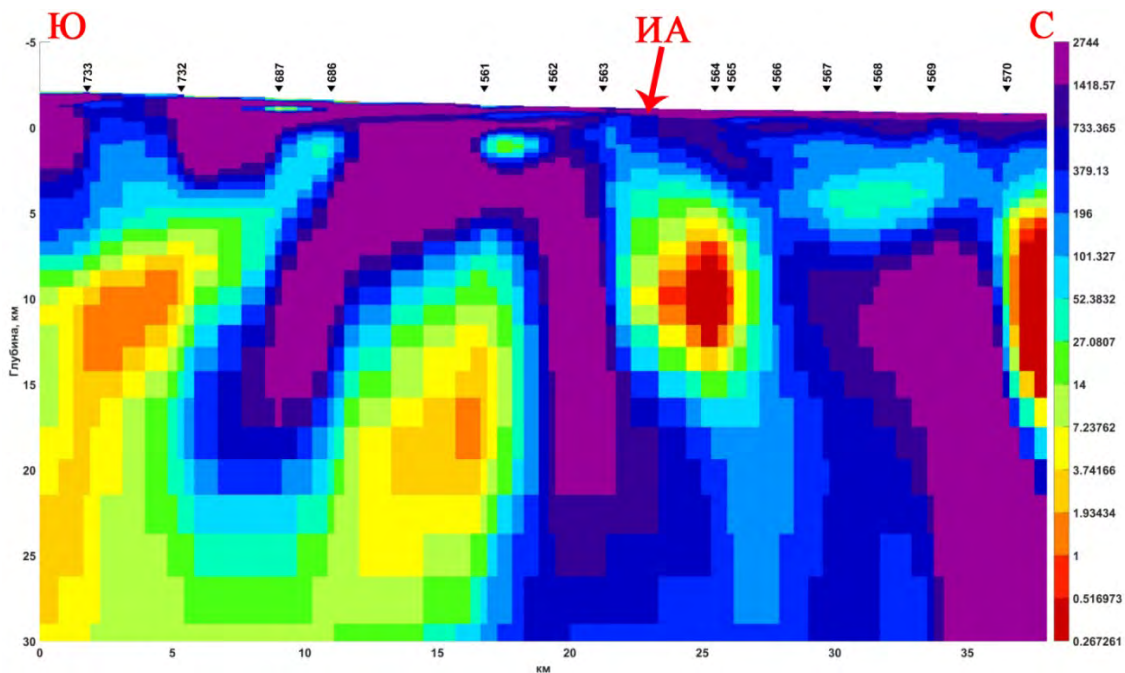


Рисунок 1 – Геоэлектрическая модель по профилю Аксу. Шкала приведена для сопротивления в Ом·м. ИА – местоположение Иссык-Атинского разлома

Особое внимание при интерпретации геоэлектрических моделей направлено на **выявление зон динамического влияния активных разломов**. Изучение динамики физических свойств этих зон (изменения электропроводности активных зон) способствует решению мониторинговых задач [3-6].

Детальное структурно-геологическое картирование было выполнено в районе стационара Аксу, который расположен вблизи наиболее активного разлома Северного Тянь-Шаня – Иссык-Атинского, где происходят основные сеймотектонические подвижки. Он выделяется как структурная линия, разделяющая предгорья Киргизского хребта и равнинную часть Чуйской впадины, протягивающаяся от долины р. Аксу на западе до восточного замыкания Чуйской впадины. Общая длина разлома составляет более 150 км. Разлом представляет собой надвиг, падающий к югу под углом 25°.

**Определение электромагнитных параметров**, наиболее чувствительных к изменениям напряженно-деформированного состояния геологической среды – методическая задача. Напряженно-деформированное состояние геологической среды является важнейшей характеристикой такого сейсмоопасного региона как Тянь-Шань и определяет протекание большинства современных геодинамических процессов. Наиболее эффективным представляется проведение мониторинговых геофизических исследований на постоянной основе в зонах активных разломов (рис. 1). По результатам анализа наблюдаемых данных происходит отбор наиболее чувствительных параметров, например, к лунно-солнечным

приливным воздействиям [3]. Изменение кажущего сопротивления в зоне динамического влияния разломов может быть использовано для оценки их современной тектонической активности и оконтуривания зон развития повышенной трещиноватости горных пород. Однако наряду с высокой чувствительностью электромагнитных параметров к изменениям напряженно-деформированного состояния геологической среды, метод МТЗ является очень чувствительным к разного рода электромагнитным помехам, которые искажают регистрируемые сигналы так, что нельзя гарантировать достоверность полученного экспериментального материала. При работах методом МТЗ неизбежны помехи, имеющие различную природу и источники: промышленные (железные дороги, ЛЭП, промышленные предприятия), бытовые (населенные пункты, транспорт, скот), атмосферные и ионосферные помехи (грозы, солнечная активность, погодные условия), гидрогеологические (реки, подземные воды). Вместе с тем, простых и универсальных методов к устранения разного рода помех не существует, необходимо совершенствовать уже существующие и разрабатывать новые методики и подходы к повышению достоверности определения электромагнитных параметров.

При решении обратных задач МТЗ могут возникнуть проблемы, связанные с *искажениями кривых МТЗ* (амплитудных и фазовых). Инверсия кривых МТЗ без учёта искажений может привести к построению недостоверных геоэлектрических разрезов. В процессе обработки МТ данных для каждой точки наблюдения рассчитывают частотные зависимости модулей и фаз компонент тензора импеданса ( $Z$ ). Анализ компонент тензора импеданса  $Z$  позволяет оценить наличие искажений, обусловленных горизонтальной неоднородностью разреза. В частности, они могут быть вызваны как латеральными неоднородностями электропроводности среды, так и особенностью рельефа местности [1, 18].

$$[Z] = \begin{bmatrix} Z_{xx} & Z_{xy} \\ Z_{yx} & Z_{yy} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Целью этапа повышения точности является подавление искажений, индуцированных приповерхностными неоднородностями. Вышеупомянутые искажения проявляются под действием *гальванических* и *индукционных эффектов* [1-2].

*Гальванические искажения* обусловлены действием избыточных зарядов, которые возникают на неоднородностях электропроводности среды. Они проявляются на малых частотах зондирования (рис. 2а). При гальваническом эффекте искажённая кривая кажущегося сопротивления смещена по оси сопротивлений параллельно относительно локально-нормальной кривой, а фазовые искажённая и неискажённая кривые совпадают.

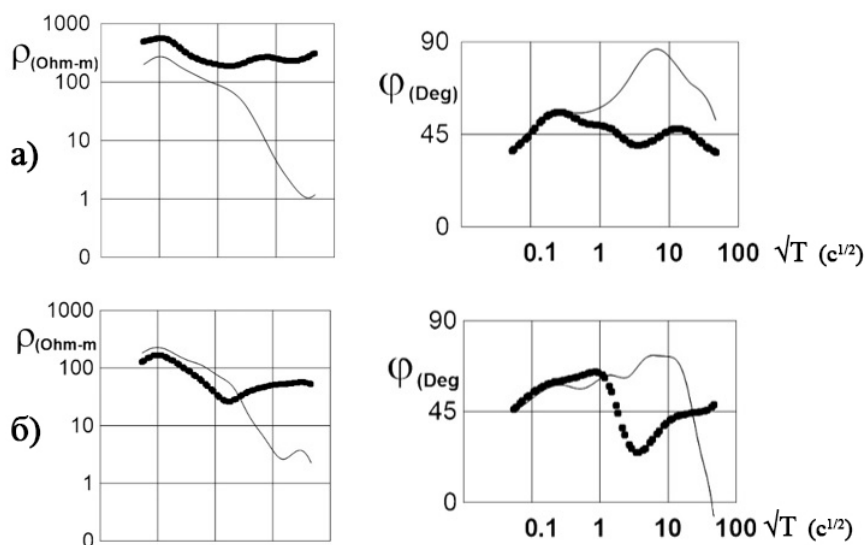


Рисунок 2 – Искажённая кривая кажущегося сопротивления с эффектом искажения: а) гальваническим; б) индукционным

**Индукционные искажения** связаны с действием избыточных токов в среде. Они наблюдаются на больших частотах зондирования (рис. 2б). При индукционном эффекте закономерности в расположении искажённых кривых МТЗ относительно неискажённых имеют более сложный характер, проявляются они в низкочастотной части кривой, как правило, в виде дополнительного минимума, что может быть проинтерпретировано как наличие ложного проводящего слоя.

**Повышение точности определения** - кроме искажений, вызванных перераспределением зарядов и токов в геоэлектрической среде, при обработке данных МТЗ приходится сталкиваться с записями, осложненными электромагнитными (промышленными, бытовыми и т.д.) помехами. В этом случае очень большую роль играет анализ поведения фазовых кривых импеданса. Рассмотрим подробнее процесс обработки данных магнитотеллурического мониторинга на стационарном пункте Аксу Бишкекского геодинамического полигона.

Основная часть обработки данных МТЗ выполняется в программе MT-Corrector [12-13], которая позволяет просматривать и редактировать частотные зависимости компонент тензора импеданса и передаточных функций [2]. Регистрация электромагнитного поля на пункте мониторинга осуществляется круглосуточно и составляет 24 часа, но для обработки используется только 16-ти часовая запись (остальные восемь часов суточной реализации не рассматриваются из-за влияния на регистрируемое МТ-поле искусственных электромагнитных импульсов, которые генерируются мощной электроимпульсной установкой ЭРГУ-600) [19].

### **Оптимизация обработки данных с помощью программы MT-Corrector**

В связи с увеличением помех на стационаре Аксу, возникла необходимость разработать методику, которая позволила бы улучшить качество обработки данных. Основа новой методики заключается в следующем:

- Для исключения помех на кривых МТЗ среди записей мониторинга Аксу с 2003 по 2013 годы были выбраны такие, качество сигнала на которых было наилучшим (плавная кривая без искажений). Для них была получена среднестатистическая кривая, которая служила шаблоном кривой для записей более низкого качества. Такие шаблоны построены для кривых кажущего сопротивления и для фазовых кривых, так как считается, что последние более стабильные и менее подвержены искажениям.

- Применение гистограмм для коррекции фазовых кривых.

Для контроля достоверности текущих МТ-зондирований необходимо выбрать и *сгруппировать* качественные МТ-данные за многолетний период наблюдений на стационаре Аксу и получить на их основе среднестатистическую кривую в  $\pm 10\%$  (которую принято называть шаблоном  $\pm 10\%$ ). Она используется для сопоставления с текущими МТ-кривыми при их редактировании.

После добавления шаблона в MT-Corrector, осуществляется загрузка исходной рабочей МТ-кривой. Для редактирования необходимо открыть окно ручного редактора по фазе ( $\varphi$ ). После этого отображается раскладка по реализациям (окно гистограмм) на текущей частоте, показанной вертикальным розовым маркером (рис. 3а и 3б). При наведении маркера на отскочившее значение фазы эффективного импеданса в зависимости от угла фазовой компоненты в окне гистограмм показывается значение корреляции по продольным и поперечным кривым при выбранной реализации. В окне гистограмм отключают выпавшую из общего ряда реализацию. При этом наблюдают, как на МТ-кривой изменят положение отскочившие точки. Эту процедуру нужно проделать последовательно для всех частот зондирования. Наибольшие искажения приурочены к низким частотам зондирования (рис. 3а). Как видно, на рисунке 3б, количество «точек» на гистограмме в конце записи меньше, это объясняется тем, что чем больше значение периодов, тем меньше реализаций на гистограмме.

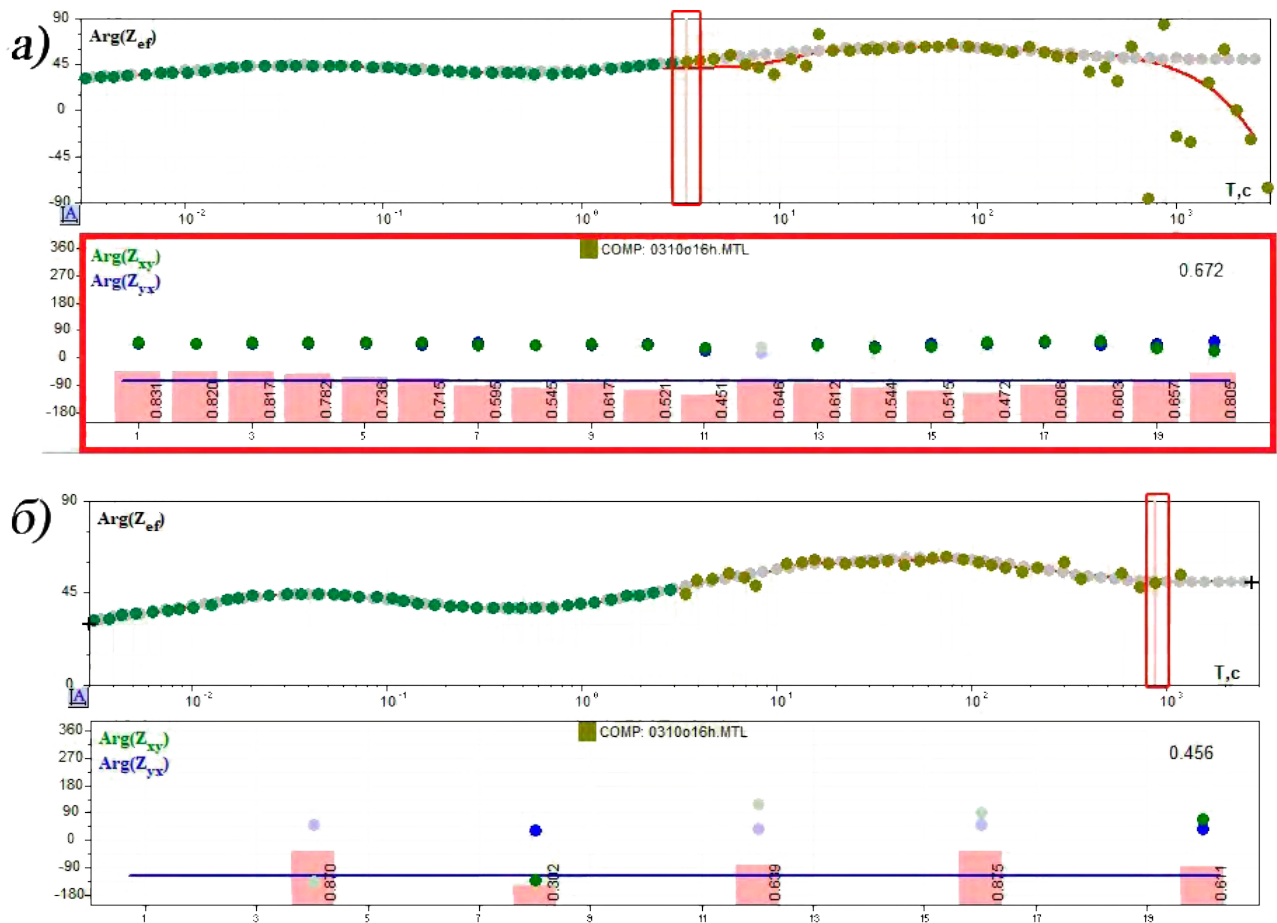


Рисунок 3 – Сравнение гистограмм в окне программы МТ-корректор: а) выделенная точка с меньшим значением периода, которая имеет больше реализаций (20 шт.); б) выделенная точка с большим значением периода, которая имеет меньше реализаций

Тем самым, проводя все вышеперечисленные процедуры, можно добиться более гладкой кривой, которая будет внешне схожа со среднестатистической кривой – шаблоном, но при этом отражать изменения геоэлектрической среды. Применение гистограмм при анализе фазы позволило значительно улучшить качество фазовых кривых, а также упростило их редактирование.

### Выводы

По результатам анализа искажений кривых магнитотеллурического зондирования на стационарном пункте Аксу был разработан подход к обработке данных магнитотеллурического мониторинга. Основные особенности этого подхода заключаются в следующем:

- а) использование среднестатистической кривой в качестве шаблона при обработке записей электромагнитного поля, осложненных помехами;
- б) при обработке данных в качестве опорной берется фазовая кривая;
- в) применение гистограмм как инструмента для улучшения качества фазовых кривых, что позволяет упростить их редактирование.

Таким образом, в результате предложенной оптимизации обработки данных магнитотеллурического мониторинга, значительно улучшилось качество предварительной обработки данных полевых наблюдений.

Автор выражает свою благодарность научному руководителю Баталевой Е.А. и научным сотрудникам ЛГМИ Матюкову В.Е, Непеиной К.С.



*Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке (тема № АААА-А19-119020190063-2).*

## Литература

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
2. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М.: Диалог-МГУ, 1997. 161 с.
3. Рыбин А.К., Спичак В.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Площадные магнитотеллурические зондирования в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2008. № 5. С. 445-460.
4. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А. Геоэлектрическое строение прибортовых зон межгорных впадин Северного Тянь-Шаня // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы докл. VII Междунар. симп., г. Бишкек, 19-24 июня 2017 г. Бишкек. 2018. С. 121-127.
5. Баталева Е.А., Пржиялговский Е.С., Баталев В.Ю., Лаврушина Е.В., Леонов М.Г., Матюков В.Е., Рыбин А.К. Новые данные о глубинном строении Южнокочкорской зоны концентрированной деформации // Доклады Академии наук. 2017. Т. 475. № 5. С. 571-575.
6. Рыбин А.К., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Брагин В.Д., Морозов Ю.А., Щелочков Г.Г. Природа верхнекоровых электропроводящих горизонтов и инфраструктура гранитов Центрального Тянь-Шаня // Доклады Академии наук. 2016. Т. 470. № 2. С. 215-218.
7. Баталева Е.А., Мухамадеева В.А. Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон) // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018. № 2. С. 461-487.
8. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Проявление структуры древних микроэлементов в геофизических полях // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Тез. докл. Шестого Междунар. симп., г. Бишкек, 23-29 июня 2014 г. Бишкек: НС РАН. 2014. С. 161-162.
9. Баталева Е.А. Корреляционные зависимости электромагнитных и деформационных параметров // Доклады Академии наук. 2016. Т. 468. № 3. С. 319-322.
10. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Морозов Ю.А., Леонов М.Г., Баталев В.Ю., Матюков В.Е., Забиякова О.Б., Нелин В.О. Особенности глубинного строения системы «Нарынская впадина – хребет Байбичетоо - Ат-Башинская впадина» по комплексу геолого-геофизических данных // Доклады Академии наук. 2018. Т. 479. № 5. С. 565-568.
11. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Вариации электромагнитных параметров как отражение лунно-солнечных воздействий и геодинамических процессов // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Материалы III Всерос. совещ. и II Всерос. молодежной школы по современной геодинамике. Иркутск. 2016. С. 258-260.
12. MT-Corrector. Руководство пользователя. «Nord-West» Ltd. Geophysical division. М. 2014. 41 с.
13. Инструкция к программе Correct (составлена на основе программы версии 4.88). М.: ООО «Северо-Запад». 2004. 28 с.
14. Рыбин А.К., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е., Десятков Г.А., Лыченко Н.М., Манжикова С.Ц., Тен В. Разработка распределенной интерактивной системы доступа к результатам магнитотеллурического мониторинга // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы докл. Пятого Междунар. симп. В 2 т. Т. 1. Бишкек. 2012. С. 179-187.

15. Баталева Е.А., Забинякова О.Б., Баталев В.Ю. Разработка программного обеспечения для профильного магнитотеллурического мониторинга миниполигона Кентор // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 17. № 8. С. 150-153.
16. Баталева Е.А., Забинякова О.Б., Баталев В.Ю. Разработка программного обеспечения для мониторинга электромагнитных параметров Бишкекского геодинамического прогностического полигона // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 17. № 8. С. 144-149.
17. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Развитие методики азимутального магнитотеллурического мониторинга на Бишкекском прогностическом полигоне // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Материалы всерос. конф. с междунар. участием. Екатеринбург. 2017. С. 37-41.
18. Ермолин Е.Ю. Особенности методики обработки и интерпритации аудиоманнитотеллурических и магнитовариационных данных при изучении двумерных геоэлектрических сред: на примере района Патомского кратера. Дис. ... канд. геол.-минерал. наук. СПб. 2011. 135 с.
19. Брагин В.Д. Активный электромагнитный мониторинг территории Бишкекского прогностического полигона // Дис. ... канд. физ.-мат. наук. М. 2001. 135 с.

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ СОБЫТИЙ В СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ КАТАЛОГАХ КЫРГЫЗСТАНА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

Воронцова Е.В.

*vorontsova@gdirc.ru*

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Приведены результаты анализа сейсмологического каталога ISC за период 2011 г – 2019 г для территории 37°-47° с.ш. 68°-83° в.д. на наличие техногенных событий.*

*Ключевые слова: каталог сейсмических событий, техногенная сейсмичность.*

При изучении связи сейсмической активности и геодинамических процессов, происходящих в земной коре, а также влияния различных внешних факторов (солнечные вспышки, сильные электромагнитные воздействия, лунно-солнечные приливы и т.д.) на сейсмичность, исследователи используют каталоги сейсмических событий. Это означает, что выбор и контроль качества каталога, используемого в исследовании, играет очень важную роль.

В настоящее время существует большое количество различных каталогов землетрясений, зафиксированных в разных точках нашей планеты. Сейсмологические сети, осуществляющие регистрацию событий, обладают разнообразной как пространственной, так и аппаратурной конфигурацией. Также для каждой сети используются свои предположения о внутреннем строении прилегающей и удаленных территорий. Это, естественно, означает, что применяемые в обработке событий скоростные модели также различны. При этом невозможно сказать, что существует какой-то «лучший каталог» - каждый имеет определенные сильные и слабые стороны. Основными общепризнанными мировыми каталогами являются NEIC [1], ISC [2], EMSC [3]. Все вышеперечисленные каталоги являются составными каталогами, то есть являются результатом объединения нескольких исходных локальных и региональных каталогов, а, значит, изначально являются неоднородными. На неоднородность каталога в пространстве и времени оказывают влияние техногенные события, такие как, например, промышленные взрывы [4]. Часто, несмотря на все усилия операторов по идентификации взрывов, такие события ошибочно включаются в каталоги. Результаты научных исследований, полученные с использованием неочищенного от них каталога, могут вводить в заблуждение. Эти события имеют низкие магнитуды и приводят к увеличению числа небольших землетрясений: такое увеличение слабой сейсмичности может быть неверно истолковано, например, как проявление изменения геосреды. После того как каталог выпущен, многие ученые используют его без дальнейшего анализа наличия возможных артефактов, предполагая, что взрывы были устранены, а регистрация естественных сейсмических событий была единообразна в пространстве и во времени. По этой причине тщательная идентификация техногенных взрывов должна представлять собой первый шаг при использовании любого каталога сейсмической активности, а их удаление - второй. Взрывы можно определить, сравнив интенсивность дневных и ночных событий, поскольку карьеры и вообще промышленные объекты работают в основном днем, и часто взрывы проводятся в определенные часы по устоявшемуся на предприятии графику. Построение гистограмм количества событий в зависимости от времени суток является предварительным показателем наличия взрывов - для техногенных событий пик будет приходиться на дневные часы.

Продемонстрируем применение этой методики на примере неуточненного каталога ISC за период 2011 г – 2019 г для территории 37°-47° с.ш. 68°-83° в.д. Общее количество

выбранных сейсмических событий с  $M > 0$  в неуточненном каталоге составляет 65600, в уточненном (до 1 апреля 2017 г) - 17200. Наибольшее количество землетрясений для отобранного каталога являются событиями из региональных каталогов KRNET (Институт сейсмологии КР, г. Бишкек), NNC (НЯЦ РК, г. Алма-Аты) и SOME (СОМЭ, г. Алма-Аты), которые являются частью мирового каталога ISC с 2010 г, 2002 г. и 2011 г. соответственно. Вышеперечисленные каталоги, за исключением SOME, отдельно не предоставляют информации о промышленных взрывах. И хотя ISC проводит некоторый анализ и помечает часть событий как «Suspected Mining explosion», либо «Anthropogenic event», в действительности окончательный каталог содержит достаточно большое количество артефактов.

Проведем анализ наличия техногенных взрывов в каталоге ISC для вышеуказанной территории. Для этого используем алгоритм Вимера и Бэра [5], основанный на чисто статистическом критерии. Согласно этому методу, путем сеточного разбиения территории и расчета для каждой ячейки коэффициента  $R_q$ , представляющего отношение событий в дневное и ночное время, можно идентифицировать регионы, где проводятся промышленные взрывы. В дневное время окружающий шум мешает обнаружению землетрясений и обычно наблюдается уменьшение количества зарегистрированных естественных сейсмических событий в дневные часы. При наличии техногенных событий наблюдается обратная тенденция - увеличение количества обнаруженных событий в дневные часы и коэффициент  $R_q$  обычно превышает 1.5.

На первом этапе территория была разбита на ячейки с шагом  $0.2^\circ$ , для каждой из которых при условии, что количество зарегистрированных событий превышает 20, рассчитывался коэффициент  $R_q = (L_n * N_d) / (L_d * N_n)$ , где  $L_n = 15$  – количество ночных часов (с 17 вечера до 8 утра по местному времени),  $L_d = 9$  – количество дневных часов (с 8 утра до 17 вечера по местному времени),  $N_n$  и  $N_d$  – количество событий, зарегистрированное в ночные и дневные часы соответственно. Результат представлен на рисунке 2 (изолинии).

На втором этапе для выделенных такой сеткой мест скопления событий просмотрены спутниковые карты GoogleEarth. Там были обнаружены карьерные разработки, часть из которых достаточно известна. Кроме того, на основе использования карты полезных ископаемых Кыргызстана, для анализа было ещё добавлено несколько точек. В результате было выделено 49 точек, часть из которых является участками одного и того же месторождения.

Далее анализ был повторен, но с той разницей, что коэффициент  $R_q$  уже рассчитывался для событий, удаленных от выбранных точек не более чем на 15 км. Количество зарегистрированных событий и их количество, приходящееся на дневные часы, показано на рисунке 1. Наиболее значимыми можно считать точки с  $N_d > 50$ , на рисунке 2 они показаны красным цветом, точки с  $30 < N_d < 50$  – синим. Таким образом, мы показали, что неуточненный каталог ISC содержит достаточно большое количество техногенных событий.

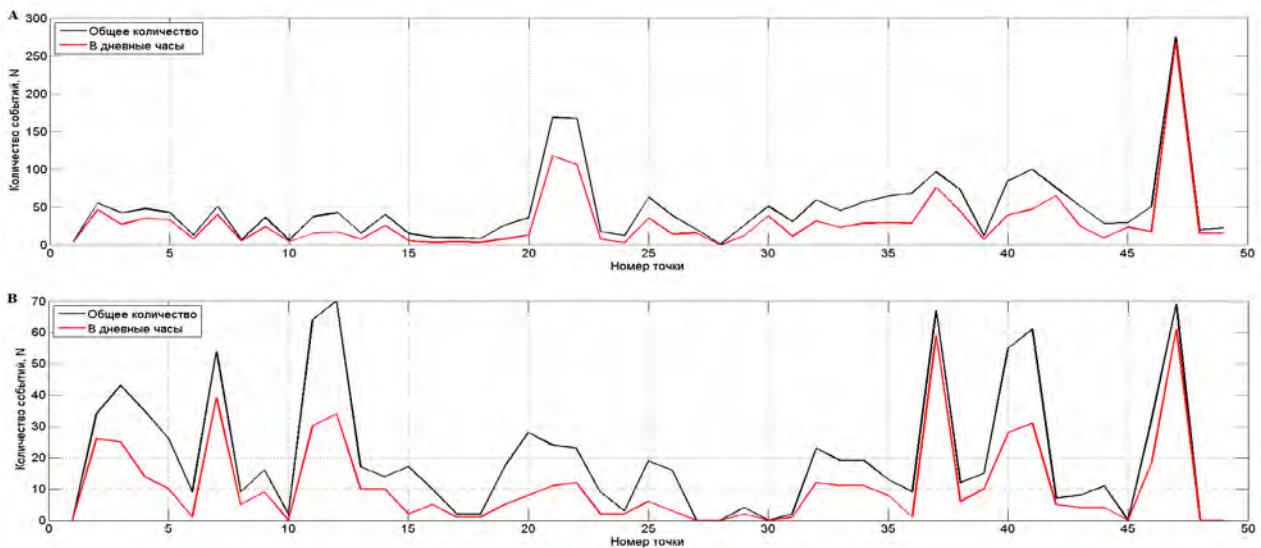


Рисунок 1 – Распределение количества событий вблизи 49 карьеров. А – для не уточненного каталога ISC, В – для уточненного

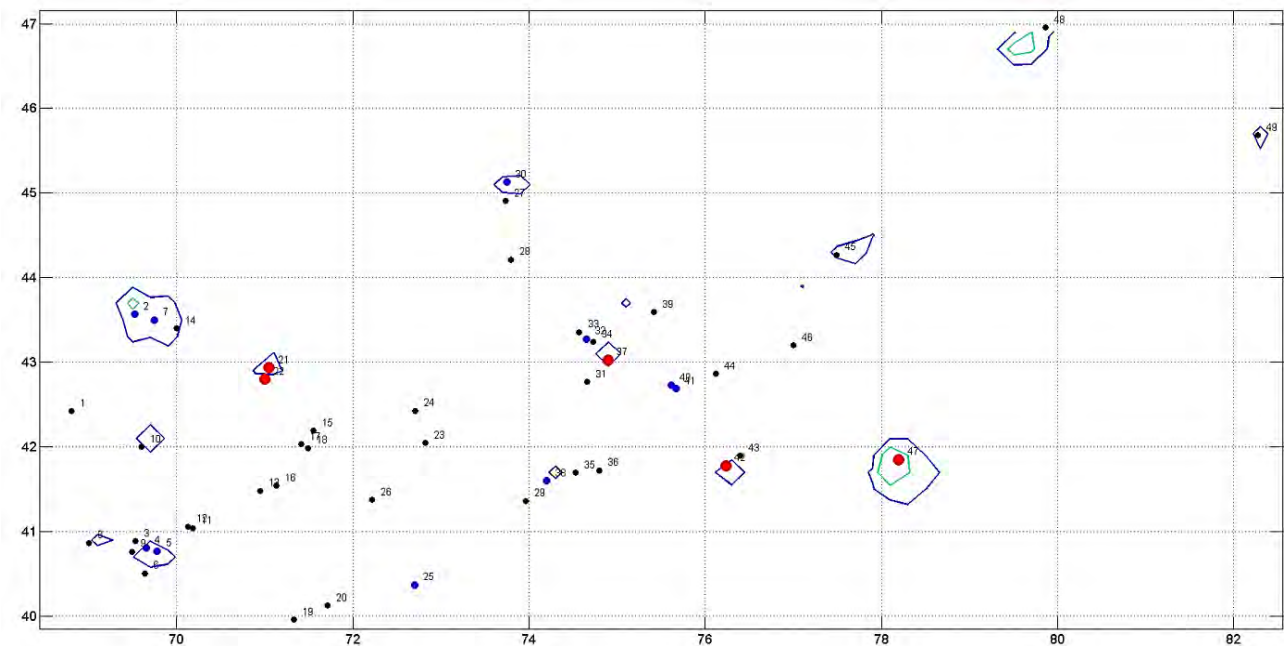


Рисунок 2 – Карта расположения карьеров и месторождений. Пояснение в тексте

Повторим анализ для уточненного каталога ISC (рис. 2). Как видим, часть взрывов действительно были идентифицированы как техногенные события и удалены из каталога при уточнении. Это заметно для точек 21, 22 и 47 (Кумтор). Возможно, часть событий удалена и для точек 37 (карьеры вблизи станции Чумыш) и 40, 41 (Орловка), 42 (Солтон-Сары), но очевидно, что они удалены не в полном объеме, т.к. даже для уточненного каталога  $R_q \gg 1.5$ .

Также алгоритм был по отдельности применен к каталогам KNET, KRNET, SOME и NNC. В каталоге KNET хорошо проявляются карьеры вблизи станции Чумыш и вблизи п.г.т. Орловка, события на месторождении Кумтор сетью не фиксируются, т.к. удалены от приемных станций на значительное расстояние. Для KRNET также хорошо выделяются цементный завод около г. Ош (25) и Солтон-Сары (42), события около Чумыша, Орловки и Кумтора в большинстве своем исключены из каталога. Каталог SOME можно признать

наиболее чистым от техногенных событий – в нем проявляются только карьеры 2, 7 (Жанатас) и Кумтор, а наибольшее количество взрывов содержит каталог NNC – в нём очень сильно проявились карьеры 21, 22, месторождение Кумтор, карьеры Жанатас и месторождение Макмал (29-30).

### Литература

1. National Earthquake Information Center (NEIC). - URL: <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (дата обращения 11.03.2020).
2. International Seismological Centre, On-line Bulletin. - URL: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/> (дата обращения 11.03.2020).
3. The European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC). - URL: <https://www.emsc-csem.org/> (дата обращения 11.03.2020).
4. Gulia L., Wiemer S., Wyss M. Catalog artifacts and quality controls // Community Online Resource for Statistical Seismicity Analysis, 2012.
5. Wiemer S., Baer M. Mapping and removing quarry blast events from seismicity catalogs // Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 90 No. 2. 2000. P. 525-530.

## РАЗВИТИЕ ГЕОФИЗИКИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ УЗБЕКИСТАНА

Давиров А.О., Хабибуллаев С.С., Бегматов Б.Б., Мирзаахмедов М.М.  
*mmm6886@mail.ru*

АО «Узбекгеофизика», г. Ташкент, Республика Узбекистан

*Изучение новых объектов углеводородов – это длительный, наукоемкий процесс, и предугадать, какие геолого-геофизические сервисы будут востребованы завтра, сложно. В настоящее время для изучения объектов привлекаются сервисные компании, научно-исследовательские центры и профилированные организации, представляющие широкий спектр услуг и обладающие передовыми технологиями. В изучении геологического строения и, особенно, при разведке и поиске нефтяных и газовых месторождений большое значение имеют геофизические методы разведки.*

*Ключевые слова: геофизика, геологоразведочные работы, месторождение, сейсморазведка, комплексный анализ, залежь, порода, нефть, газ.*

Геофизические исследования на нефть и газ проводятся в Узбекистане с середины сороковых годов. Конторой полевой и промысловой геофизики МНП на территории традиционных нефтяных провинций ведутся работы в Сурхандарьинской и Ферганской межгорных впадинах.

В 1957 г. отдельно просуществовавшие до того времени ведомственные геофизические организации были объединены в единый Узбекский геофизический трест в системе Министерства геологии. Это способствовало проведению планомерных и целенаправленных геофизических исследований на территории республики, вовлечению в разведку Устюртского и Бухаро-Хивинского нефтегазоносных регионов, где были открыты крупные рифогенные месторождения углеводородов, отмеченные государственной премией.

В 1996 г. геофизическая служба передана Национальной Холдинговой Компании «Узбекнефтегаз» и с 2002 г. входит в состав единого Акционерного общества «Узбекгеофизика», осуществляющего общую координацию и планирование всех геофизических работ на нефть и газ в Республике Узбекистан [1].



Рисунок 1 – Геофизические работы на нефть и газ в Республике Узбекистан

В Объединении действуют 5 предприятий-экспедиций – акционерных обществ, географически расположенных в основных нефтегазоносных регионах Узбекистана:

- АО «Устюртская геофизическая экспедиция»,
- АО «Бухарская геофизическая экспедиция»,
- АО «Ферганская геофизическая экспедиция»,
- АО «Амирабадская промыслово-геофизическая экспедиция»,
- Унитарное предприятие «Яккабагская геофизическая экспедиция».

Объединение и предприятия, входящие в его структуру на местах, успешно решают задачи комплексного изучения глубинного геологического строения нефтегазоносных регионов страны, поиска, выявления и подготовки к глубокому бурению перспективных на нефть и газ структур, проведения специализированных промыслово-геофизических исследований в скважинах.



Рисунок 2 – Объединение и предприятия, выполняющие задачи комплексного изучения глубинного геологического строения нефтегазоносных регионов страны

На базе Акционерного Общества в поселке Геофизик Кибрайского района Ташкентской области размещаются специализированные Партии непосредственного подчинения Объединению, оказывающие сервисные услуги экспедициям:

- Производственная геолого-методическая партия обработки с геофизическим ВЦ, оснащенный быстродействующими аппаратно-программными комплексами Интеграл-плюс, Геовектор-Плюс и Геокластер, обеспечивающими глубокую обработку и машинную интерпретацию данных полевой геофизики с высокой достоверностью, подтвержденной результатами бурения;

- Партия подсчета запасов, выполняющая лабораторное исследование петрофизических свойств керна, оперативную и количественную интерпретацию материалов ГИС с использованием АПК «GeoOfficeSolver» и подсчет запасов углеводородного сырья;

- Комплексная опытно-методическая партия: осуществляет разработку и изготовление малых серий аппаратуры и оборудования для геофизических работ (скважинные зонды ВСП, сейсмокосы и др.);

- Партия цифровой техники с учебно-методическим центром: проводит мониторинг технического состояния геофизической аппаратуры во всех экспедициях и различные виды ее ремонта. В партии действует единственный в Средней Азии Метрологический центр, проводящий метрологическую поверку и калибровку аппаратуры:

- для сейсморазведки МОГТ- 2Д и 3Д;
- скважинных приборов и наземной аппаратуры;
- для вертикального сейсмического профилирования;



- для электрического, акустического, радиоактивного и других методов каротажа.

Полевые исследования проводятся прогрессивными методами сейсморазведки МОГТ 2D и 3D, ВСП, электроразведки МТЗ, ЗСД-ЗИ, ВЭЗ-ВП и ЧЗ-ВП, высокоточной гравимагниторазведки разного масштаба. На полевых работах применяются современные технологии невзрывного возбуждения мощными сейсмовибраторами и регистрации многоканальными телеметрическими системами.

Промыслово-геофизические работы выполняются на всех стадиях строительства скважин при разведке и эксплуатации месторождений и включают:

- каротаж в открытом и закрытом стволе на кабеле;
- вскрытие и разобщение пластов;
- проведение аварийно-ликвидационных работ;
- геолого-технические исследования скважин;
- газокаротажный контроль во время бурения.

При исследованиях в скважинах применяют компьютеризированные каротажные станции с комплектом цифровых скважинных приборов, обеспечивающие выполнение расширенного комплекса геофизических исследований в скважинах [2].

Дополнительно необходимо отметить такое перспективное, востребованное и постоянно пополняющиеся новыми методами направление как каротаж во время бурения (Logging While Drilling, LWD). Дальнейшая перспектива развития этого направления видится в том, что в составе комплекса LWD появится весь необходимый перечень методов ГИС, а именно методы ГИС, которые относятся к обязательному комплексу общих исследований в открытом стволе скважин [3].

Получив возможность проведения всего необходимого комплекса общих исследований во время бурения, можно значительно сократить временной интервал от записи каротажа до получения результатов интерпретации ГИС и принятия различного рода управленческих решений, в том числе решений по выбору объектов испытания в открытом стволе и в колонне. Это, в свою очередь, приведет к экономии денежных средств на строительство скважин.

Руководство страны, особо обращая внимание на решение приоритетных задач в геологии, в частности, нефтегазовой геологии в программу развития геологической отрасли, впервые за последние десятилетия включила отдельно статью по модернизации геофизических организаций.

Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-4522 от 18.11.2019г. является основным документом, который требует нового подхода к исполнению поставленных задач в нефтегазовой отрасли Узбекистана. Постановление «О мерах по совершенствованию системы организации и проведения геологоразведочных работ на нефть и газ» строго регламентирует пути и задачи дальнейшего повышения эффективности и результативности геологоразведочных работ на углеводородное сырье. В документе, в частности, отдельно отмечены роль и значение геофизических работ в нефтегазовой отрасли страны, где показаны пути организации и проведения геологоразведочных работ на нефтегазоносных регионах страны.

Исходя из этого, можно надеяться на то, что 2020 г. будет являться годом нового этапа развития геофизической организации в целом для всей геологической отрасли.

### Литература

1. Сайт АО «Узбекгеофизика» [Электронный ресурс] // <http://www.uzbekgeofizika.uz>. Дата обращения 06.03.2020.
2. Овинникова К.Н. Современное состояние нефтегазового комплекса и его проблемы. // Вестник науки Сибири. 2013. № 4(10). С. 156-161.
3. Гершман М.А. Программы развития компаний с государственным участием // Форсайт. 2013. Т. 7. № 1. С. 28-43.

## СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МОРЕННЫХ ОЗЕР ДЛЯ РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ ОБ ОПАСНОСТИ СХОДА СЕЛЕВОГО ПОТОКА

Жаксыгулова Д.Г., Калиева Р.А., Акуленко М.Ш.  
*keshrim95@gmail.com*

ДТОО «Институт космической техники и технологий», АО «НЦКИТ», г. Алматы, Казахстан

*Селевые потоки всегда угрожали жизнедеятельности населения, живущего в горных регионах. Однако в сложившихся в настоящее время метеорологических условиях опасность схода селевых потоков ливневого и гляциального генезисов возросла. В работе представлена автоматизированная система мониторинга состояния моренных озер, представляющих собой источник селевой опасности, которая разработана с целью своевременного оповещения ответственных служб о повышении вероятности схода селя в результате прорыва моренного озера для принятия мер по его предотвращению или снижению ущерба. Рассматриваемая система мониторинга состояния моренных озер централизована и построена по схеме многолучевой звезды, где установленные на моренных озерах станции сбора и передачи данных непрерывно собирая информацию о параметрах озера с помощью набора датчиков передают данные по каналам сотовой или спутниковой связи для анализа и визуализации в подсистему мониторинга и отображения данных. Актуальность работы обусловлена необходимостью создания современных автоматизированных систем, предоставляющих возможность производить непрерывный и параллельный во времени мониторинг моренных озер, как источников селевой опасности.*

*Ключевые слова: мониторинг моренных озер, моренные озера, селеопасные объекты, датчики, система мониторинга, спутниковая связь.*

### Введение

Наиболее опасным природным явлением, характерным для горных регионов, является селя. Селевые потоки представляют собой обычно бурные однородные потоки смеси воды и обломков горных пород, которые характеризуются внезапностью появления, волнообразным характером движения и, как правило, кратковременностью действия [1]. Мощные сели, движущиеся со скоростью до 10-12 м/с, обладают большой ударной силой и способны разрушать природные ландшафты, инфраструктуру (линии электропередач, автомобильные дороги, железнодорожные рельсы, мосты), жилые дома, производственные и сельскохозяйственные объекты, в частности, уничтожать посевные площади и скот. Селевые волны способны причинить не только значительный материальный ущерб, но и стать причиной человеческих жертв. Истории известны случаи сходов мощных селей в регионе Средней Азии, имевших катастрофические последствия. Активные селепроявления наблюдались на территориях Заилийского и Джунгарского Алатау (Казахстан), Киргизского хребта и Таласского Алатау (Кыргызстан), бассейна реки Чирчик (Узбекистан) и др. [2].

Образованию селевых потоков способствуют активные эндогенные геологические процессы, изменяющие рельеф поверхности в результате деформации платформ и тектонических плит, антропогенная деятельность, вызывающая нарушение устойчивости геологической среды, и климатический фактор, отражающий изменчивость гидрометеорологических элементов [1]. Климатический фактор характеризуют следующие основные параметры: характер погоды, атмосферные осадки и температура воздуха [3]. Так, продолжительные обильные осадки в виде дождя и снега, и наблюдающийся рост средней температуры воздуха на планете [4], способствуют благоприятным для формирования селей условиям. В таких условиях в горной местности происходит смещение нулевой линии температуры в сторону больших высот, что приводит к интенсивной деградации оледенения.

Деградация оледенения сопровождается формированием новых приледниковых морен, что способствует повышению вероятности схода селевых потоков гляциального генезиса. Кроме того, повышается вероятность выпадения жидких осадков в зоне современных морен и ледников, в результате чего повышается риск формирования селевых потоков ливневого генезиса [5]. Наполнение моренных озер водой в результате таяния ледников и обильных жидких осадков повышает риск прорыва моренных озер. Таким образом, моренные озера являются источником угрозы схода селевого потока, вызванного климатическими изменениями.

В настоящее время для обеспечения безопасности жизнедеятельности в селеопасных регионах предпринимают ряд мер по защите населения и хозяйственных объектов от воздействия селевых потоков. Для торможения селей и задержки твердой составляющей селей возведены селезащитные плотины и противоселевые барьеры и заграждения. Для предотвращения образования селей и снижения их масштабов предпринимают мероприятия по закреплению поверхности земли путем посадки леса и расширения растительного покрова на горных склонах, а также мероприятия по снижению уровня воды в моренах с помощью насосных установок [5, 6]. Кроме того, в целях предупреждения селеобразования и оперативного информирования ответственных органов в случае опасности схождения селея на регулярной основе проводятся аэровизуальные обследования моренных озер и работают диспетчерские посты. Однако, в период наибольшей опасности схода селевых потоков прогнозирование и предупреждение масштабных селевых потоков, и своевременное информирование об их образовании усложняется [6] и существующих мер по защите населения и хозяйственных объектов от воздействия селевых потоков оказывается недостаточно.

Эффективным решением в данном случае может стать применение системы раннего оповещения об опасности схода селевого потока. В настоящее время в мире разрабатываются автоматизированные системы раннего оповещения об опасности для снижения ущерба от различных природных явлений, например, землетрясений [7], лавин [8], селей и наводнений [9, 10]. Методика разработки систем раннего оповещения об опасности заключается в следующем. Сначала необходимо определить объект наблюдения, по изменению состояния которого можно будет судить об изменении вероятности того или иного явления, исходя из информации о природе явления. Для характеристики состояния объекта наблюдения необходимо выбрать набор параметров, количественное значение которых принято определять непрерывно (или с малыми промежутками времени). Далее необходимо установить граничные значения для выбранных параметров, которые характеризуют предельно допустимые значения параметров, при выходе за пределы которых состояние объекта оценивается как критическое. Для передачи тревожного сообщения о возникшей опасности при достижении критического состояния объекта наблюдения необходимо обеспечить каналы связи между подсистемой, выполняющей мониторинг объекта наблюдения и передачу данных, и оперативными пунктами реагирования. При получении тревожного сообщения в оперативных пунктах реагирования предпринимают необходимые меры по устранению угрозы или снижению ущерба от воздействия природного явления.

Таким образом, актуальной является задача разработки современной системы мониторинга состояния моренных озер, как объектов, представляющих собой источник формирования селевого потока, с целью своевременного оповещения об опасности и предупреждения схода селея.

**Описание системы мониторинга состояния моренных озер.** Система мониторинга состояния моренных озер представляет собой автоматизированную систему сбора, передачи, приема, обработки, хранения и отображения данных о текущем состоянии объектов наблюдения (моренных озер). Архитектура системы мониторинга состояния моренных озер подробно описана в работе [11]. Схематичное изображение функционирования системы мониторинга состояния моренных озер представлено на рисунке 1.

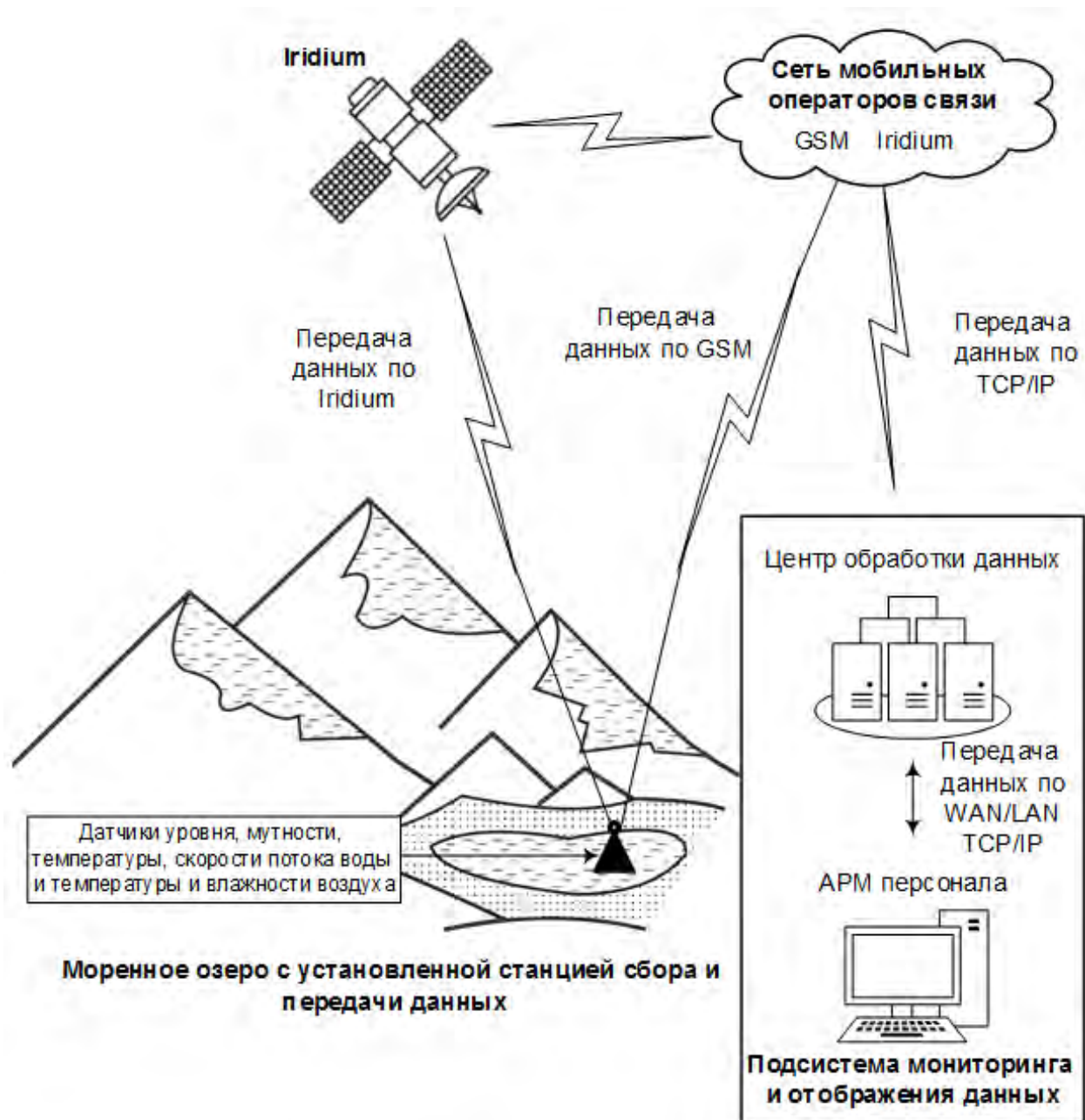


Рисунок 1 – Схематичное изображение принципа функционирования Системы мониторинга состояния моренных озер

Система мониторинга состояния моренных озер состоит из двух основных подсистем:

- станция сбора и передачи данных;
- подсистема мониторинга и отображения данных.

На период селевой опасности станции сбора и передачи данных, внешне напоминающие буй, устанавливаются на моренные озера и обеспечивают автономное функционирование. Станции сбора и передачи данных передают зарегистрированные показатели состояния моренного озера (уровень воды, мутность воды, температура воды и воздуха, скорость потока воды), полученные с помощью соответствующих датчиков, и навигационные данные, полученные с использованием модуля глобальной навигационной спутниковой системы, в режиме пакетной передачи данных по каналам сотовой связи GSM/GPRS или спутниковой связи Iridium/SBD (в случае недоступности сотовой связи) в подсистему мониторинга и отображения данных.

Подсистема мониторинга и отображения данных выполняет прием, обработку, хранение и отображение данных, и включает центр обработки данных и автоматизированные рабочие места (АРМ) персонала системы, выполняющие роль операционных пунктов реагирования. Полученная от станций сбора и передачи данных информация подлежит проверке на целостность с использованием циклического избыточного кода, а затем происходит сравнение полученных значений параметров моренного озера с граничными значениями, откуда делается вывод о состоянии моренного озера.

Основными параметрами моренного озера, по которым судят о переходе состояния моренного озера из стабильного в критическое, являются уровень воды и мутность воды. В штатном режиме работы, когда наблюдаемые показатели моренного озера находятся в рамках допустимых значений, регистрация значений параметров происходит с частотой 1 раз в 30 секунд, а передача данных – с частотой 1 раз в 30 минут. При превышении граничных значений данных параметров, наряду с незамедлительной отправкой тревожного сообщения на АРМ персонала системы, происходит увеличение частоты отправки данных о состоянии моренного озера до 1 раза в 30 секунд.

### **Выводы**

В связи с тем, что опасные природные процессы, как правило, сложны в прогнозировании и предсказании, а также быстротечны, существует необходимость в применении автоматизированных систем, производящих мониторинг объектов – источников угрозы и оповещающих о возникновении опасности. Разрабатываемая система мониторинга состояния моренных озер с использованием космических технологий связи решает задачи по автоматизированию процессов мониторинга основных параметров моренных озер с помощью набора соответствующих датчиков, передачи данных с использованием мобильных систем сотовой связи GSM или спутниковой связи Iridium, приема, обработки, архивирования и отображения данных для обеспечения раннего оповещения об опасности схода селевого потока в результате прорыва моренного озера. Путем установки на моренные озера станций сбора и передачи данных системы мониторинга состояния моренных озер происходит непрерывная и параллельная во времени регистрация и передача данных о текущем состоянии объектов наблюдения в подсистему мониторинга и отображения данных системы с использованием мобильной сотовой или спутниковой связи. Таким образом, система мониторинга состояния моренных озер обеспечивает возможность раннего оповещения ответственных органов о повышении вероятности схода селевого потока в режиме реального времени и снижения вероятности причинения материального ущерба и человеческих жертв в селеопасных регионах, что, в свою очередь, обуславливает социально-экономический эффект применения системы мониторинга состояния моренных озер.

Конструкция станции сбора и передачи данных разрабатывается с учетом необходимости удобного транспортирования и установки на объекте наблюдения, а также вандалоустойчивости. Кроме того, устройство станции сбора и передачи данных обеспечивает возможность дополнения другими датчиками при необходимости, что позволяет расширять область применения системы. Гибкость системы мониторинга состояния моренных озер позволяет применять ее в любых регионах при наличии информации, по которой могут быть установлены граничные значения стабильности наблюдаемых моренных озер.

*Работа финансируется в рамках целевой программы BR05336383 Аэрокосмического комитета Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан.*

### **Литература**

1. Перов В.Ф. Селевые явления. Терминологический словарь. М.: Изд-во Московского университета. 1996. 34 с.
2. Перов В.Ф. Селеведение. М.: Географический факультет МГУ. 2012. 272 с.

3. Мальнева И.В., Кононова Н.К. Активность селей на территории России и ближнего зарубежья в XXI веке // Геориск. 2012. № 4. С. 48–54.
4. Union of Concerned Scientists – The Planet’s Temperature is Rising. URL: <https://www.ucsusa.org/global-warming/science-and-impacts/science/temperature-is-rising> (дата обращения: 23.08.2019).
5. Морозов М., Кривцов А. Сели и селезащита // Инженерная защита. 2014. № 3 (3). С. 50-59.
6. Безопасность жизнедеятельности. Учебник для вузов / Михайлов Л.А., Соломин В.П., Беспмятных Т.А. и др. 2-е изд. СПб.: Питер. 2012. 461 с.
7. Guzzetti F., Gariano S.L., Peruccacci S., Brunetti M.T., Marchesini I., Rossi M., Melillo M. Geographical landslide early warning systems // Earth-Science Reviews. 2020. Vol. 200. P. 102973. DOI: 10.1016/j.earscirev.2019.102973.
8. Jaedicke Ch., Syre E., Sverdrup-Thygeson K. GIS-aided avalanche warning in Norway // Computers & Geosciences. 2014. Vol. 66. P. 31-39. DOI: 10.1016/j.cageo.2014.01.004.
9. Romang H., Zappa M., Hilker N., Gerber M., Dufour F., Frede V., Berod D., Oplatka M., Hegg Ch., Rhyner J. IFKIS-Hydro: an early warning and information system for floods and debris flows // Natural Hazards. 2010. Vol. 56. № 2. P. 509–527. DOI:10.1007/s11069-010-9507-8.
10. Sattelle M., Brundl M., Straub D. Reliability and effectiveness of early warning systems for natural hazards: Concept and application to debris flow warning // Reliability Engineering & System Safety. 2015. Vol. 142. P. 192-202. DOI: 10.1016/j.ress.2015.05.003.
11. Ахмедов Д.Ш., Еремин Д.И., Жаксыгулова Д.Г. Архитектура системы мониторинга состояния моренных озер // Вестник АУЭС. 2018. Т. 43. № 4 (4). С. 187-191.

## ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СЛАБЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ

Казначеев П.А.<sup>1</sup>, Непейна К.С.<sup>2</sup>, Кох В.В.<sup>1,3</sup>, Краюшкин Д.В.<sup>1,3</sup>, Казначеев С.А.<sup>3</sup>  
*p\_a\_k@mail.ru*

<sup>1</sup> Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>3</sup> Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, Российская Федерация

*В работе представлена попытка выделения слабых сейсмоакустических сигналов, регистрируемых в геодинамически активной зоне. Выделение базируется на корреляционных методах оценки степени когерентности сигнала. Для этого используется расчет автокорреляционной функции сигнала в зависимости от времени задержки в адаптивном временном окне. По полученной двумерной функции «коэффициент автокорреляции в зависимости от задержки и времени» производится оценка интервала автокорреляции. Величина интервала автокорреляции, большего фонового уровня, может свидетельствовать о наличии сигнала при малых соотношениях сигнал-шум для коротких полезных сигналов.*

*Ключевые слова: регистрирующая система, сейсмоакустические сигналы, отношение сигнал/шум, автокорреляция, корреляционные методы, время автокорреляции.*

### Введение

Для регистрации сигналов, сопоставимых по уровню с шумом, требуются специфические методы детектирования. Возможность применения тех или иных методов существенно зависит от характеристик ожидаемых полезных сигналов, регистрирующей аппаратуры и шума. Если полезный сигнал связан с локализованным в пространстве и времени процессом (событием), а регистрирующая система существенно удалена от места события, то возникает проблема «отсечки» слабых событий, сигнал от которых меньше уровня шума.

Одним из способов детектирования слабых сигналов являются корреляционные методы. Идея применения таких методов состоит в оценке свойств когерентности регистрируемого сигнала. В случае отсутствия полезных сигналов, регистрируемый сигнал показывает свойства, близкие к шуму. При появлении полезного сигнала изменяется характер когерентности.

В работе приведена попытка применения корреляционных методов к оценке наличия полезного сигнала в данных, регистрируемых градиентной сейсмоакустической установкой в геодинамически активной области Бишкекского полигона [1-3]. Специфика задачи геодинамического мониторинга рассмотрена в [1-2], описание разработки аппаратных решений приведено в [3].

### Методика

В статистическом анализе временных сигналов вводится понятие времени (или интервала) автокорреляции регистрируемой величины (регистрируемого сигнала), характеризующей некоторый случайный процесс [4]. Время автокорреляции  $\tau_k$  определяется как интервал, на котором происходит существенный спад автокорреляционной функции сигнала  $R(\tau)$ . В общем случае для определения времени корреляции используется оценка:

$$\tau_k \sim \int_0^{\infty} R^2(\tau) \cdot d\tau \quad (1)$$

В реальных задачах верхний бесконечный предел заменяется на максимальную приемлемую задержку сигнала  $\tau$ .

Оценка времени автокорреляции является удобным инструментом при анализе шумоподобных процессов различной природы, например, потоков дискретных событий со слабым изменением активности, использовании непрерывных шумоподобных зондирующих сигналов и др. [5-7]. Применение метода теоретически позволяет определить наличие полезного гармонического сигнала на фоне стационарного шума при любом бесконечно малом соотношении сигнал-шум [4]. Это показывает универсальность и эффективность метода.

В настоящей работе регистрируется сигнал с сейсмоакустических датчиков в многокомпонентной конфигурации (трехкомпонентная градиентная установка) [3]. Это открывает возможность оценки наличия полезного сигнала сразу по данным нескольких датчиков. Датчики регистрируют сигналы в широкой полосе частот ( $\sim 0.01$ -1 Гц). Фоновый регистрируемый сигнал представляет собой как сейсмоакустический шум природного и антропогенного характера, так и аппаратурные шумы. Полезные сигналы предполагаются ограниченными по времени и связанными с процессами (актами) разрушения горных пород в земной коре [2].

Для оценки времени корреляции использовался следующий алгоритм. Сначала определялась функция автокорреляции в скользящем адаптивном временном окне для всего анализируемого блока сигнала. Расчет функции автокорреляции ограничивался значением задержки (лаг), на котором её значение становится менее 0.01-0.02; в случае анализируемого сигнала ограничение по задержке составило 150 секунд. Для улучшенного разрешения по времени при расчете использовалось адаптивное временное окно, меньшее на малых временах задержки, и большее – на больших. Таким образом получалась двумерная функция зависимости коэффициента автокорреляции от задержки и времени.

Для расчета времени корреляции проводится интегрирование для каждого текущего момента времени по всему диапазону задержки (от 0 до 150 секунд). При этом расчет может производиться с приведением как к левому, так и правому краю временного окна исходной выборки.

### **Результаты и обсуждение**

Для зарегистрированного сигнала были проведены расчеты по представленной методике, пример которого показан на рис. 1. Регистрируемый сигнал визуально подобен стационарному шуму в выбранной полосе частот, что подтверждается оценкой времени автокорреляции – оно не показывает каких-либо значительных отклонений от среднего значения.

Для анализа того, можно ли выделить на таком фоне полезный сигнал, ограниченный по времени и по спектру, к зарегистрированному сигналу с рис. 1 был добавлен искусственно сгенерированный узкополосный и ограниченный по времени сигнал. Это были т.н. цуги волн – синусоидальный сигнал частотой 0.04 Гц, имеющий колоколообразную огибающую и 4-5 наблюдаемых максимума. Всего было добавлено через равные промежутки времени (без наложения и взаимовлияния) три таких цуга с разными максимальными амплитудами, находящимися в соотношении 8:4:1. Результирующий сигнал и оценка времени автокорреляции показаны на рис. 2.

Из рис.2 сразу можно заметить существенное увеличение времени автокорреляции до 40-45 секунд в моменты времени около 600 и 1200 секунд, которые соответствуют максимальному проявлению первого и второго добавленных цугов. Для третьего цуга существенной увеличения (и характера хода кривой) времени автокорреляции не наблюдается.

Из анализа результатов можно сказать, что метод позволяет детектировать короткие (2-3 видимых колебания) и слабые (с максимальной амплитудой на уровне 2-3 дисперсий



фоновому шуму) сигналы. Детектирование еще более слабых сигналов требует более глубокой обработки и тщательного анализа.

Важно отметить, что интервал, на котором время корреляции отклоняется от среднего, больше визуально наблюдаемого интервала действия полезного сигнала. В данном случае – он почти совпадает с интервалом, когда цуг определен (т.е. когда полезный сигнал отличен от нуля).

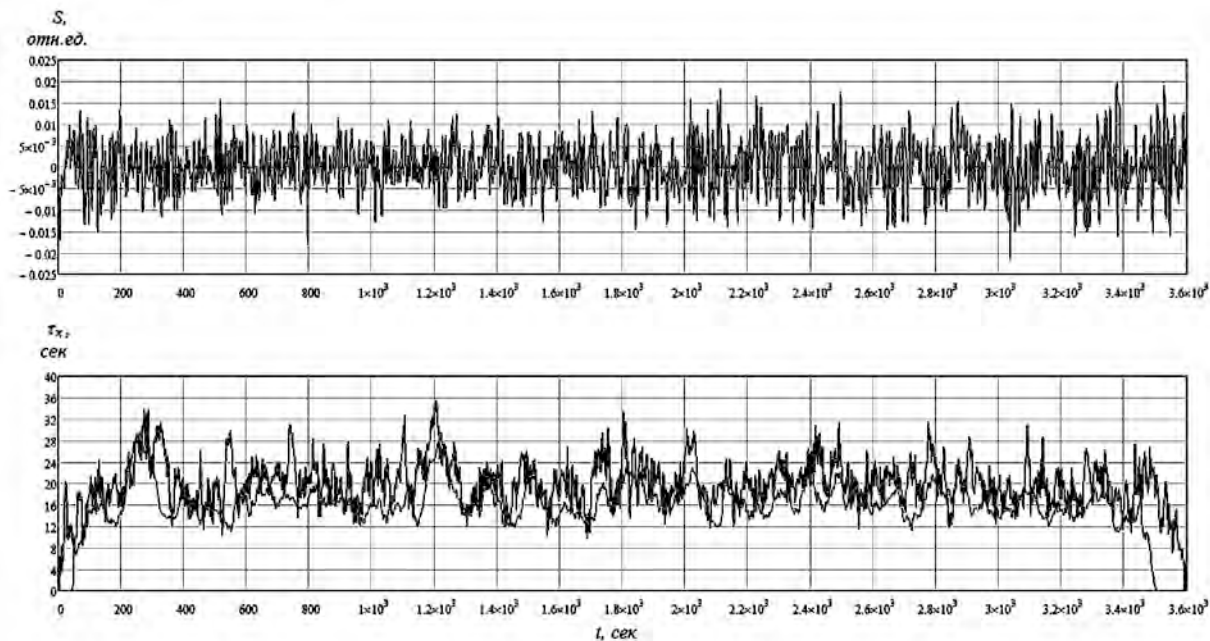


Рисунок 1 – Пример зарегистрированного сигнала (*вверху*) и рассчитанное время корреляции (*внизу*). Значения сигнала  $S$  приведены в относительных единицах; значения времени  $t$  и времени корреляции  $\tau$  – в секундах. Две кривые времени корреляции соответствуют приведению к левому и к правому краю временного окна исходной выборки

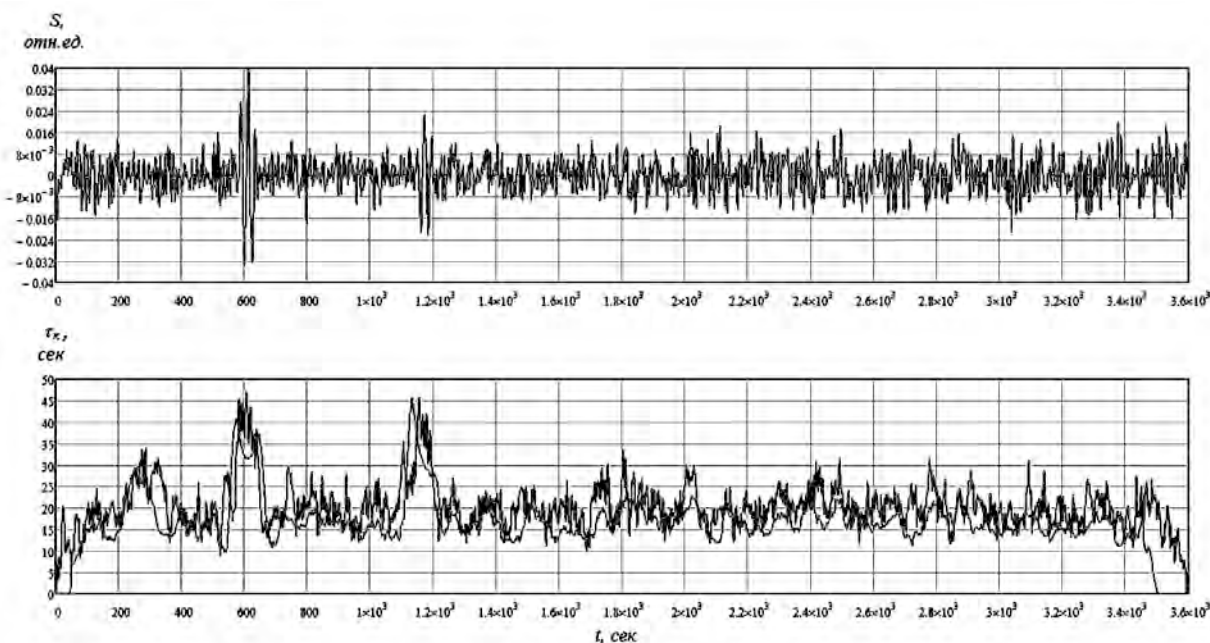


Рисунок 2 – Зарегистрированный сигнал с рисунка 1 с добавленными на 600, 1200 и 1800 секундах цугами – ограниченными по времени синусоидальными сигналами с колоколообразной огибающей (*вверху*) и рассчитанное время корреляции (*внизу*). Обозначения такие же, как на рис.1

## Заключение

Применение корреляционных методов к анализу шумоподобного сейсмоакустического сигнала позволяет детектировать слабые и короткие полезные сигналы. Уверенно детектируются короткие полезные сигналы с максимальной амплитудой, большей 2-3 дисперсий фонового шума. Ограничения на детектирование более слабых сигналов, по всей видимости, связаны с ограничением на диапазон варьируемых параметров (время задержки, интервал выборки). Расчетная сложность алгоритма не позволяет организовать подобную обработку в режиме реального времени, но она вполне возможна в режиме постобработки.

Дальнейшая работа по сопоставлению сигналов разных компонент сейсмоакустического поля и с разнесенных в пространстве датчиков позволит выделить синхронные сигналы, связанные с локализованными в пространстве и времени процессами. Учет характера сейсмоакустического шума (степень стационарности, частотное распределение [8]) может дать дополнительные критерии для детектирования слабых сейсмоакустических сигналов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке в рамках научных проектов РФФИ № 17-05-0084, РФФИ № 18-35-00698 и гос. задания ИФЗ РАН.*

## Литература

1. Александров П.Н., Казначеев П.А. Анализ волнового поля, измеряемого градиентной установкой // Воздействие внешних полей на сейсмический режим и мониторинг их проявлений. Тез. докл. Междунар. Юбил. науч. конф. Бишкек. 2018. С. 139–146.
2. Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Рыбин А.К., Александров П.Н., Матюков В.Е., Непейна К.С., Забинякова О.Б., Казначеев П.А. Теоретические обоснования исследований деформационных процессов в литосфере Земли на основе сейсмических и электромагнитных полей эндогенного происхождения // Математическое моделирование процессов и систем. По материалам пленар. докл. VIII Междунар. молод. науч.-практ. конф. Стерлитамак: Башк. гос. ун-т. 2018. С. 95-122.
3. Kaznacheev P.A., Matiukov V.E., Aleksandrov P.N., Nepeina K.S. Development of a three-axis gradient system for seismoacoustic data acquisition in geodynamically active regions // Seismic Instruments. 2019. Vol. 55, no. 5. P. 535–543. DOI: 10.3103/S0747923919050062.
4. Ахманов С.А., Дьяков Ю.Е., Чиркин А.С. Введение в статистическую радиофизику и оптику. М.: Наука, 1981. 640 с.
5. Бодров В.Н., Казначеев С.А., Князев А.М. Особенности извлечения информации из ТВ-изображений при ограниченных потоках фотонов // Российский научный журнал. 2014. № 1. С. 286-293.
6. Шкуратник В.Л., Николенко П.В., Кормнов А.А. О принципах ультразвуковой структурной диагностики приконтурного массива с использованием шумовых зондирующих сигналов // Горный информационно-аналитический бюллетень (науч.-техн. ж-л). 2015. № 1. С. 53–62.
7. Шкуратник В.Л., Николенко П.В., Кормнов А.А. Изменение корреляционных характеристик шумового акустического сигнала при прозвучивании горных пород в условиях одноосного механического нагружения // Горный журнал. 2016. № 6. С. 60-63.
8. Хаврошкин О.Б. Некоторые проблемы нелинейной сейсмологии. М.: ОФИЗ РАН, 1999. 286 с.

## **РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СКВАЖИНАХ ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БУХАРО-ХИВИНСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РЕГИОНА ИСПАНЛЫ-ЧАНДЫРСКОГО ПОДНЯТИЯ**

Касимова Д.Б., Турабеков Н.У.  
*dilfuzichka\_88@mail.ru*

Филиал Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте, г. Ташкент, Республика Узбекистан

*Данная работа посвящена результатам комплекса геофизических исследований в скважинах глубинного бурения на месторождении. Структура работы представляет традиционную схему, содержащую разделы, касающиеся местоположения месторождения, района работ, особенности строения месторождения. Описание геологического строения, тектоника, нефтегазоносность горизонтов, геолого-геофизическая изученность.*

*Ключевые слова: ГИС, петрофизика, коэффициент пористости, коллектор, нефтеносность, месторождение, разработка, карбонаты.*

Геофизические методы исследования скважин, базирующиеся на современных физических методах исследования горных пород, используются для изучения геологического строения недр по скважинным разрезам, выявления и оценки запасов углеводородного сырья, использования промыслово-геофизической информации при проектировании, контроле и анализе разработки месторождений нефти и газа и технического состояния скважин [1].

В административном отношении нефтяные месторождения Испанлы-Чандырской поднятия расположены в Алатском районе Бухарской области Республики Узбекистан. Бухаро-Хивинская нефтегазоносная провинция, в пределах которой расположено исследуемые месторождения является самой крупной по разведанным запасам природного газа и нефти на территории Узбекистана. Кроме того, в Алатском районе имеются промышленные запасы соли, строительных материалов - гипс, известняк, песок, щебень, галька и др. В геологическом строении разрез месторождений принимают участие породы возраста от нижнеюрского до четвертичного. Продуктивными являются отложения верхней юры, представленные ангидритами, известняками, также имеются аргиллиты и соли.

В геологическом строении Испанлы-Чандырской поднятия принимают участие породы складчатого основания палеозоя и отложения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла. Литолого-стратиграфическое расчленение геологического разреза исследуемой площади производилось по комплексу данных глубокого поисково-разведочного бурения, геофизических исследований скважин и результатов анализа керна и других геолого-геофизических исследований [2].

В разрезе карбонатных отложений, изучаемого поднятия, верхней юры продуктивными являются XV–НР и XV–Р горизонты. Колонковая проходка в пределах XV–НР горизонта осуществлена по многочисленным скважинам и составила более 67 тыс. пог.м, линейный вынос 32,7 тыс. пог.м керна или 49% от проходки, 18% от суммарной вскрытой толщины продуктивного горизонта по четырем скважинам.

Всего по XV – НР горизонту исследовано 6600 образцов керна, из которых 45% приходится на продуктивную часть. По XV–Р горизонту колонковая проходка осуществлена по многим скважинам и составила 121 пог.м с линейным выносом 64,15 пог.м или 53% от проходки и 32% от суммарной вскрытой толщины продуктивного горизонта. Количество

исследованных образцов по XV – Р горизонту 199, при суммарной мощности горизонта 285 м. Из изученных образцов 74 приходится на продуктивную часть.

Приведенные выше материалы об отборе и анализе керна показывают низкую освещенность продуктивных горизонтов и представительность полученных результатов [3].

Верхняя часть разреза сложена породами рифогенного комплекса карбонатной формации юры и включает породы XV-НР, XV-Р горизонтов, нижняя часть разреза - XV-ПР и XV-а горизонты также представлены карбонатными образованиями (рис. 1). XV-НР горизонт характеризуется чередованием плотных, непроницаемых и пористых, пористо-мелко-кавернозных разновидностей известняков. Причем, последние имеют подчиненное распространение как по простиранию, так и по толщине. Непосредственное влияние на фильтрационно-емкостные свойства пород XV-НР горизонта оказывают глинистость, доломитизация, перекристаллизация кальцита, трещиноватость и процессы выщелачивания. При этом, первые три фактора способствуют ухудшению фильтрационно-емкостных свойств. В частности, глинистость и доломитизация содействуют формированию тонкопорового пустотного пространства, перекристаллизация кальцита приводит к частичному, а местами полному залечиванию пустотного пространства пород. Развитие микро-макротрещиноватости и выщелачивания улучшают фильтрационные свойства. Среди исследованных образцов керна встречаются породы-коллекторы трещинно-порового и каверно-порового типов [4].

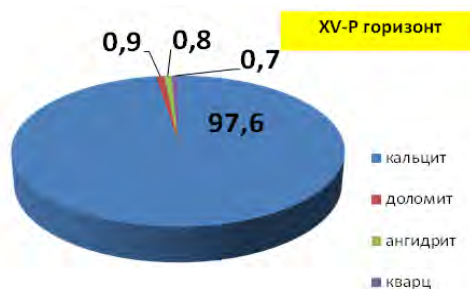


Рисунок 1 – Гистограмма распределения основных породообразующих минералов карбонатных пород

По минеральному составу породы продуктивных горизонтов в основном сложены кальцитом (до 97-99%), ангидрит и нерастворимая терригенная примесь составляет не более 1-0,7%, а содержание доломита не превышает 1,5%. На основе анализа данных лабораторного исследования построена гистограмма распределения коэффициента открытой пористости, коэффициент проницаемости и остаточной водонасыщенности (рис. 2) [5].

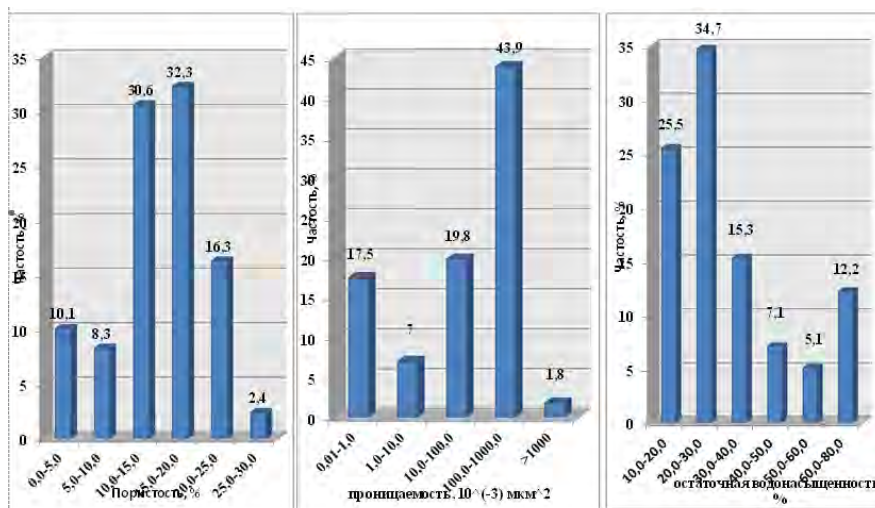


Рисунок 2 – Фильтрационно-емкостные свойства карбонатных пород XV-Р горизонта. Распределение  $k_{п}$  изменяется в диапазоне 0,3-30% со средним значением 14,5%

Значения коэффициента проницаемости изменяются от 0 до  $1262 \times 10^{-3}$  мкм<sup>2</sup>. Рассчитав кривую распределения коллекторов и неколлекторов для карбонатных пород, авторы убедились, что граничные значения по коэффициенту пористости для газовых коллекторов равны 6,3%, для нефтяных коллекторов – 8,1%. Эти значения можно обусловить для всех месторождений Испанлы-Чандырского поднятия [6].

Далее была рассчитана остаточная водонасыщенность от пористости, линиями на рисунке 3 выделены граничные значения. Наблюдается увеличение количества связанной воды при снижении пористости и корреляционная связь описывается уравнением  $k_{ов} = 101,4/e^{0,077kп}$  с коэффициентом корреляции  $r^2=0,89$ . Установление нижнего значения коэффициента остаточной водонасыщенности осуществляется путем проведения перпендикуляра с граничного значения коэффициента пористости (в нашем случае 5,3%) до пересечения с кривой  $k_{ов} = f(kп)$ , и этой точке на ординате будет соответствовать значение граничной водонасыщенности. По нашим построениям значение нижнего предела  $k_{ов гр}$  равно 62% – газовые коллекторы. Граничное значение коэффициента остаточной водонасыщенности для нефтяных коллекторов равно 55%.

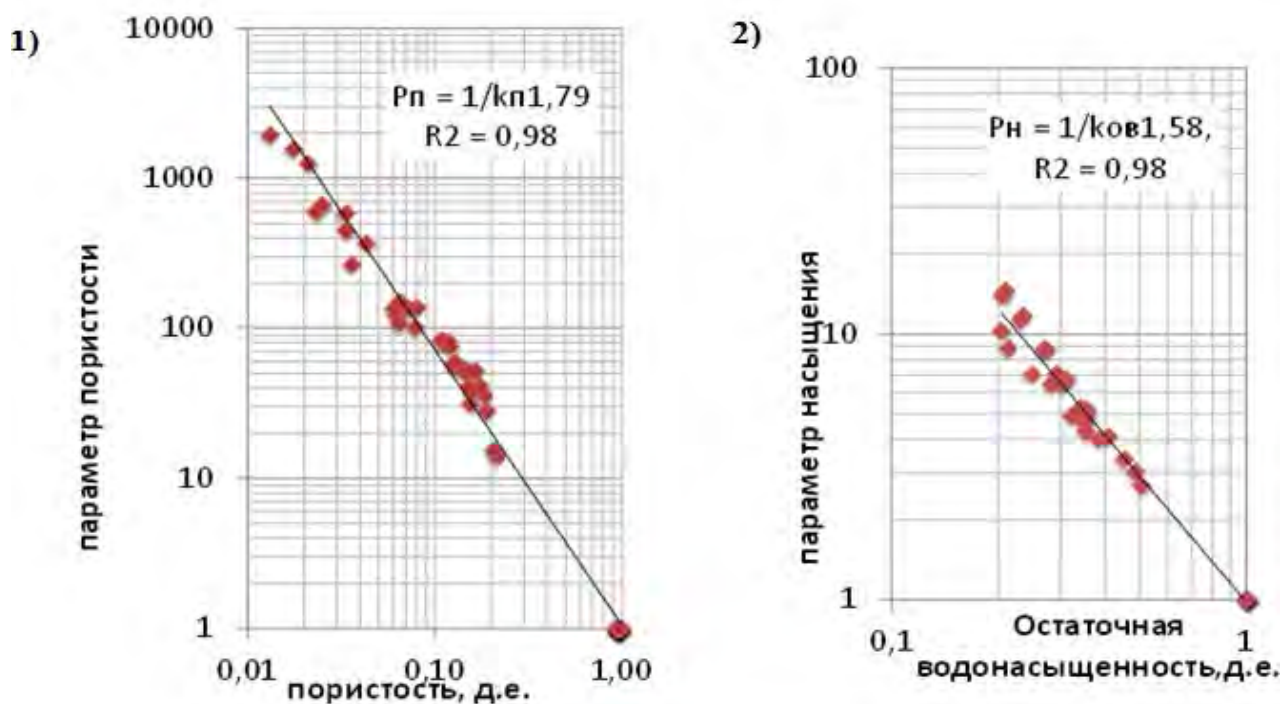


Рисунок 3 – 1) Зависимость параметра пористости (Рп) от коэффициента открытой (кп) пористости для карбонатных пород, 2) Зависимость параметра насыщения (Рн) от коэффициента остаточной водонасыщенности (ков) для карбонатных пород

Авторами были построены литологические колонки (рис. 4), в большинстве скважин присутствуют соли, нижние ангидриты, коллекторы делятся на проницаемые и непроницаемые известняки.

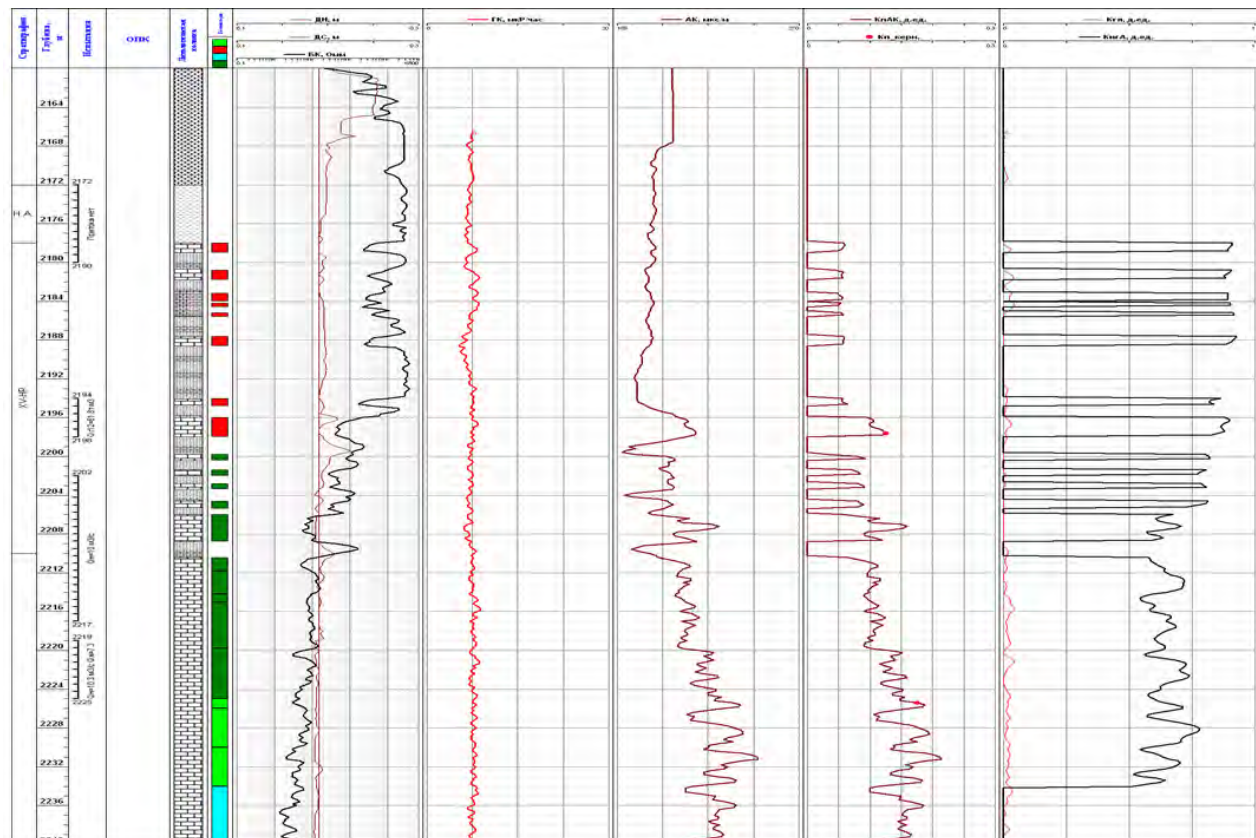


Рисунок 4 – Литологическое расчленение разреза

Выделение эффективных толщин коллекторов осуществлялось по следующим признакам: 1) сужению диаметра скважины, относительно плотных, непроницаемых пород; 2) минимальным величинам глинистости; 3) пониженным значениям на кривых БК; 4) граничным значениям пористости для газонасыщенных коллекторов  $k_p=0,06$ ; для нефтенасыщенных и водонасыщенных коллекторов -  $k_p=0,08$ .

Определена пористость коллекторов по данным 2 методов НГК и АК с учетом глинистости, но без учета остаточной газонасыщенности и кавернозности. Они, в пределах допустимых погрешностей, хорошо согласуются между собой и данными керна.

Резюмируя результаты исследования, можно прийти к выводам: раскрывающих возможности методов ГИС и методики их интерпретации, выделены коллекторы, построены петрофизические связи для интерпретации данных ГИС, определена глинистость коллекторов по данным ГК, определена пористость коллекторов по данным методов НГК и АК с учетом глинистости, но без учета остаточной газонасыщенности, определена нефтегазонасыщенность коллекторов, определено качество оценки подсчетных параметров методами ГИС, указано положение контактов: ГНК(по результатам испытаний и НМ) и ВНК (по граничному значению сопротивления) [7].

В соответствии с анализом мы рекомендуем следующее:

- 1) включить в комплекс ГИС гамма-гамма-плотностной метод (ГГМп) для уточнения значений пористости;
- 2) выполнить МБК для оценки остаточной газонасыщенности в ближней зоне и учета ее на показания методов пористости в газонасыщенной части разреза;
- 3) провести исследования волновым акустическим каротажем (ВАК) хотя бы в нескольких скважинах месторождения для выделения кавернозных интервалов и определения величины кавернозной пористости;
- 4) провести временные исследования НМ для уточнения положения ГНК по данным ГИС;

5) Провести спектральный ГК для более детальной оценки содержания глинистого материала.

### Литература

1. Косков В.Н. Косков Б.В. Теоретические основы дисциплины «Геофизические исследования скважин» и методика выполнения квалификационных работ. Учеб.-метод. Пособие. Пермь: Изд-во ПНИПУ. 2016. 117 с.
2. Трифонова М.П. Геологическое обоснование местоположения и проводки горизонтальных скважин на Оренбургском НГКМ с использованием цифровой геологической модели // Материалы VI всерос. конф. молодых ученых и специалистов по проблемам газовой промышленности России. М.: ОАО «Газпром», РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2005. С. 38-39.
3. Трифонова М.П. Цифровая трехмерная геологическая модель Филипповской залежи ОНГКМ // Нефтепромысловое дело. 2007. № 9. С. 7-11.
4. Кан В.Е., Кузнецова М.А., Трифонова М.П. Анализ геолого-промысловой характеристики горизонтальных скважин ОНГКМ и скважин, восстановленных боковым стволом // Нефтепромысловое дело. 2006. № 7. С. 61-65.
5. Кан В.Е., Политыкина М.А., Трифонова М.П., Силагина Т.В. Характеристика цифровой трехмерной геологической модели Филипповской залежи ОНГКМ // Нефтепромысловое дело. 2007. № 12. С. 17-19.
6. Трифонова М.П. Методика и особенности построения трехмерной геологической модели ОНГКМ // Нефтепромысловое дело. 2009. № 12. С. 11-13.
7. Трифонова М.П. Уточненная цифровая трехмерная геологическая модель ОНГКМ // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 9. С. 53-55.

## ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ПО УСТЮРТСКОМУ НЕФТЕГАЗОНОСНОМУ РЕГИОНУ

Касимова Д.Б.<sup>1</sup>, Рахимов М.Е.<sup>2</sup>, Ли А.В.<sup>1</sup>

*dilfuzichka\_88@mail.ru, maximevgenevich1993@gmail.com, anastasiyali2019@gmail.com*

<sup>1</sup> Филиал Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им.

И.М. Губкина в г. Ташкенте, г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup> ООО "GRDC", г. Ташкент, Республика Узбекистан

*В данной работе показано детальное изучение перспектив нефтегазоносности Устюртского региона. Для решения поставленной задачи была проведена структурная интерпретация, выполнен подробный анализ результатов литолого-петрофизических исследований данных ГИС. Была решена невысокая результативность ГРП последних лет за счет детального знания всех геологических особенностей данного объекта. Сам процесс геологического моделирования представляет собой исследование каких-либо конкретных геологических объектов с помощью геолого-математических моделей с применением аналогичных месторождений. Усовершенствование методики трехмерного геологического моделирования, позволило усилить детальность неоднородного продуктивного разреза и сформировать объективную и адекватную трехмерную геологическую модель. Можно отметить, что моделирование представляет собой мощный инструмент, предоставляющий интерпретатору весь комплекс обработки геолого-геофизических данных, необходимый в производственном процессе, для решения сложных и необходимых задач для прироста запасов. Итогом научной работы являются результаты геологической интерпретации, литолого-петрофизического моделирования, интеграция данной геологической и геофизической интерпретации приводит к достоверному результату геологического моделирования и прогнозирования добычи на многие годы вперед. Спрогнозировать наличие углеводородов на изучаемой области.*

*Ключевые слова: трехмерное геологическое моделирование, интерпретация, гриды (grid), ГРП (геологоразведочные работы), ФЭС (фильтрационно-емкостные свойства), 3D сетки.*

Современное состояние нефтегазовой отрасли характеризуется вступлением большинства месторождений в позднюю и завершающую стадии разработки, которые характеризуются множеством негативных явлений (падение пластового давления, обводнение скважин, образование "защемленных" запасов и т.п.). Значительная часть запасов таких месторождений (более 20%) уже выработана, остаточные же относятся к трудноизвлекаемым, но при этом они составляют значительную величину и превышают запасы многих вновь открытых месторождений. Учитывая невысокую результативность ГРП последних лет и долю в общей добыче УВ месторождений находящихся в нефтегазоперспективных районах Республики Узбекистан, эффективная доработка месторождений с максимально возможным извлечением углеводородного сырья, безусловно, является очень важной и актуальной задачей на сегодняшний день. Решение этой задачи невозможно без детального знания всех геологических особенностей разрабатываемого объекта, которые играют основную роль в распределении запасов углеводородов на месторождении [1].

На данном этапе развития геологической науки и компьютерных технологий появилась возможность комплексирования всей имеющейся геолого-геофизической и промысловой информации и ее интегрирование в производство с помощью «Цифрового трехмерного моделирования геологического строения месторождения» [1].



Цель данной работы является повышение достоверности и детальности геологических моделей месторождений УВ. С помощью создания высокоинформативной цифровой трехмерной геологической модели путем интеграции всего спектра геолого-геофизической и промысловой информации для принятия оптимальных решений эффективной разработки и до разработки месторождения [2].

Усовершенствована методика трехмерного геологического моделирования сложных терригенных резервуаров многозалежных месторождений, позволяющая в условиях сильно неоднородного продуктивного разреза и большого объема разнородной информации сформировать объективную и адекватную трехмерную геологическую модель [1].

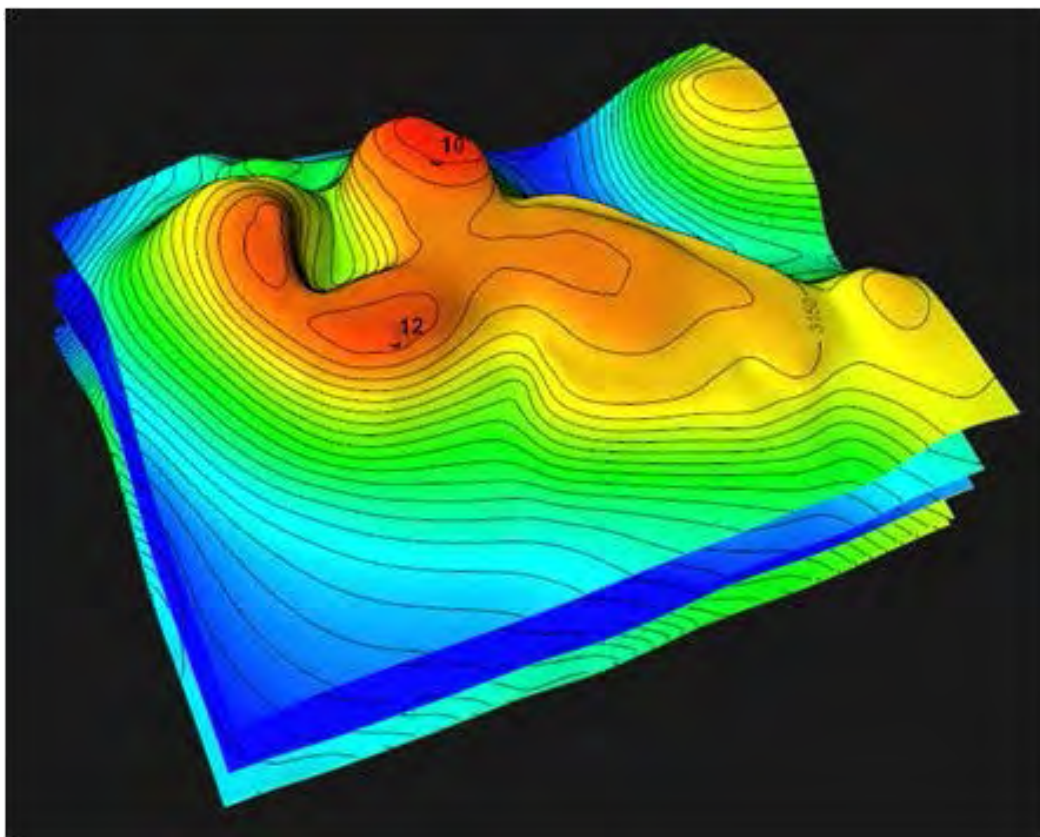


Рисунок 1 – Структурный каркас изучаемого месторождения

Трехмерное геологическое моделирование как одно из принципиально новых направлений в нефтегазовой геологии Республики Узбекистана. Геологическая модель - это интегрированная совокупность геологических, геофизических и промысловых данных, объемно имитирующая геологический объект исследований (резервуар УВ) и позволяющая исследовать его геологическое строение (неоднородность) и процессы, происходящие в объекте при его эксплуатации. Геологическая модель включает данные о тектоническом строении объекта, его геометрии, стратиграфии, литофациальной характеристике пластов-коллекторов, об изменении их общей и эффективной мощности и коллекторских свойств пористости и проницаемости по площади и разрезу, газо-нефтенасыщенности отдельных пропластков, гидрогеологической характеристике, величине запасов УВ месторождения [3].

Сам процесс геологического моделирования представляет собой исследование каких-либо конкретных геологических объектов с помощью геолого-математических моделей с применением аналогичных месторождений. Это непрерывная технологическая цепочка, в которой тесно увязаны различные звенья обработки информации. Если новые данные только уточняют представление об объекте исследования, то используются методы адресного ввода параметров и локального изменения свойств построенной модели.

Цифровые геологические модели и методы их построения различаются на разных этапах жизни месторождения (поиски, разведка, разработка). При этом степень детальности модели может быть различной. Она зависит от количества и качества исходной геолого-геофизической информации.

Процесс построения трехмерной геологической модели состоит из следующих этапов:

1. создание структурной модели;
2. создание литологической модели;
3. создание модели ФЕС;
4. построение модели насыщения;
5. подсчет/оценка запасов углеводородов.

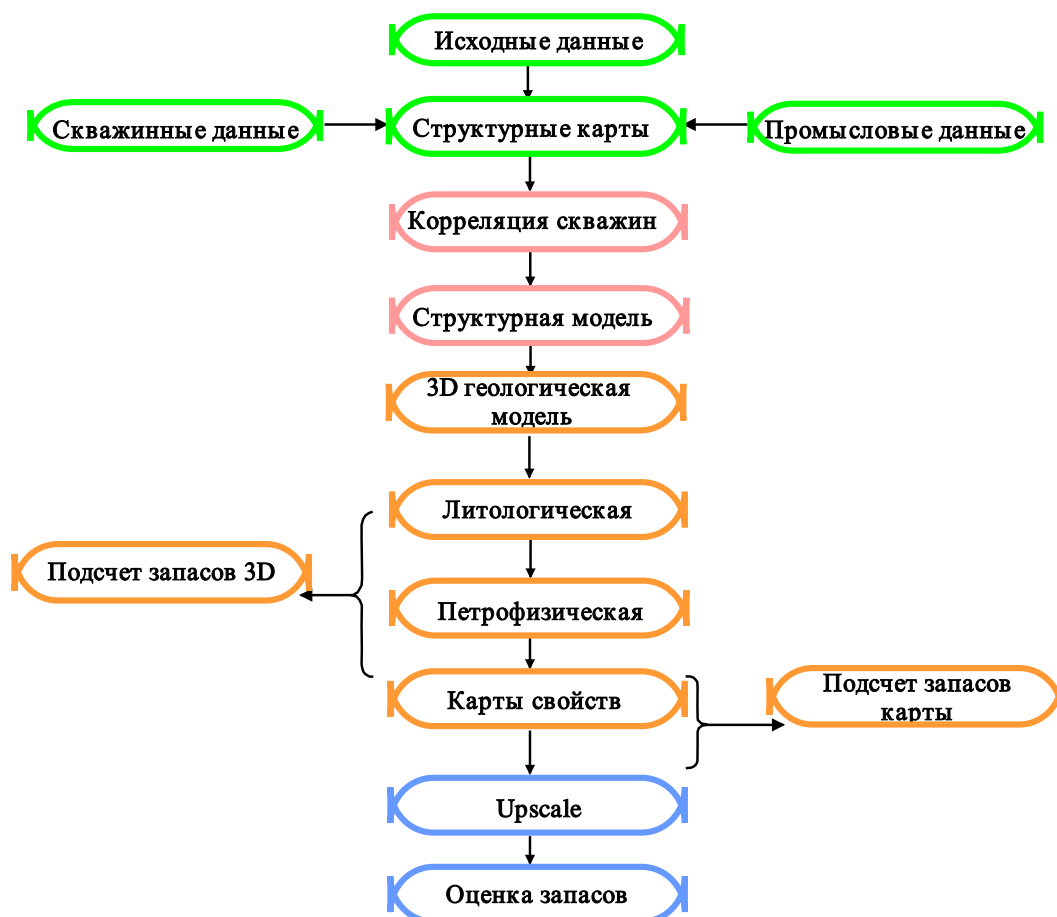


Рисунок 2 – Схема создания модели

Успех трехмерного моделирования во многом зависит от ввода обоснованной начальной информации. Для получения корректной модели, точно описывающей геологические объекты, рекомендуемые к эксплуатации, необходимо проведение целого комплекса работ по выбору и подготовке исходного материала. Подбор и анализ этой информации осуществлялся на основе как ранее выполненных работ, так и новых проведенных исследований [4].

Следующим шагом построения модели является создание трехмерных объектов между построенными поверхностями структурной модели месторождения и выбор соответствующих трехмерных сеток. Основным требованием к выбору сеток является разумное сочетание подробного описания пласта с одной стороны, и ограничения числа ячеек сетки для проведения необходимых расчетов в соответствии с возможностями современной вычислительной техники с другой. В результате были построены детальные 3D сетки с

высоким разрешением, достаточным для сохранения тонких прослоев в объеме трехмерной модели, с толщиной ячеек продуктивных пластов [5].

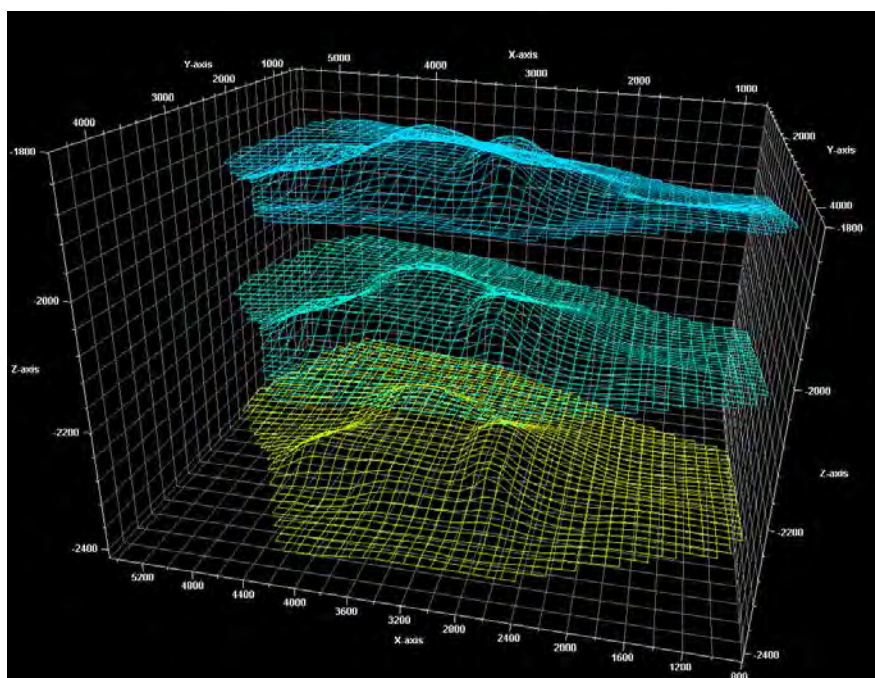


Рисунок 3 – Трехмерная модель сетки (grid)

При структурном моделировании для построения карт использовались отбивки, полученные в результате выполненной детальной корреляции пластов. Всего было создано 5 структурных поверхностей, соответственно кровля и подошва для каждого из горизонтов. При построении любого варианта модели необходимо стремиться к возможно большему приближению цифровой геологической модели к реальному объекту моделирования и поддержанию актуальности модели, которая зависит от своевременности обработки поступающего геолого-промыслового материала и при необходимости уточнения параметров модели [6].

Построение литологической модели представляет собой первый базовый этап построения модели фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) пластов, при котором происходит присваивание определенного кода литологии каждой ячейки. Фактически это является отнесением горной породы, которой соответствует объем данной ячейки 3D сетки, к определенному достаточно крупному классу, имеющему свои характерные ФЕС, их распределения, а также, возможно специфические зависимости между ФЕС и т.д. Куб литологии (Рис. 4) рассчитывался на основе кривой пористости, на основании которой была получена дискретная кривая коллектор–неколлектор. Выделение коллекторов проводилось по комплексу геофизических методов с использованием прямых качественных признаков. Прямые качественные признаки обусловлены проникновением в коллекторы фильтрата промывочной жидкости, что приводит к образованию глинистой корки на стенках скважин, возникновению радиального градиента сопротивлений по показаниям фокусированных электрических зондов разной глубинности, уменьшению естественной радиоактивности относительно вмещающих глин [6].

Для терригенных отложений выделение эффективных интервалов юрских отложений граничное значение для пористости принималось 9,5%. В интервалах с пористостью меньше 9,5 %, кривая литологии имела значение 0, а в интервалах больше 9,5 % – 1, а граничное значение принималось равным 10 %. Далее было сделано осреднение (перемасштабирование) дискретной кривой литологии на трёхмерную сетку. В связи с тем, что при моделировании этого свойства, моделируемая область разделяется на ячейки путем создания 3D грида,

каждой ячейке грида присваивается единственное значение для каждого свойства. Поскольку ячейки грида часто бывают намного крупнее, чем плотность значений для каротажных кривых, каротажные данные должны быть перемасштабированы, прежде чем они могут быть введены в грид.

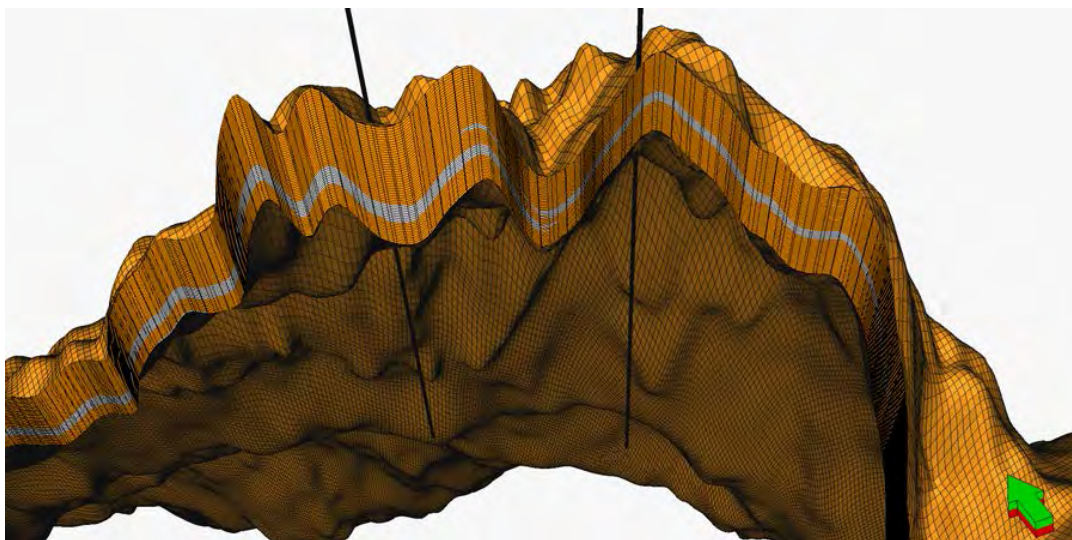


Рисунок 4 – Куб литологии на моделирования Уstyurtского нефтегазоносного региона

Пористость распределялась по данным интерпретации ГИС на основе 2D тренда, полученного по результатам сейсмической инверсии с помощью алгоритма последовательного гауссовского моделирования. Выбор данного метода обоснован приемлемыми для данного свойства результатами построений в областях, неосвещенных скважинными данными, а также, достаточно хорошей производительностью. Построение модели пористости осуществлялось на основе куба литологии, причем значения присваивались только ячейкам коллектора, ячейкам неколлектора не присваивалось никакого значения. Контроль качества построения куба пористости пластов осуществлялся несколькими способами: визуально по разрезам куба пористости по скважинам, сравнением вертикальных трендов пористости коллекторов по ГИС и по модели, сравнением горизонтальных 2D трендов пористости с картами пористости по модели, сравнением величины средней пористости коллекторов по ГИС и по модели. Выполненный контроль качества позволил оценить качество построение куба пористости пластов как хорошее [7].

Геологическая модель построена по всей имеющейся информации (скважинные данные, данные 3D сейсморазведочных работ). После каждого этапа построения выполнялся качественный и количественный анализ расхождений статистических характеристик (минимальные, максимальные и средние значения, а также, гистограммы распределений) между свойствами геологической модели и РИГИС. Выполненный контроль позволил оценить качество трехмерной геолого-геофизической модели как хорошее. Данная модель может использоваться для дальнейшего фильтрационного моделирования [7].

Подводя итоги, можно отметить, что моделирование представляет собой мощный инструмент, предоставляющий интерпретатору весь комплекс обработки геолого-геофизических данных, необходимый в производственном процессе, для решения сложных и необходимых задач для прироста запасов. Для нахождения и извлечения углеводородов требуется точная и детальная геологическая модель, описывающая структуру, стратиграфию и свойства пород месторождения. Интеграция данных геологической и геофизической интерпретации приводит к достоверному результату геологического моделирования и прогнозирования добычи на многие годы вперед. Изучаемый объект находится на начальной стадии разведки, и его геологическая модель будет уточняться по мере проведения разведочных работ. В связи с неопределенностью строения залежи по некоторым пластам

существуют риски не подтверждения запасов УВ категории  $C_2$ , связанные с вероятностью неполного заполнения ловушки, ухудшения ФЕС коллекторов северо-западной части залежи, возможным изменением структурной модели пласта в районе северо-западной части залежи, не изученной бурением. Применение геологических моделей при заложении новых разведочных скважин, позволит значительно снизить финансовые риски и выбрать наиболее оптимальный подход для детализации месторождения, использование данного метода позволило выделить новые перспективные участки на газоносность, ранее считавшиеся бесперспективными, что позволило проростить запасы категории  $C_2-C_1$  для повышения потенциала страны [7].

### Литература

1. Трифонова М.П. Уточненная цифровая трехмерная геологическая модель ОНГКМ // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2008. № 9. С. 53-55.
2. Кан В.Е., Кузнецова М.А., Трифонова М.П. Анализ геолого-промысловых характеристик горизонтальных скважин ОНГКМ и скважин, восстановленных боковым стволом // Нефтепромысловое дело. 2006. № 7. С. 61-65.
3. Трифонова М.П. Методика и особенности построения трехмерной геологической модели ОНГКМ // Нефтепромысловое дело. 2009. № 12. С. 11-13.
4. Трифонова М.П. Геологическое обоснование местоположения и проводки горизонтальных скважин на Оренбургском НГКМ с использованием цифровой геологической модели // Материалы VI всерос. конф. молодых ученых и специалистов по проблемам газовой промышленности России. М.: ОАО «Газпром», РГУ НГ им. И.М. Губкина. 2005. С. 38-39.
5. Кан В.Е., Кутеев Ю.М., Политыкина М.А., Силагина Т.Е., Трифонова М.П. Пересчет запасов углеводородов ассельской нефтяной залежи Оренбургского НГКМ с использованием компьютерных технологий // XVII Губкинские чтения. Нефтегазовая геологическая наука - XXI век. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2004. С. 93-94.
6. Трифонова М.П. Цифровая трехмерная геологическая модель Филипповской залежи ОНГКМ // Нефтепромысловое дело. 2007. № 9. С. 7-11.
7. Кан В.Е., Политыкина М.А., Трифонова М.П., Силагина Т.В. Характеристика цифровой трехмерной геологической модели Филипповской залежи ОНГКМ // Нефтепромысловое дело. 2007. № 12. С. 17-19.

## ВЫСОКОТОЧНЫЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В BERNESE GNSS SOFTWARE И СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАСЧЁТОВ В GAMIT/GLOBK

Кенигсберг Д.В.  
kenig@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе представлены результаты обработки данных полевых GPS наблюдений в программе Bernese GNSS Software. Для 8 перманентных станций выбран один день измерений в апреле 2018г в международном формате обмена данными RINEX. В созданной кампании в среде Bernese GNSS Software были рассчитаны усредненные координаты этих станций для выбранного дня. Полученный результат позиционирования показал допустимое отклонение от заданных априорных координат. По результатам исследования также установлено, что один из методов уменьшения разброса полученных координат, а равно и скоростей, от априорных данных заключается в изменении количества одновременно обрабатываемых за одну сессию станций. Программа Bernese помимо определения высокоточных координат также рассчитывает скорости движения станций. Кроме этого предусматривается возможность параллельной обработки сессий для одной кампании, а также возможность автоматизации алгоритма обработки данных от импорта входной информации до расчета координат и векторов скорости.*

*Ключевые слова: Bernese GNSS Software, координаты, файлы наблюдений RINEX, сессия*

### Введение

На территории Киргизии ежегодно проводятся полевые измерения GPS пунктов локальной и региональной сетей. Производится сбор данных с 15 перманентных GPS станций (Киргизия, Казахстан). На детальных геодезических площадках (2-4 км<sup>2</sup>) осуществляется комплекс режимных измерений и опытно-методические работы с использованием средств GPS, наземной геодезии и других геофизических методов.

Программа Bernese GNSS Software версии 5.2 позволяет обрабатывать измеренные данные с высокой производительностью, обеспечивает высокую точность и довольно гибкий в использовании пакет постобработки GPS/ГЛОНАСС (GNSS) данных в среде Windows и Linux. Современное моделирование, детальный контроль всех опций обработки, мощные инструменты для автоматизации, соблюдение современных международных стандартов, а также гибкость, являются отличительными чертами Bernese GNSS Software. В возможности программы входит эффективная обработка данных от локальных до глобальных сетей с использованием одно- или двухчастотных GNSS измерений, позволяет автоматически обрабатывать перманентные станции в большом количестве, одновременно обрабатывать данные GPS и ГЛОНАСС наблюдений [1].

### Подготовка рабочей среды и сбор необходимых файлов для работы с данными

В начале процесса создаётся кампания, в которой будут выполняться все действия по обработке выбранных данных. Внутри программы, кампания представляет собой каталог с папками, в которые помещаются все файлы, необходимые для работы с данными. Она имеет путь  $\${P}/CAMPAIGN$ , где  $\${P}$  – это заданная при установке программы переменная. Все дополнительные файлы, необходимые для обработки файлов RINEX, скачиваются со специальных ftp-серверов и помещаются в зарезервированные папки кампании. Нами было помещено в каталог кампании 8 RINEX файлов для 8 станций Центральной Азии, которые затем были обработаны.

Исходные файлы RINEX импортируются в файлы кодовых и фазовых наблюдений формата Bernese, после чего можно приступить к их обработке. Программа Bernese может использовать методы обработки нулевой, единичной и двойной разницы [2].

**Обработка файлов данных.** Сначала настраивается и запускается программа Code-based clock synchronization (CODSP). Основная цель этой программы – вычисление корректировок часов приёмника. Они синхронизируются по отношению к времени системы GPS. Вычисленные CODSP поправки к часам приемника хранятся в файлах кодовых и фазовых наблюдений [3].

Вторая программа обработки называется Create baseline (SNGDIF). Она создаёт базовые линии между станциями на основе импортированных и обработанных в CODSP файлов. Для каждой базовой линии формируется отдельный файл данных.

Финальная программа обработки Phase preprocessing (MAUPRP) выявляет все циклические скольжения относительных позиций и осуществляет их корректировку. В качестве эталона для отбора дистанций используется решение по разнице в эпохах позиционирования [3].

**Рассчитанные координаты.** Программный блок Parameter estimation (GPSEST) позволяет вычислить координаты на основе обработанных базовых линий. Загружаются все предварительно подготовленные файлы, выполняются настройки программы и ее запуск.

По окончании вычислений формируется выходной файл формата txt, с расширением OUT. Он содержит подробный отчёт о всех заданных для программы настройках, а так же о процессах и результатах программы. На рисунке 1 приведен фрагмент содержания файла FINAL.OUT с априорными и рассчитанными (NEW VALUE) координатами некоторых исследуемых станций, их разницей (NEW – A PRIORI) и оценкой ошибки (RMS ERROR).

NUM	STATION NAME	PARAMETER	A PRIORI VALUE	NEW VALUE	NEW - A PRIORI	RMS ERROR
1	CHUMYSH	X	1228950.4295	1228950.4404	0.0109	0.0054
		Y	4508079.9815	4508080.0894	0.1079	0.0078
		Z	4327868.5292	4327868.5712	0.0420	0.0064
		HEIGHT	716.3299	716.4368	0.1069	0.0090
		LATITUDE	42.59.54.605388	42.59.54.604020	-0.0422	0.0049
		LONGITUDE	74.45.3.970998	74.45.3.971788	0.0178	0.0052
2	KAZARMAN	X	1325807.8081	1325807.7987	-0.0095	0.0053
		Y	4606496.7287	4606496.7879	0.0592	0.0077
		Z	4195524.6663	4195524.6551	-0.0112	0.0063
		HEIGHT	1409.2863	1409.3196	0.0333	0.0088
		LATITUDE	41.23.5.783786	41.23.5.782351	-0.0443	0.0048
		LONGITUDE	73.56.36.652997	73.56.36.654093	0.0254	0.0050
3	KUMTOR	X	973446.4139	973446.4236	0.0096	0.0056
		Y	4659305.9365	4659306.0819	0.1453	0.0079
		Z	4237455.8044	4237455.8766	0.0721	0.0065
		HEIGHT	4158.5683	4158.7238	0.1555	0.0091
		LATITUDE	41.52.4.077212	41.52.4.075833	-0.0426	0.0049
		LONGITUDE	78.11.57.171129	78.11.57.172008	0.0202	0.0053
4	SUMKAR	X	1262670.4400	1262670.4453	0.0053	0.0056
		Y	4402617.5481	4402617.6540	0.1059	0.0080
		Z	4425403.8689	4425403.9210	0.0521	0.0066
		HEIGHT	1012.1517	1012.2621	0.1104	0.0093
		LATITUDE	44.12.29.273674	44.12.29.272552	-0.0347	0.0050
		LONGITUDE	73.59.49.602834	73.59.49.603917	0.0240	0.0053

Рисунок – 1 Пример результатов расчета координат для некоторых исследуемых станций в программе Bernese. Единицы измерения картезианской системы координат (X, Y, Z) в метрах

### Результаты и обсуждение

После обработки выбранных данных GPS измерений в программе Bernese GNSS Software были получены результаты позиционирования, которые были сравнены с координатами, рассчитанными в GAMIT/GLOBK.

Таблица – 1 Сравнение координат, рассчитанных в двух разных программах

№	NAME	GAMIT/GLOBK			Bernese GNSS Software			$\Delta X$ , мм	$\Delta Y$ , мм	$\Delta Z$ , мм	$\Delta XYZ$ , мм
		$X_G$ , м	$Y_G$ , м	$Z_G$ , м	$X_B$ , м	$Y_B$ , м	$Z_B$ , м				
1	CHUM	1228950,429	4508079,982	4327868,529	1228950,605	4508079,627	4327867,906	-175,350	355,040	623,440	738,565
2	KAZA	1325807,808	4606496,729	4195524,666	1325807,964	4606496,327	4195523,986	-155,830	401,800	679,990	805,054
3	KMTR	973446,414	4659305,937	4237455,804	973446,582	4659305,621	4237455,209	-167,760	315,320	595,770	694,631
4	OSHK	1437616,329	4637739,335	4123546,406	1437616,503	4637739,000	4123545,791	-174,360	334,360	615,210	721,583
5	PODG	848234,055	4569944,504	4354924,486	848234,209	4569944,120	4354923,833	-153,600	383,400	652,760	772,453
6	SEL2	1044702,736	4542080,888	4341874,625	1044702,911	4542080,512	4341873,981	-175,460	375,490	644,290	766,087
7	SUMK	1262670,440	4402617,548	4425403,869	1262670,611	4402617,185	4425403,254	-170,580	362,570	614,410	733,522
8	TALA	1440489,407	4489412,697	4283257,814	1440489,578	4489412,346	4283257,187	-171,310	350,700	626,070	737,768
	<b>Min</b>	848234,055	4402617,548	4123546,406	848234,209	4402617,185	4123545,791	-175,460	315,320	595,770	694,631
	<b>Avr</b>	1195239,702	4551959,702	4286232,025	1195239,870	4551959,342	4286231,393	-168,031	359,835	631,492	746,208
	<b>Max</b>	1440489,407	4659305,937	4425403,869	1440489,578	4659305,621	4425403,254	-153,600	401,800	679,990	805,054
	<b>Max-Min</b>	592255,352	256688,388	301857,463	592255,370	256688,436	301857,464	21,860	86,480	84,220	110,424
	<b>StD</b>	218400,600	84867,399	97100,504	218400,603	84867,405	97100,505	8,646	27,532	26,445	34,025
	<b>AvD</b>	179833,976	66411,924	76285,852	179833,977	66411,925	76285,850	6,726	20,980	20,641	26,243
	<b>Q</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

Крайние правые 4 колонки в таблице 1 отражают разницу между координатами GAMIT/GLOBK и Bernese, последняя колонка содержит модули разности между одноименными радиус-векторами в XYZ. Выделенные цветом нижние строки содержат статистические параметры по колонкам: Min – минимальное, Avr – среднее, Max – максимальное, Max-Min – интервал вариаций, StD – стандартное отклонение, AvD – среднее отклонение, Q – объем выборки. Очевидно, что для высокоточных наблюдений разность в позиционировании до 80 см является достаточно большой. Было замечено, что при добавлении дополнительных расположенных поблизости опорных IGS станций, сходимость позиционирования для программ GAMIT/GLOBK и Bernese улучшаются по мере увеличения числа опорных IGS станций. В таблице 2 сведены количественные характеристики суммарных различий: минимальные, средние и максимальные значения модулей разности между одноименными радиус-векторами в XYZ, рассчитанными в программах GAMIT/GLOBK и Bernese.

Таблица – 2 Зависимость минимальной, средней и максимальной  $\Delta XYZ$  от количества одновременно обрабатываемых станций в программах GAMIT/GLOBK и Bernese

Станции	2	4	8	16	28
<b>min(<math>\Delta XYZ</math>), мм</b>	1388,346	1222,412	694,631	186,077	60,987
<b>avr(<math>\Delta XYZ</math>), мм</b>	1404,294	1244,844	746,208	237,519	110,608
<b>max(<math>\Delta XYZ</math>), мм</b>	1420,242	1262,834	805,054	287,556	162,526

На рисунке 2 графически отражена зависимость изменения позиции исследуемых станций в разных программах при увеличении числа одновременно обрабатываемых станций. Очевидно, что при добавлении в расчет дополнительных IGS станций разница в координатах для программ GAMIT/GLOBK и Bernese существенно уменьшается.



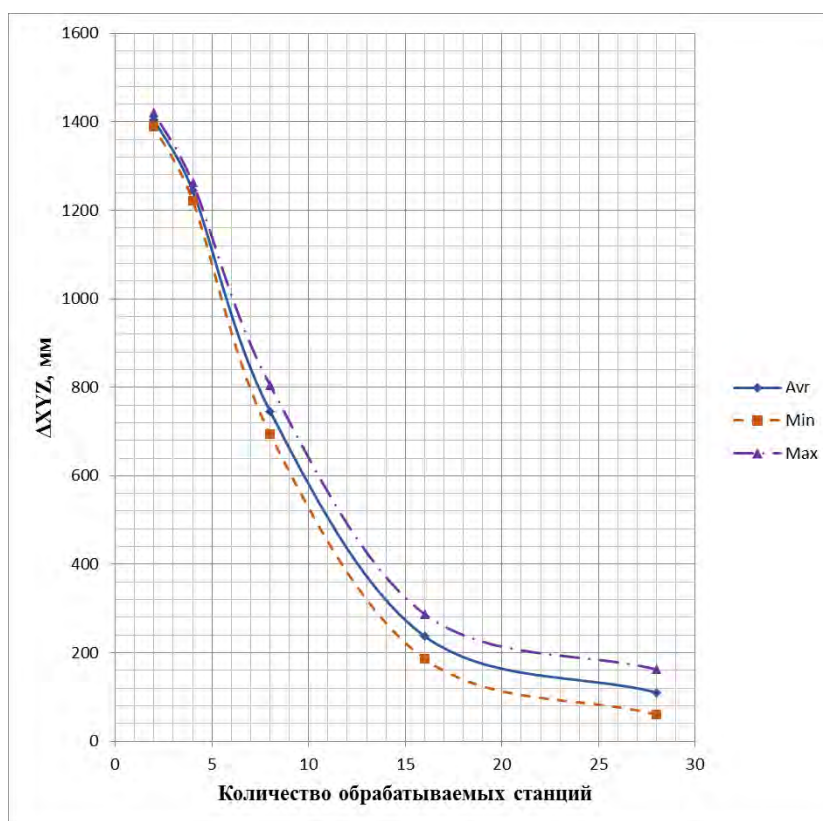


Рисунок 2 – Графики зависимости минимальной, средней и максимальной  $\Delta XYZ$  от количества обрабатываемых станций в программах GAMIT/GLOBK и Bernese

Из рисунка 2 и таблицы 2 следует, что наилучшие показатели сходимости координат после Bernese с координатами GAMIT/GLOBK получаются при 28 одновременно обрабатываемых станциях. Но если выполнить ряд дополнительных подпрограмм (статистика отбора невязок, решение неоднозначностей, комбинирование файлов нормальных уравнений и др.), то можно еще почти в 2 раза улучшить сходимость позиционирования до  $\Delta XYZ \approx 70$  мм, как показано в таблице 3.

Таблица – 3 Сравнение координат, рассчитанных в двух разных программах при условии, что в Bernese был использован ряд дополнительных программ по улучшению результатов

№	NAME	GAMIT/GLOBK			Bernese GNSS Software			$\Delta X$ , мм	$\Delta Y$ , мм	$\Delta Z$ , мм	$\Delta XYZ$ , мм
		$X_G$ , м	$Y_G$ , м	$Z_G$ , м	$X_B$ , м	$Y_B$ , м	$Z_B$ , м				
1	CHUM	1228950,429	4508079,982	4327868,529	1228950,442	4508080,051	4327868,581	-12,430	-69,780	-51,740	87,754
2	KAZA	1325807,808	4606496,729	4195524,666	1325807,807	4606496,746	4195524,665	1,240	-17,590	1,140	17,670
3	KMTR	973446,414	4659305,937	4237455,804	973446,431	4659306,042	4237455,889	-17,230	-105,800	-84,220	136,321
4	OSHK	1437616,329	4637739,335	4123546,406	1437616,340	4637739,414	4123546,464	-11,520	-79,260	-57,740	98,736
5	PODG	848234,055	4569944,504	4354924,486	848234,062	4569944,548	4354924,511	-6,700	-44,190	-25,300	51,359
6	SEL2	1044702,736	4542080,888	4341874,625	1044702,736	4542080,888	4341874,625	0,000	0,000	0,000	0,000
7	SUMK	1262670,440	4402617,548	4425403,869	1262670,455	4402617,621	4425403,933	-14,860	-73,400	-64,200	98,641
8	TALA	1440489,407	4489412,697	4283257,814	1440489,415	4489412,759	4283257,856	-7,910	-61,810	-42,760	75,574
	<b>Min</b>	848234,055	4402617,548	4123546,406	848234,062	4402617,621	4123546,464	-17,230	-105,800	-84,220	0,000
	<b>Avr</b>	1195239,702	4551959,702	4286232,025	1195239,711	4551959,759	4286232,066	-8,676	-56,479	-40,603	70,757
	<b>Max</b>	1440489,407	4659305,937	4425403,869	1440489,415	4659306,042	4425403,933	1,240	0,000	1,140	136,321
	<b>Max-Min</b>	592255,352	256688,388	301857,463	592255,353	256688,421	301857,469	18,470	105,800	85,360	136,321
	<b>StD</b>	218400,600	84867,399	97100,504	218400,600	84867,402	97100,503	6,673	34,427	30,489	45,312
	<b>AvD</b>	179833,976	66411,924	76285,852	179833,976	66411,929	76285,847	5,334	26,914	24,412	35,810
	<b>Q</b>	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8

### Выводы

В лаборатории GPS ИС РАН с 1990-х годов обработка данных космогеодезических наблюдений традиционно осуществлялась с использованием программного пакета

GAMIT/GLOBK. С 2019г у нас появилась возможность получать результаты высокоточного позиционирования посредством Bernese GNSS Software, которая может работать в среде Windows и обрабатывать данные разных спутниковых систем. Нам удалось успешно отработать и уточнить алгоритм установки программы Bernese в среде Windows, осуществить и детализировать процесс расчета средних суточных координат для измеряемых НС РАН перманентных станций. Сравнительный анализ координат, полученных в программах GAMIT/GLOBK и Bernese, показал достаточный уровень их сходимости, который в большей мере зависит от количества используемых дополнительных опорных IGS станций. При этом интересным для дальнейшего исследования является вопрос анализа не абсолютных позиций, а базовых линий и векторов скорости.

*Автор выражает благодарность своему научному руководителю к.ф.-м.н., заведующему лабораторией ЛГПС Научной станции РАН С.И. Кузикову за выбор направления, советы при проведении работ и рекомендации по оформлению статьи.*

*Работа выполнена в рамках Государственного задания Научной станции РАН (тема АААА-А19-119020190066-3)*

### **Литература**

1. Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P. User manual of the Bernese GNSS Software, Version 5.2 // Astronomical Institute, University of Bern. Teor. Appl. 2015. P. 826.
2. Loyer S., Perosanz F., Mercier F., Capdeville H., Marty J.C. Zero-difference GPS ambiguity resolution at CNES–CLS IGS Analysis Center // J Geod 86: 991–1003. doi 10.1007/s00190-012-0559-2
3. Dach R., Lutz S., Walser P., Fridez P. Tutorial on the Bernese GNSS Software, Version 5.2 // Astronomical Institute, University of Bern. Teor. Appl. 2015. P. 166.

## МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ GPS - ИЗМЕРЕНИЙ

Кирилов А.А.

*artemmiroy117@gmail.com*

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Описывается методика чтения данных, полученных с перманентной GPS станции POL2, которая входит в состав сети IGS. Станция оснащена приемником Javad Delta-3, высокоточной антенной TPSCR.G3 и находится на территории ИС РАН. Из первичных данных выделяется полное электронное содержание ионосферного слоя (ПЭС). Затем, в интересующий период времени, строится спектр мощности ПЭС и определяется угол наклона спектра. По вариациям угла наклона спектра мощности можно получить количественные оценки изменений в ионосфере.*

*Ключевые слова: ионосфера, GPS, ГЛОНАСС, полное электронное содержание, преобразование Фурье, спектр мощности, формат COMPACT 3.*

### Введение

В последние годы для зондирования ионосферы широкое применение получили спутниковые радионавигационные системы типа: ГЛОНАСС (Глобальная навигационная система связи) – российская и GPS (Global Position System) – американская [1]. Современная спутниковая навигация основывается на использовании принципа дальномерных измерений между навигационными спутниками и приемником. На приемник в составе навигационного сигнала передается информация о координатах спутников и данные наблюдений. Измерения дальностей до навигационных спутников производятся синхронизировано. Способ измерений дальностей основывается на вычислении временных задержек принимаемого сигнала от спутника по сравнению с сигналом, генерируемым приемником.

Существуют различные методы чтения данных формата Rinex COMPACT, в том числе наиболее распространенный метод чтения файлов наблюдения .YUo через исполняемую программу. Введенный в 2002 г. формат Rinex COMPACT был прост в обработке. Однако, введенный в 2014 г. Unavco формат COMPACT 3 имеет более сложную структуру, что затрудняет чтение таких файлов с использованием пакета Matlab, который применяется в данной работе для анализа данных. Поэтому, для чтения и преобразования файлов формата COMPACT 3 в файлы, удобные для проведения исследований, целесообразнее реализовать программу, написанную на низкоуровневом языке.

### Методика обработки данных

#### 1. Чтение начальных данных

Результаты измерений GPS – приемников поступают в виде файлов имеющих расширение \*.jps. Для считывания данных может применяться как утилита фирмы Javad, производящей навигационное оборудование, так и универсальный конвертер TEQC от компании UNAVCO. Как показала практика, с конвертированием первичных данных в Rinex - формат наиболее стабильно работает утилита от Javad. Данная утилита позволяет работать как в пользовательском окне, так и в режиме командной строки. Приемник Javad Delta-3 формирует файлы, содержащие 1 час измерений. Это создает определенные неудобства при обработке данных, так как для получения наиболее полной картины в течение суток предпочтителен единый цельный файл без разрывов. С целью облегчения данной задачи применяется универсальный конвертер TEQC, который может также объединять файлы Rinex – формата в один. Вызов необходимых команд выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} teqc.exe temp.19o > *.19o \\ teqc.exe temp.19N > *.19N \end{aligned} \quad (1.1)$$

Для упрощения работы с большим количеством файлов, логичнее создавать командные файлы сценариев .bat или .cmd.

## 2. Обработка и преобразование в RINEX COMPACT 3

Предварительно сшитый и проверенный rinex – файл представляет собой файл в двоичном виде и подвергается преобразованию в формат Rinex COMPACT 3 следующим образом:

$$teqc.exe + err qc_{error}.err + qc + plot temp.19N temp.19o \quad (2.1)$$

Полученные файлы можно считать напрямую с помощью пакета *Matlab* или предварительно перевести в .txt и создать файлы для каждого спутника в отдельности. Первый способ хоть и является предпочтительным, но имеет существенный недостаток – низкая скорость, что сильно загружает систему *Matlab*, тем самым увеличивая время ее выполнения. Поэтому для этих целей была разработана более легкая в использовании программа с использованием низкоуровневого языка. С помощью этой программы можно обрабатывать файлы непосредственно из командной строки, так и обращаться к ней через функцию *system* или *dos* из *Matlab*.

## 3. Чтение и обработка в системе Matlab

Для получения рядов полного электронного содержания (ПЭС) использовался способ с устранением разрывов ряда. Программа выполнена на высокоуровневом языке *Matlab R2018b*. Алгоритм программы приведен на рис. 1.

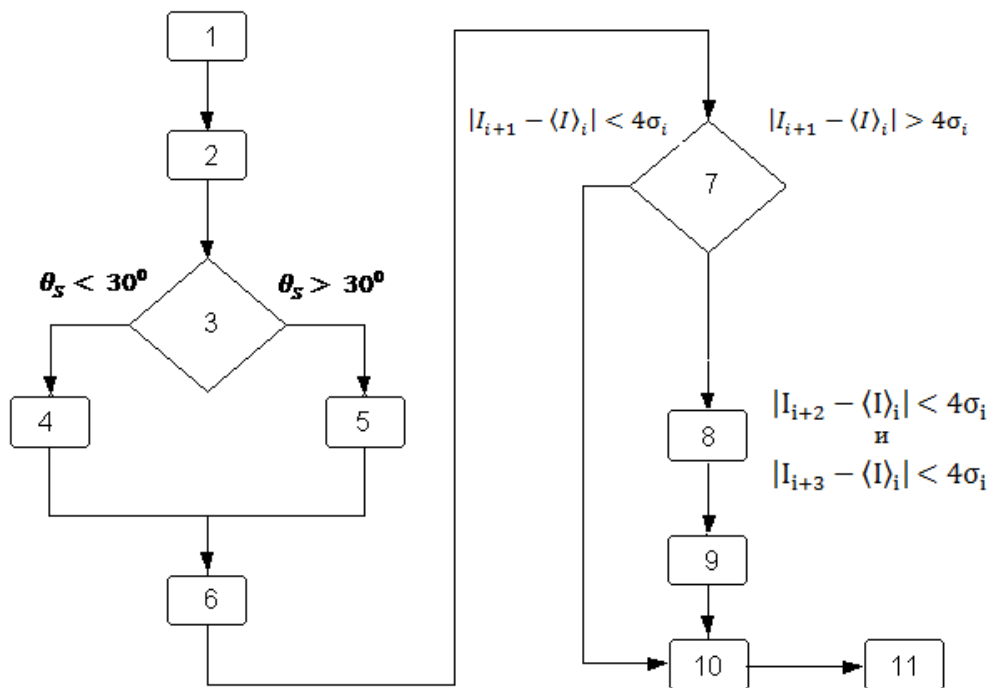


Рисунок 1 – Алгоритм программы для обработки ПЭС

В нашем случае считывание происходит из .txt – файлов 1. Расчет ПЭС производится по кодовым и фазовым задержкам 2. Для того чтобы ограничить область ионосферы, для которой будут найдены значения вертикального ПЭС, выбираются данные только от тех спутников, которые попали в соответствующий диапазон углов  $\theta_s$  [2, 3]:

$$\begin{cases} I = I \cdot \cos\left(\arcsin\left(\frac{R_{\oplus}}{R_{\oplus} + h_{\max\Box}} \cdot \cos(\theta_S)\right)\right), \theta_S < 30^\circ \\ I = I \cdot \sin(\theta_S), \theta_S > 30^\circ \end{cases} \quad (3.1)$$

где  $R_{\oplus}$  – радиус Земли,  $h_{\max\Box}$  – высота верхнего ионосферного слоя.

Для устранения влияния грубых погрешностей в рядах ПЭС, таких как срывы слежения и выбросы, требуется проведение предварительной обработки данных. С этой целью сначала вычисляется линейная комбинация  $I$  полученного ПЭС по групповым и фазовым измерениям:

$$I = \beta \cdot (I_{\text{pi}} - I_{\text{phi}}) \quad (3.2)$$

Проверяется предварительно заданное условие 7, на рис. 1:

$$|I_{i+1} - \langle I \rangle_i| < 4\sigma_i \quad (3.3)$$

где  $\langle I \rangle_i$  – усреднение значений ряда до  $i$  – го значения комбинации ПЭС,  $\sigma_i$  – текущее отклонение для ряда, рассчитывается как:

$$\sigma_i^2 = \sigma_{i-1}^2 - \tau \cdot \{(I_{i+1} - \langle I \rangle_i)^2 - \sigma_{i-1}^2\} \quad (3.4)$$

Величина равна  $\tau = 1/i$ . Отклонение  $i$  – й величины комбинации ПЭС от текущего среднего этой величины не должно выходить за доверительный интервал, определяемый условием 4 на рис. 1.

В случае невыполнения данного условия, проверяются последующие пара значений  $i+2$  и  $i+3$  в случае выполнения условий для одного из них, то его значение считается выбросом с последующей заменой на среднееарифметическое значение ближайших членов ряда (рис. 1):

$$I_{i+1} = (I_i + I_{i+2}) \cdot 0.5 \quad (3.5)$$

Фиксация срыва происходит, если два следующих отклонения ПЭС от среднего выходят за доверительный интервал, но при этом разности между  $I_i$ ,  $I_{i+1}$  и  $I_{i+2}$  лежат в доверительном интервале. Осуществление «сшивки» ряда производится с учетом непрерывности производной и для этого всем полученным значениям начиная с прибавляется величина:

$$dI_i = (I_i - I_{i+1}) + 0.5 \left( \frac{I_i - I_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} + \frac{I_{i+2} - I_{i+1}}{t_{i+2} - t_{i+1}} \right) dt \quad (3.6)$$

$$I_{i+1} = I_{i+1} + dI_i \quad (3.7)$$

Для записи и хранения рассчитанных данных и рядов используется двоичная запись в файл с расширением .mat. Считывание данных происходит путем обращения к структуре этого файла. По мере выполнения кода программа работает с рядами данных и записывает рассчитанные ряды ПЭС.

Полученные ряды ПЭС подвергаются быстрому преобразованию Фурье в скользящем окне с заданными параметрами (10). Далее суммируются парциальные спектры мощности [2]:

$$\lg(S^2(F)) = \lg \sum_{i=1}^N S_i^2(F) \quad (3.8)$$

Прямой участок спектра мощности описывается линейным уравнением:

$$\lg(S^2(F(n; N))) = k \cdot \lg(F(n; N)) + b \quad (3.9)$$

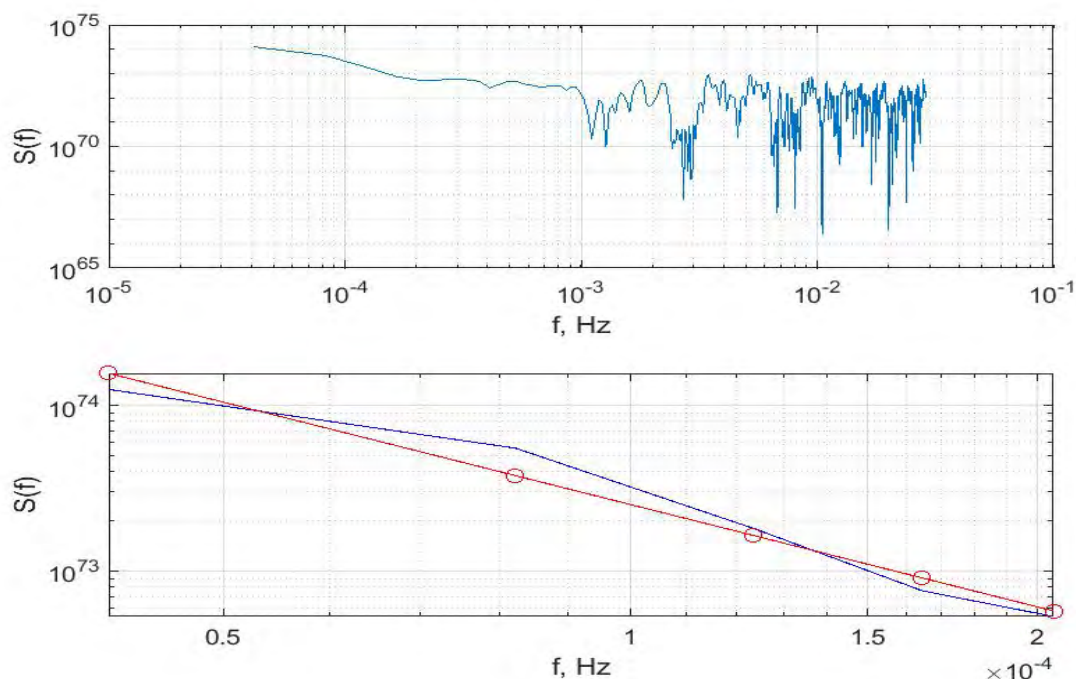


Рисунок 2 – Аппроксимация спектра мощности

Для аппроксимации данного уравнения применяется метод наименьших квадратов. С этой целью на спектре мощности выбирается участок, соответствующий прямой с фиксированным количеством точек от  $n$  до  $N$  и аппроксимируется как линейная функция. Интерес как раз и представляет угол наклона  $k$  аппроксимирующей линии. Для этого в каждом скользящем окне строится спектр мощности и аппроксимируется прямой участок (рис. 2). Наклон прямой изменяется с ростом амплитуды ПЭС, так как спектр мощности сигнала сохраняет информацию только об амплитудах спектральных составляющих [4].



Рисунок 3 – Изменение спектра мощности во время магнитной бури 31.08.19

На рис. 3 приведен пример изменения наклона спектра мощности в результате воздействия средней магнитной бури класса G2 (умеренная) проходившей с 31.08.19 по 02.09.19. Для наблюдения изменения ПЭС были обработаны данные со станции GPS POL2, которая входит в состав сети IGS (географические координаты станции ***N 74°41'39.37; E 42°40'47.17***). С ее помощью были получены экспериментальные результаты для рассчитанных рядов вертикального ПЭС.

### **Заключение**

В работе предложен метод получения количественных оценок изменения ПЭС во время ионосферных возмущений. Данный метод позволяет производить наблюдения за изменением ПЭС с предварительно заданными параметрами скользящего окна и интервалом для аппроксимации. Применение Фурье – анализа дает возможность получить наиболее полную картину изменения полного электронного содержания в результате воздействия магнитных бурь и изменения геомагнитного поля вызванного как сильными землетрясениями, так и техногенными катастрофами.

### **Литература**

1. Иванов В.А., Желонкин А.Ю., Рябова Н.В., Зуев А.В. Влияние геомагнитных возмущений на полное электронное содержание ионосферы // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Радиотехнические и инфокоммуникационные системы. 2011. № 11. С. 24-30.
2. Афраймович Э.Л. GPS – мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. 2006. 480 с.
3. Мыльникова А.А., Ясюкевич Ю.В., Демьянов В.В. Определение абсолютного вертикального полного электронного содержания в ионосфере по данным ГЛОНАСС/GPS // Солнечно-земная физика. 2013. № 24. С. 70–77.
4. Рязанцева М.О., Будаев В.П., Рахманова Л.С., Бородкова Н.Л., Застенкер Г.Н., Ермолаев Ю.И., Шафранкова Я., Немечек З., Прех Л., Питна А. Перемежаемость плотности солнечного ветра вблизи межпланетной ударной волны // Геомагнетизм и аэрономия. 2017. Т. 57. № 6. С. 696–705.

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО И ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Малосиева М.Т.

*malosieva.rita@mail.ru*

Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек,  
Кыргызская Республика

*В данной статье приведены результаты исследования геофизических полей территории Иссык-Кульской области. Составлены и проанализированы карты аномальных магнитного ( $\Delta T$ ) и гравитационного ( $\Delta g$ ) полей в масштабе 1:1 000 000. Нанесены основные разломы и выявлены главные аномалии. При анализе распределения магнитного поля в статье показано, что его характерные особенности тесно связаны с территориальным положением нанесенных на карту разломов. Это разделяет исследуемую территорию на три аномальные зоны: Южную, Центральную и Северную. Описаны отличительные особенности этих зон. Указывается, что если магнитное поле Центральной аномальной зоны носит сложный характер мозаичного типа, то Южная и Северная зоны отличаются спокойным полем слабой интенсивности отрицательного знака. Кроме того, в Центральной зоне выделена полоса магнитной депрессии, представленная магнитным полем слабой интенсивности. Анализ распределения гравитационного поля показывает, что в целом территория Иссык-Кульской области находится в глубоком гравитационном минимуме. Интенсивность гравитационного поля последовательно уменьшается с севера на юг от “-” 200 мГал до “-” 340 мГал. В статье подчеркивается, что изоаномалы гравитационного поля в основном параллельны друг другу и вытянуты в северо-восточном направлении аналогично разломам, подтверждая их взаимозависимый характер.*

*Ключевые слова: геофизика, аномальное магнитное поле, аномальное гравитационное поле, разломы, аномалии.*

Карты геофизических полей в большинстве случаев хорошо отражают зоны разломов, относительные поднятия, погружения крупных блоков и т.д. Задачей данного исследования стало картирование по магнитному и гравитационному полям территориального расположения разломов и разрывных нарушений Иссык-Кульской области.

На рисунке 1 представлен фрагмент схематической карты аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )а 1:1 000 000 масштаба [1] для Иссык-Кульской области, из которой видно, что в целом поле характеризуется слабым знакопеременным магнитным полем от “-“ 0.5 мэ до “+” 1.0 мэ, на фоне которого четко выделяются как положительные аномалии интенсивностью от “+” 2.5 мэ до “+” 7.0 мэ, так и отрицательные аномалии “-“ 0.25 мэ до “-“ 6.0 мэ.

По характеру изменения магнитного поля ( $\Delta T$ )а, его интенсивности, морфологии и простираения изодинам, на территории Иссык-Кульской области четко выделяются три аномальные зоны: Южная, Центральная и Северная. Границы аномальных зон ( $\Delta T$ )а совпадают с крупными региональными глубинными разломами. Так, Центральная аномальная зона ( $\Delta T$ )а протягивается широкой до ~ 60 км полосой через всю территорию Иссык-Кульской области с запада на восток длиной до ~ 240 км. Она ограничивается Предтерскейским разломом (5) с севера и Атбаши-Иньльчекским разломом (2) с юга. В средней части зоны располагаются еще два региональных глубинных разлома: Центрально-Терскейский (4) и «Линия Николаева» (3). Аномальное поле ( $\Delta T$ )а Центральной зоны в целом носит мозаичный характер, где на фоне слабо варьирующего магнитного поля обоих знаков интенсивностью от “-“ 1.0 мэ до “+” 1.0 мэ, проявляются целые цепочки вытянутых вдоль основных разломов магнитных аномалий как положительных, так и отрицательных



знаков интенсивностью от “±” 2.0 мЭ до “±” 5.0 мЭ. Отметим, что форма аномалий либо изометрическая диаметром до ~ 3-5 км, либо линейно вытянутая по простиранию на ~ 5-25 км. Разрыв цепочек наблюдается только в районе Барскоонской магнитной депрессии, характеризующейся спокойным, слабым магнитным полем обоих знаков интенсивностью до “±” 1.0 мЭ. Полоса магнитной депрессии имеет ширину ~ 50 км и разделяет Центральную зону аномального магнитного поля на западную и восточную части, отличающиеся от поля депрессии сложным характером магнитного поля.

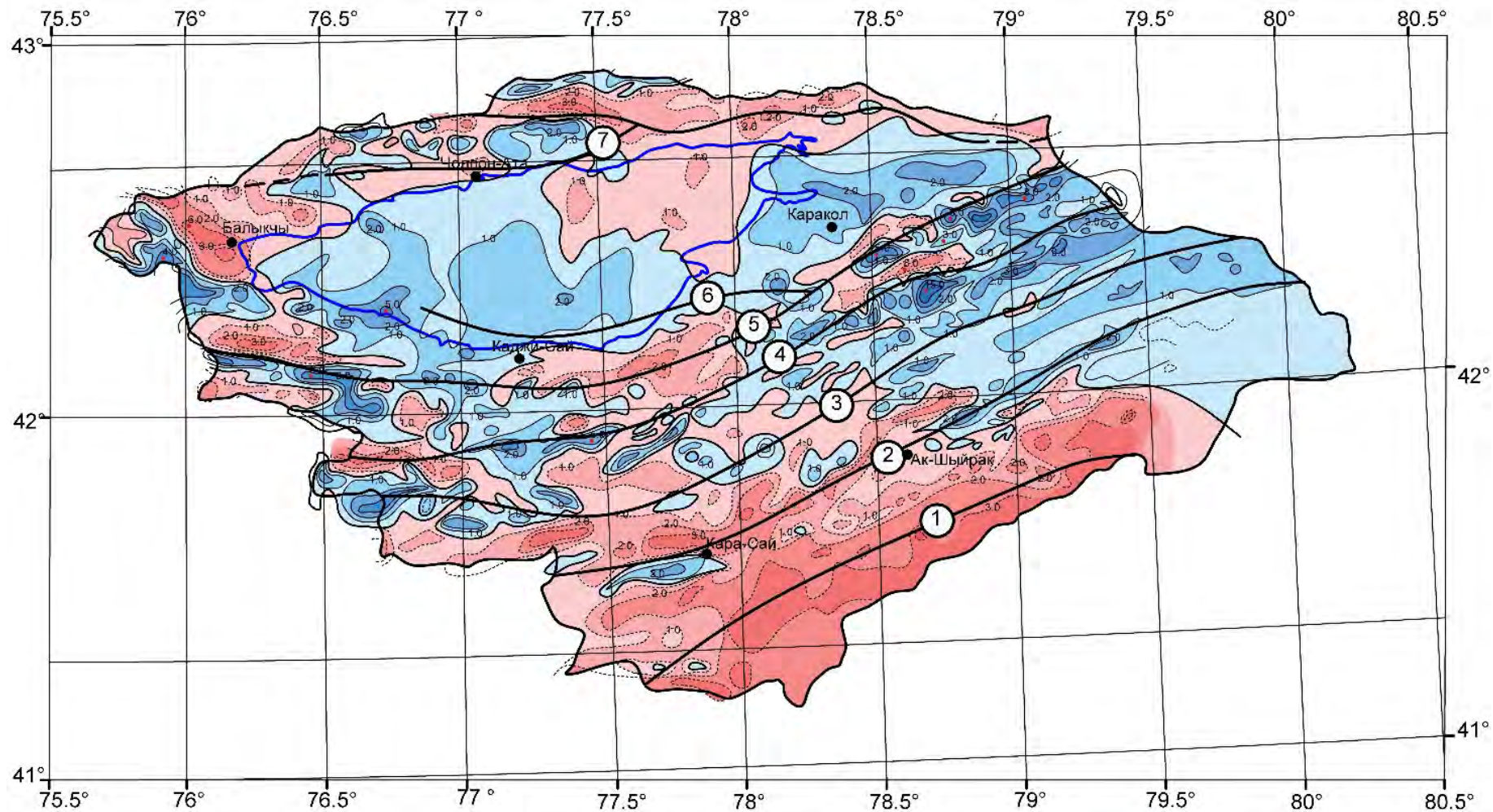
По характеру изменения магнитного поля ( $\Delta T$ ), его интенсивности, морфологии и простирания изодинам, на территории Иссык-Кульской области четко выделяются три аномальные зоны: Южная, Центральная и Северная. Границы аномальных зон ( $\Delta T$ ) совпадают с крупными региональными глубинными разломами. Так, Центральная аномальная зона ( $\Delta T$ ) протягивается широкой до ~ 60 км полосой через всю территорию Иссык-Кульской области с запада на восток длиной до ~ 240 км. Она ограничивается Предтерсейским разломом (5) с севера и Атбаши-Иныльчекским разломом (2) с юга. В средней части зоны располагаются еще два региональных глубинных разлома: Центрально-Терсейский (4) и «Линия Николаева» (3). Аномальное поле ( $\Delta T$ ) Центральной зоны в целом носит мозаичный характер, где на фоне слабо варьирующего магнитного поля обоих знаков интенсивностью от “-“ 1.0 мЭ до “+” 1.0 мЭ, проявляются целые цепочки вытянутых вдоль основных разломов магнитных аномалий как положительных, так и отрицательных знаков интенсивностью от “±” 2.0 мЭ до “±” 5.0 мЭ. Отметим, что форма аномалий либо изометрическая диаметром до ~ 3-5 км, либо линейно вытянутая по простиранию на ~ 5-25 км. Разрыв цепочек наблюдается только в районе Барскоонской магнитной депрессии, характеризующейся спокойным, слабым магнитным полем обоих знаков интенсивностью до “±” 1.0 мЭ. Полоса магнитной депрессии имеет ширину ~ 50 км и разделяет Центральную зону аномального магнитного поля на западную и восточную части, отличающиеся от поля депрессии сложным характером магнитного поля.

К югу от Атбаши-Иныльчекского разлома (2) вплоть до государственной границы размещается Южная магнитная аномальная зона. Аномальное магнитное поле Южной зоны отрицательное интенсивностью от “-“ 1.0 мЭ до “-“ 3.0 мЭ. В целом оно однородное, поэтому расположенный здесь Северо-Кокшаальский разлом (8), не имеет каких-либо отличительных особенностей в характере аномального магнитного поля.

К северу от Предтерсейского разлома (5) до северной границы Иссык-Кульской области расположена Северная аномальная магнитная зона. Отметим, что более половины ее территории (рисунок 1) занимает акватория озера Иссык-Куль.

Из рисунка 1 видно, что на большей части северной аномальной магнитной зоны зафиксировано слабое магнитное поле от “-“ 1.0 мЭ до “+” 1.5 мЭ, которое не отражает детали его распределения. Оно приходится в основном на акваторию озера Иссык-Куль.

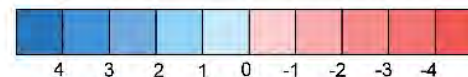
Для сопоставительного анализа была составлена карта аномального гравитационного поля ( $\Delta g$ ) в редукции Буге Иссык-Кульской впадины и ее горного обрамления в масштабе 1:1 000 000 по данным наземной [2] и космической [3] съемок. Отметим, что карта гравитационного поля ( $\Delta g$ ), приведенная на рисунке 2, такого мелкого масштаба в редукции Буге отражает только наиболее общие черты глубинного строения земной коры и верхней мантии и, в основном, характеризует рельеф поверхности Мохо.



- 1-3. Изодинамы поля ( $\Delta T$ ) в мТэ:
- 1. Положительные
  - 2. Отрицательные
  - 3. Нулевые
  - 4. Точки экстремумов ( $\Delta T$ )а
  - 5. Населенный пункт

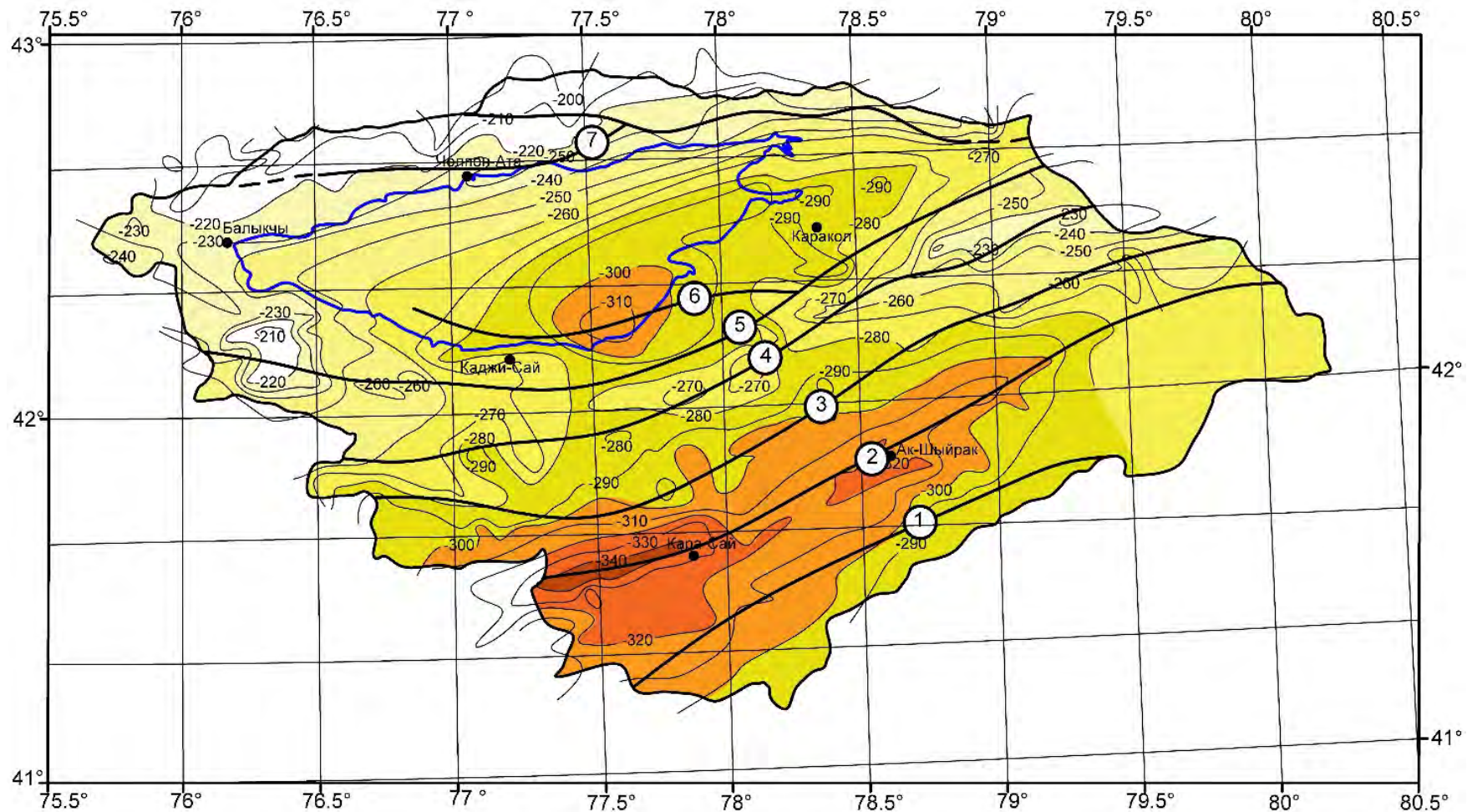
6. — Линии региональных разломов
7. ① Разломы: (1) - Северо-Кокшаальский  
 (2) - Атбашы-Иныльчекский  
 (3) - Линия Николаева  
 (4) - Центрально-Терскөйский  
 (5) - Предтерскөйский

Шкала интенсивности магнитного поля ( $\Delta T$ )а



- (6) - Южно-Исыккульский  
 (7) - Предкунгейский

Рисунок 1 – Карта аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )а территории Исык-Кульской области в масштабе 1:1000 000 [1]



- 1. Изоаномалы поля ( $\Delta g$ ) в мГал
- 2. Линии региональных разломов
- 3. Населенный пункт

- 4. Разломы: (1) - Северо-Кокшаальский  
 (2) - Атбашы-Иныльчекский  
 (3) - Линия Николаева  
 (4) - Центрально-Терскейский  
 (5) - Предтерскейский  
 (6) - Южно-Иссыккульский  
 (7) - Предкунгейский

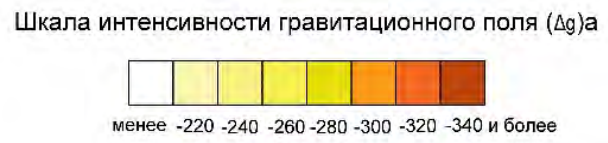


Рисунок 2 – Карта аномального гравитационного поля ( $\Delta g$ ) в редукции Буге территории Иссык-Кульской области в масштабе 1:1000 000 [3]

Исходя из анализа распределения аномальных магнитного и гравитационного полей можно сделать следующие выводы:

1. Аномальное магнитное поле ( $\Delta T$ )а Иссык-Кульской области хотя и имеет слабую интенсивность, но носит сложный характер. Отмечаются как цепочки аномалий обоих знаков, так и многочисленные изолированные аномалии положительного знака изометрической формы, имеющие незначительные размеры. Кроме того, наблюдаются обширные зоны, представленные магнитным полем отрицательного знака. Положительные магнитные аномалии связаны с внедрением тел, состоящих из пород с повышенным содержанием магнитных минералов, а отрицательные магнитные аномалии обусловлены наличием мезозойско-кайнозойского комплекса практически немагнитных осадочных горных пород мощностью до 6 км.

2. Аномальное гравитационное поле ( $\Delta g$ )а в редукции Буге для Иссык-Кульской области в целом характеризуется спокойным полем, изоаномалы которого линейно-вытянуты в северо-восточном направлении и параллельны друг другу с номиналами от “-” 200 мГал до “-” 340 мГал. Отмеченные изолированные аномалии гравитационного поля отражают региональные разломы, подтверждая их глубинность.

3. Неоднородность среды и наличие значительного числа региональных глубинных разломов и многочисленных разрывных нарушений позволяют отнести Иссык-Кульскую область к зоне повышенной сейсмической опасности.

#### Литература

1. Схематическая карта аномального магнитного поля ( $\Delta T$ )а 1:1 000 000 масштаба (листы К-43, К-44). Управление геологии Киргизской ССР. Фрунзе. 1987.
2. Лобанченко А.Н., Маринченко Г.Г. и др. Комплексные геофизические исследования сейсмоопасных районов (территория формируемого Иссыккульско-Чуйского территориально-производственного комплекса). Отчет. Фонды КГФЭ «Гера», г. Шопоков, Кыргызская Республика. 1988.
3. Farah A., S.H.A. Shah Tectonic scheme of Central Asia and Bourger gravity anomalies // Boll. Geor. Appl., vol. XXV, p. 99-100.

## РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ В НИЖНЕ-СРЕДНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ УСТЮРТСКОГО РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ КУАНЫШ-КОСКАЛИНСКОГО И БЕРДАХСКОГО ВАЛОВ И СУДОЧЬЕГО ПРОГИБА

Мамиров Ж.Р., Холмуродов И.З., Маткаримов Э.Т.  
*isroil.kholmurodov@mail.ru*

Институт геологии и разработки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*Потребность в нефтегазовом сырье с каждым годом увеличивается во всём мире. И, чтобы покрывать эту потребность, от геологов и геофизиков требуется своевременный опережающий прирост запасов углеводородного сырья. Для этого необходимо находить и изучать новые месторождения. Устюртский регион считается малоизученным по сравнению с другими регионами. В нашей статье мы изучили изменения толщин юрских отложений и ниже-среднеюрских продуктивных горизонтов, и сделали несколько анализов и выводов.*

*Ключевые слова: Устюртский регион, Куаныш-Коскалинский вал, Бердахский вал, Судочий прогиб, изменения толщин, углеводороды.*

Нефтегазовая отрасль является неотъемлемой частью экономики Республики Узбекистан. До сегодняшнего дня в основном геологоразведочные работы по поиску месторождений углеводородов (УВ) проводились в Бухаро-Хивинском, Ферганском, Сурхандарьинском, Юго-Западно-Гиссарском и Устюртском регионах. Юго-восточная часть плато Устюрт по сравнению с другими нефтегазовыми регионами Республики является самым малоизученным нефтегазоперспективным регионом. В настоящее время большая часть газоконденсатных месторождений Устюртского региона открыта в Куаныш-Коскалинском и Бердахском валах, а также Судочьем прогибе (Рис.1) [1].

На исследуемой территории отложения ниже-среднеюрского возраста вскрыты всеми пробуренными поисково-разведочными скважинами и выявленные залежи углеводородов относятся в основном к тем же отложениям.

Юрские отложения представлены, в основном, континентальными терригенными образованиями и в каждом тектоническом элементе имеют свои геологические свойства (Рис. 2).

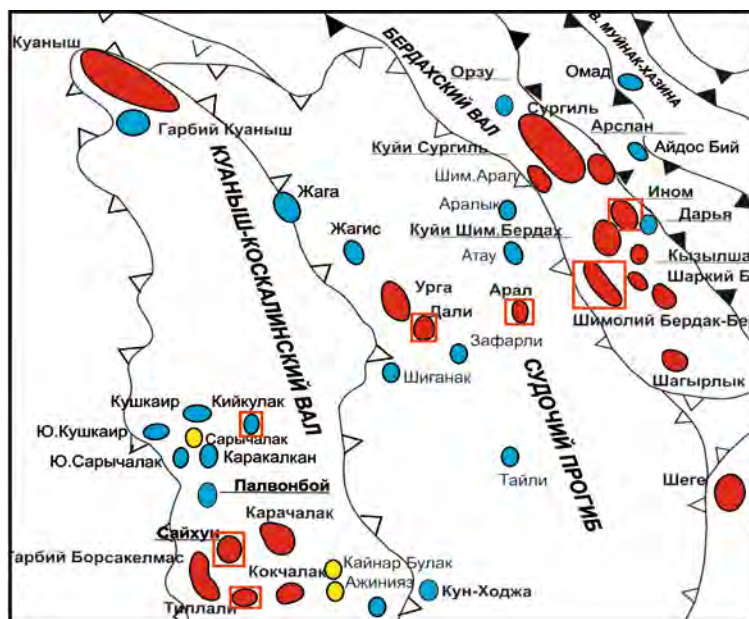
Отложения нижней юры представлены пористыми песчаниками, аргиллитами и плотными алевролитами. Мощность отложений нижней юры изменяется в среднем от 135 м (скв. №1 Сайхун, Куаныш-Коскалинский вал) до 900 м (скв. №2 Инам, Бердахский вал).

Среднеюрские отложения залегают согласно на подстилающих нижеюрских образованиях и представлены переслаиванием глин, песчаников, алевролитов и аргиллитов. Мощность среднеюрских отложений изменяется от 660 м (скв. №1 Тиллали, Куаныш-Коскалинский вал) до 1200 м (скв. №1 Сев. Бердак) [2].

На каждом структурном элементе количество и параметры залежей УВ различаются. В ниже-среднеюрских отложениях Бердахского вала выявлено 10 залежей УВ ( $J_2^6$ ,  $J_2^7$ ,  $J_2^{12}$ ,  $J_2^{2a}$ ,  $J_2^{15a}$ ,  $J_2^{16}$ ,  $J_2^{18}$ ,  $J_1^5$ ,  $J_1^8$ ). Мощность коллекторов достигает 20-22 м.

В ниже-среднеюрских отложениях Куаныш-Коскалинского вала выявлено 9 залежей УВ ( $A_{11}$ ,  $A_1$ ,  $A_{1a}$ ,  $A_2$ ,  $A_3$ ,  $A_4$ ,  $Kч_1$ ,  $Kч_3$ ,  $Кн_2$ ). Мощность коллекторов достигает 16-18 м.

В ниже-среднеюрских отложениях Судочьего прогиба выявлено 3 залежи УВ ( $J_2^6$ ,  $J_2^7$ ,  $J_2^8$ ). Мощность коллекторов достигает 8-10м.

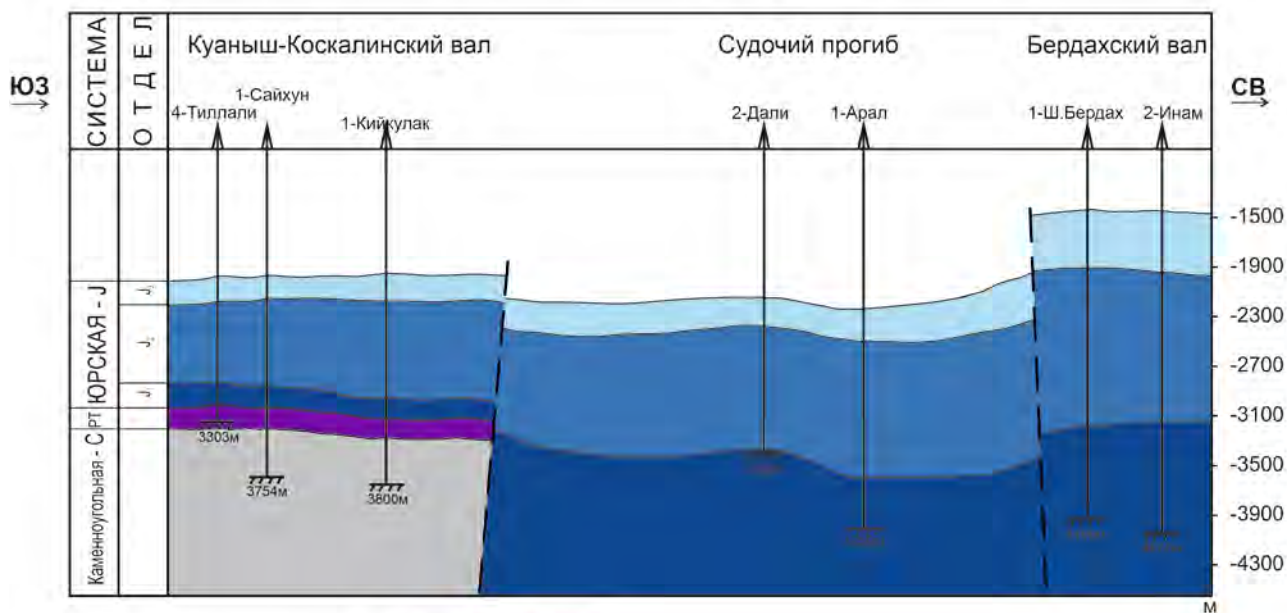


Условные обозначения



Рисунок 1 – Обзорная карта исследуемого района

Масштаб: верт.-1:40000  
гор.-1: 400000



Условные обозначения:

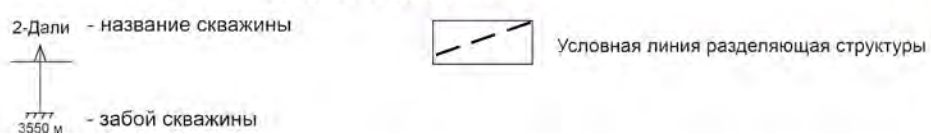


Рисунок 2 – Изменения толщин юрских отложений исследуемого района

Учитывая большую мощность и высокие фильтрационно-емкостные свойства (Кп, Кнг и т.д.) юрских отложений, Бердахский вал можно оценить, как самый нефтегазоперспективный структурный элемент на исследуемой территории.

В Куаныш-Коскалинском вале юрские отложения, по сравнению с Бердахским валом, имеют меньшую мощность и расположены ниже. Кроме того, средняя пористость и насыщенность пород коллекторов меньше, чем у Бердахского вала. Учитывая вышесказанное, можно прийти к выводу, что Куаныш-Коскалинский вал является средне-перспективным структурным элементом в исследуемой территории.

В Судочьем прогибе перспективность ниже-среднеюрских отложений доказана в месторождениях Урга, Дали и Арал. Учитывая погруженность территории и низкие значения расчётных параметров (Кп, Кнг и т.д.), перспективность прогиба можно считать меньшей относительно других территорий (Рис. 3).

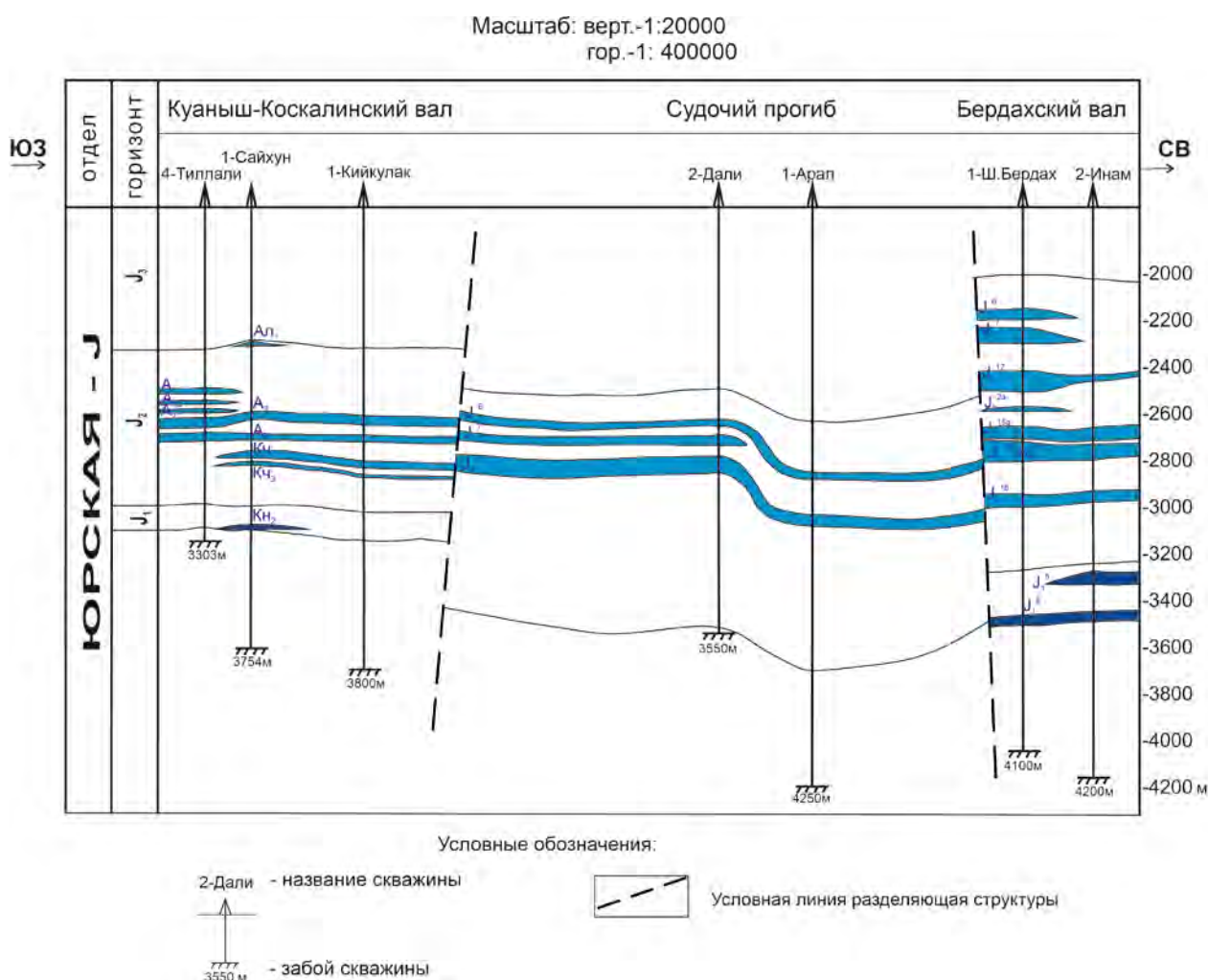


Рисунок 3 – Изменения толщин ниже-среднеюрских продуктивных горизонтов исследуемого района

Эту закономерность можно наблюдать и в полученных дебитах газа при бурении поисково-разведочных скважин.

Самым большим дебитом скважин в рассматриваемом регионе является дебит Бердахского вала, он колеблется от 500 м<sup>3</sup>/сут до 1000 м<sup>3</sup>/сут. Следующим по дебиту считается Куаныш-Коскалинский вал, он варьирует от 200 м<sup>3</sup>/сут до 500 м<sup>3</sup>/сут, а наименьшим дебит скважин считается у Судочьего прогиба и он составляет от 50 до 200 м<sup>3</sup>/сут [3,4].

## Литература

1. Новый взгляд на перспективы нефтегазоносности Восточного Устюрта / Гаффаров Н.А. и др.; ЗАО «Газпром Зарубежнефтегаз». М.: Недра. 2010. 261 с. (Научно-техническая библиотека).
2. Мамиров Ж.Р., Холмуродов И.З., Маткаримов Э.Т. Отчет «Определение подсчетных параметров коллекторов по результатам интерпретации данных ГИС с применением функциональных преобразований программного комплекса АСО «INGEF-W» на объектах прироста запасов УВ в 2018 году Республики Узбекистан», АО «ИГИРНИГМ. Ташкент. 2018.
3. Абидов А.А., Киршин А.В. Отчет «Геолого-геофизическое обоснование перспектив газонефтедобычи в районе Куаныш-Коскалинского вала - Судочьего прогиба (Устюртский регион, Республика Узбекистан)», АО «ИГИРНИГМ», ЗАО «Газпром Зарубежнефтегаз». Ташкент. 2004.
4. Опорные и параметрические скважины Устюрта / А.М. Акрамходжаев, Ж.Ю. Юлдашев, Х.Х. Авазходжаев и др. Ташкент: ФАН. 1981. 128 с.



## ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ПРОФИЛЮ «СОН-КУЛЬ»

Матюков В.Е.  
vitaliy@gdirc.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе представлены результаты обработки магнитотеллурических и магнитовариационных данных, полученных в 2019 году на одном из ключевых объектов исследования Тянь-Шаня – профиле Сон-Куль. Выполнен качественный и количественный анализ результатов полевых наблюдений, в том числе морфологический анализ кривых кажущихся сопротивлений и фаз импеданса, а также анализ поведения векторов Визе для локализации зон проводящих неоднородностей с достаточной надежностью во всем диапазоне исследуемых глубин. На основе одномерной и двумерной инверсии компонент тензора импеданса и векторов Визе построена предварительная глубинная геоэлектрическая модель вдоль исследуемого профиля. Проведен сравнительный анализ геологических и электромагнитных данных на исследуемой территории. Выявлены зоны соответствия проводящих аномалий геоэлектрического разреза и разломных зон, полученных по априорной геолого-геофизической информации.*

*Ключевые слова: магнитотеллурические данные, разломная зона, кажущееся сопротивление, тензор импеданса, вектор Визе, геоэлектрическая модель.*

В 2019 году на территории Сон-Кульской впадины Научной станцией РАН в г. Бишкеке были выполнены работы методом магнитотеллурического зондирования вдоль профиля по меридиану  $75^\circ$ , заложенного вкрест простирания основных тектонических структур Тянь-Шаня (рис.1). Экспериментальные исследования необходимые для построения глубинной детальной геоэлектрической модели были выполнены в период с 15.08.2019 по 18.09.2019 гг., с использованием современных методик и аппаратуры Феникс.

После проведения полевых магнитотеллурических исследований на профиле «Сон-Куль» была выполнена углубленная обработка этих материалов для морфологического анализа кривых кажущихся сопротивлений и фаз импеданса, а также анализ поведения векторов Визе для выявления направления простирания основных геоэлектрических структур в исследуемом регионе для дальнейшего построения двумерной геоэлектрической модели. Методика обработки и анализа более подробно описана в работах [1, 2]

Полученные в результате обработки кривые кажущегося сопротивления и фаз импеданса (пример таких кривых для профиля «Сон-Куль» представлен на рис. 2) подвержены сильному влиянию локальных приповерхностных неоднородностей, так как зондирования выполнялись в сложных в сложных горно-геологических условиях Тянь-Шаня, что отчетливо можно заметить в поведении кривых. Главные направления тензора импеданса ориентируются по простиранию и вкрест простирания основных тектонических структур в регионе, поэтому кривые, ориентированные вдоль структур, рассматриваются нами как продольные (сплошные линии на рис. 2), а ориентированные поперек – поперечные (пунктирные линии на рис. 2).

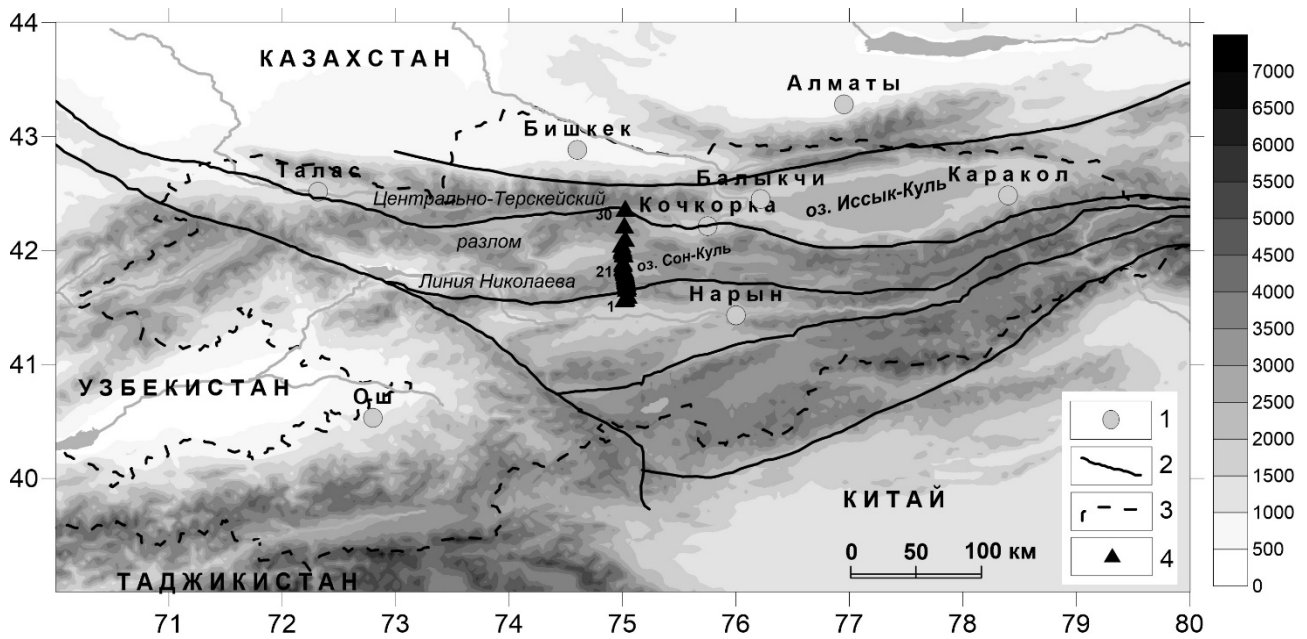


Рисунок 1 – Карта-схема расположения магнитотеллурического (МТ) профиля «Сон-Куль», секущего в меридиональном направлении поднятие Молдо-Тоо, Линию Николаева и Центрально-Терскайский разлом. 1 – основные населенные пункты; 2 – региональные разломы; 3 – граница Киргизстана; 4 – пункты магнитотеллурических зондирований

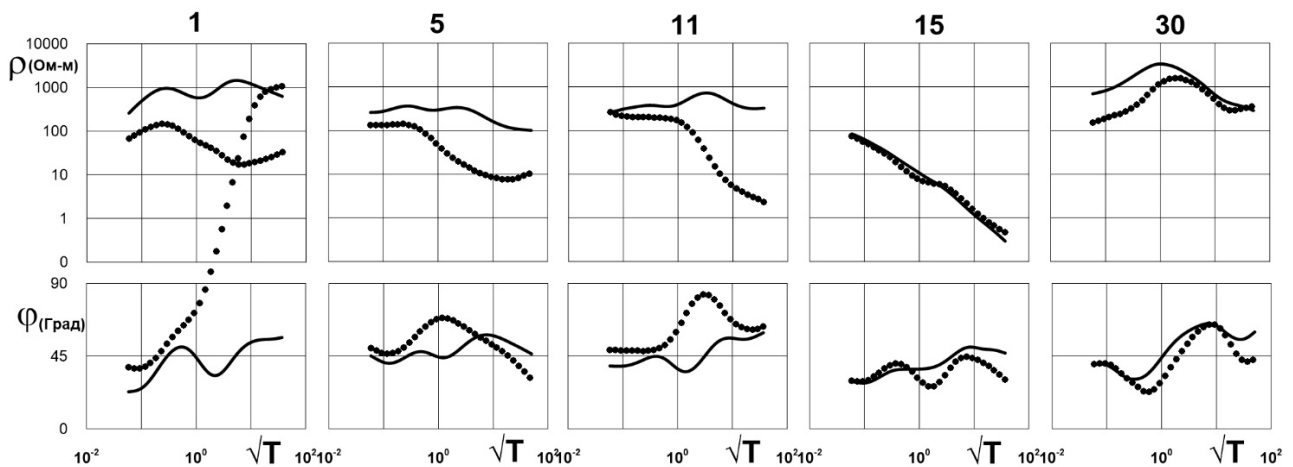


Рисунок 2 – Пример построения амплитудных кривых кажущегося сопротивления  $\rho_k(\sqrt{T})$  и фазы импеданса  $\varphi(\sqrt{T})$  для нескольких пунктов наблюдений по профилю «Сон-Куль»

Схожесть в поведении продольных и поперечных кривых наблюдается в южной части профиля (рис.1, пункты 1-10, кроме пунктов 2 и 3), которая соответствует предгорной зоне Сонкульской впадины. Они характеризуются нисходящими ветвями, с некоторыми локальными минимумами и максимумами, в основном схожей формы на обеих кривых. Для пунктов 1 и 5-7 можно выделить локальные приповерхностные неоднородности, особенно четко для пункта 7, за счет чего продольная кривая была смещена на 2 декады вверх. Фазовые кривые имеют незначительное расхождение, что соответствует погрешности их определения, за исключением пунктов 1 и 2 (здесь нужно проводить дополнительные исследования, т.к. возможно здесь влияние трехмерных искажений). Такое поведение свидетельствует о том, в искажениях кривых, вызванных локальными приповерхностными неоднородностями, преобладают гальванические эффекты. Для удаления таких искажений в

кривых магнитотеллурического зондирования нами используется способ конформного осреднения [3].

При приближении к центральной части Сонкульской впадины, что соответствует северной части профиля (пункты 11-13), происходит нарушение конформности кривых и на пунктах зондирования, начиная с 8 точки, наблюдаются крутые нисходящие ветви поперечных кривых, а изменение продольных кривых проходит более плавно. Приближение кривых магнитотеллурического зондирования для пунктов зондирования 14-18 друг к другу можно объяснить резким увеличением интегральной проводимости всего разреза.

На всех продольных кривых профиля в той или иной мере выделяется минимум на периодах порядка 100 с, соответствующий мощному проводнику. В целом поведение поперечных кривых кажущегося сопротивления по профилю можно назвать аномальным.

Для получения компонент тензора импеданса необходимо измерить четыре компоненты электромагнитного поля –  $E_x$ ,  $E_y$ ,  $H_x$ ,  $H_y$ . Для дополнения магнитотеллурических данных на пунктах наблюдения выполняется регистрация магнитовариационных данных для получения вариаций вертикальной компоненты магнитного поля и построения векторов Визе. Вектора Визе можно определить из соотношения трех компонент геомагнитных вариаций в точке наблюдения и охарактеризовать ими неоднородность распределения электропроводности:

$$H_z = W_{zx} H_x + W_{zy} H_y$$

Эти вектора имеют направление от проводника и перпендикулярны направлению избыточных токов в нем. Вектора Визе (также их называют индукционные стрелки или типперы) строятся по вещественным и мнимым частям компонент матрицы Визе-Паркинсона  $W$ :

$$\begin{aligned} \overline{Re W} &= Re W_{zx} \overline{I_x} + Re W_{zy} \overline{I_y}, \\ \overline{Im W} &= Im W_{zx} \overline{I_x} + Im W_{zy} \overline{I_y}. \end{aligned}$$

Вектор  $\overline{Re W}$  является вещественной или реальной составляющей вектора. Он характеризует влияние токов, которые находятся в фазе с магнитным полем. Вектор  $\overline{Im W}$  является мнимой составляющей вектора и характеризует влияние реактивных избыточных токов, то есть токов, которые отличаются от фазы горизонтального магнитного поля на  $\pi/2$ .

Вещественные вектора направлены от зон повышенной электропроводности к зонам пониженной электропроводности, что и является их отличительной особенностью. Это свойство векторов Визе позволяет локализовать геоэлектрические структуры, которые выделяются повышенной или пониженной электропроводностью. Построение карт вещественных векторов обеспечивает лучшую наглядность изображения горизонтальных изменений электропроводности.

Локализовать зоны проводящих неоднородностей с достаточной надежностью на всех глубинах можно с помощью анализа векторов Визе-Паркинсона. На рисунке 3 изображены вещественные вектора Визе для профиля «Сон-Куль» для периодов 1 с, 10 с и 100 с.

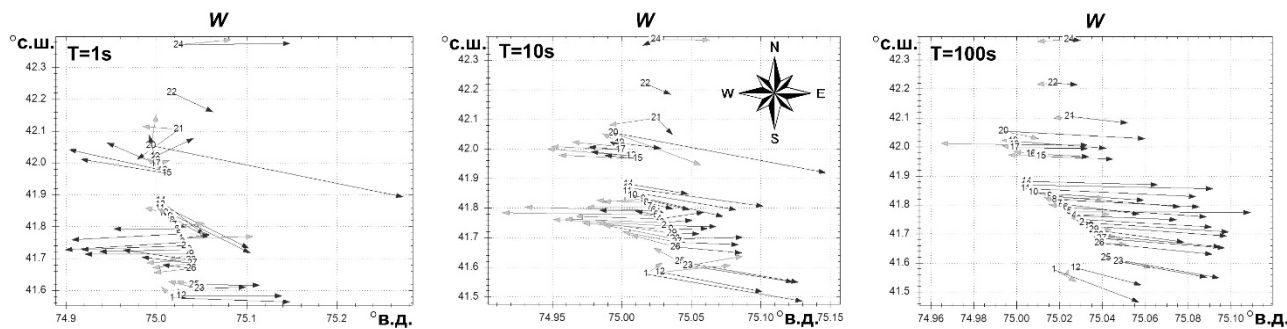


Рисунок 3 – Пример построения реальных (светлые стрелки) и мнимых (темные стрелки) векторов Визе для периодов 1, 10 и 100с вдоль МТ профиля

Индукционные стрелки над впадинами зачастую направлены хаотично на коротких периодах, что можно объяснить высоким уровнем приповерхностных геоэлектрических неоднородностей. Схожую картину можно увидеть в построенных картах векторов Визе для всех рассматриваемых периодов точек профиля Сон-Куль на периодах 1 и 10 с, для которых заметно различие размеров индукционных стрелок для южной и северной части впадины. Такое поведение векторов Визе символизирует о наличии мощной проводящей структуры не только на южном борту Сонкульской впадины – Линии Николаева, электропроводность которой гораздо выше, чем соседнего Центрально-Терскойского разлома, но и на глубинах средней-нижней коры. Размер этих индукционных стрелок говорит об очень высокой проводимости и мощности этой зоны. Индукционные стрелки во всех пунктах зондирования при увеличении периода до  $T=100$  с, которые располагаются как во впадине, так и на ее борту, синхронно направлены от проводящего тела и становятся одинаковыми по величине. Возможно, что кроме выделенных проводящих разломных структур, на периодах больше 100 с на поведение стрелок основное влияние оказывает проводящий объект с очень высокой электропроводностью, с глубиной залегания кровли порядка 10 км, и коровый проводник, расположенный на глубинах 30 - 45 км.

### Построение двумерной геоэлектрической модели по профилю «Сон-Куль»

Построение интерпретационной модели начнем с анализа псевдоразрезов амплитуд кажущегося сопротивления  $\rho$  и фазы импеданса  $\phi$  (рис.4). Анализ псевдоразрезов заключается в выделении аномалий в поведении кажущихся сопротивлений и фаз. Псевдоразрезы кажущегося сопротивления обычно показывают влияние приповерхностных неоднородностей для геоэлектрических сред. Значение сопротивлений из верхней части разреза автоматически переносится на более глубокие, маскируя влияние глубинных слоев. Совместный анализ псевдоразрезов сопротивлений и фаз импеданса необходим для более точной оценки распределения сопротивлений в геоэлектрическом разрезе. Приповерхностные неоднородности практически не оказывают влияние на фазы импеданса, поэтому мы можем выделить пункты зондирования, которые наиболее подвержены эффекту статического смещения. Так, на псевдоразрезе фаз импеданса, можно отчетливо разделить пункты зондирования, выполненные в прибортовой зоне южного борта впадины – 1,2,5-7, непосредственно в самой впадине – 20-22 и в прибортовой зоне северного борта впадины 29, 30. Также можно отметить, что псевдоразрез фаз импеданса очень хорошо соотносится с морфологией кривых кажущегося сопротивления.

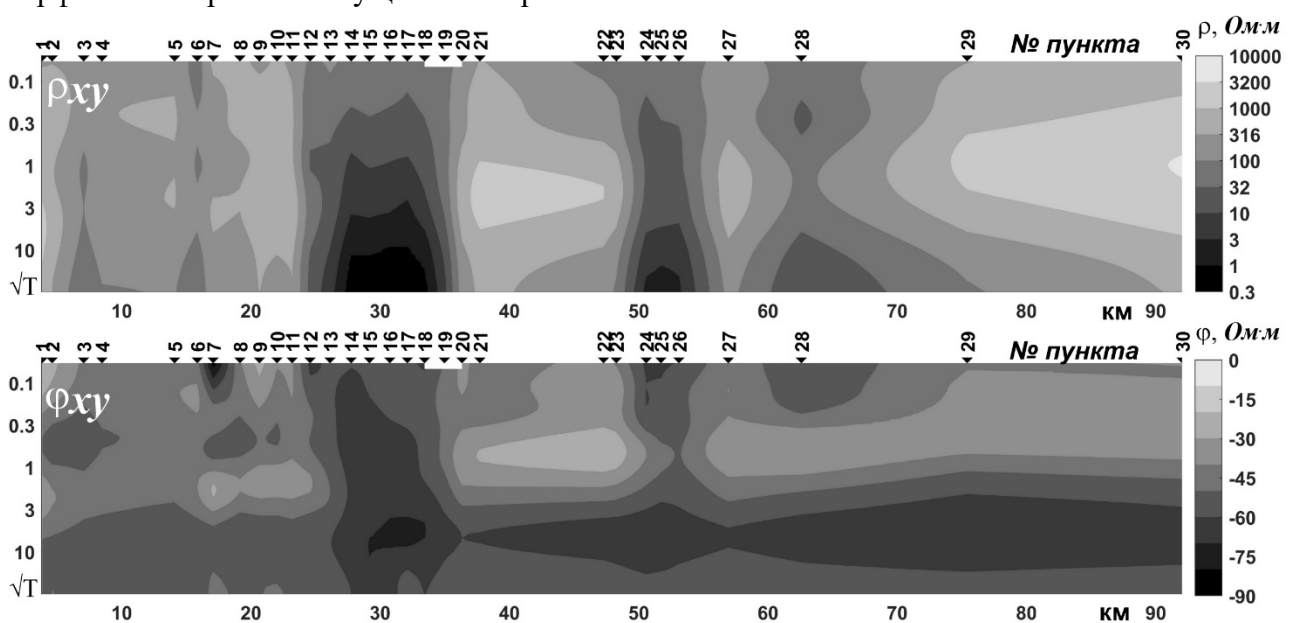


Рисунок 4 – Псевдоразрезы магнитотеллурических параметров по профилю «Сон-Куль»

Двумерная инверсия магнитотеллурических и магнитовариационных данных по профилю «Сон-Куль» (рис.5) выполнялась с помощью программы Rodi-Mackie [4], наиболее известной и распространенной в настоящее время в мировом геофизическом сообществе. Эта программа применяет метод нелинейных сопряженных градиентов, который пытается минимизировать целевую функцию, представляющую собой сумму нормализованных невязок данных и сглаженности модели. Взаимоотношение между невязками данных и сглаженностью модели контролируется параметром регуляризации  $\tau$ . Параметр  $\tau$  задается вручную пользователем. Входными данными инверсии являются продольные и поперечные кривые кажущегося сопротивления и фаз импеданса, в обозначениях этой программы TE и TM моды, и типперы по 30 пунктам наблюдения в интервале периодов от 0.01 до 1000 с. Сетка аппроксимационной модели состоит из 179 ячеек по горизонтали, разреженных по краям модели и учащенных в окрестностях точек зондирования, и из 151 ячейки по вертикали, увеличивающихся по размерам с глубиной. При построении сетки детально (с шагом по 50 м) учитывается рельеф местности. Сопротивление стартовой модели 100 Ом.м. Пределы погрешностей инвертируемых данных были установлены следующие: модуль кажущегося сопротивления (TE мода) – 100%, модуль кажущегося сопротивления (TM мода) – 10%, фаза импеданса (TE мода) – 5%, фаза импеданса (TM мода) – 5%, типпер – 0.05%. В результате нескольких тестовых расчетов инверсии было выбрано значение параметра регуляризации  $\tau = 3$ . После выполнения 200 итераций была получена модель, представленная на рис. 5. Значение RMS-невязки (сходимость инверсии) составило 2.54.

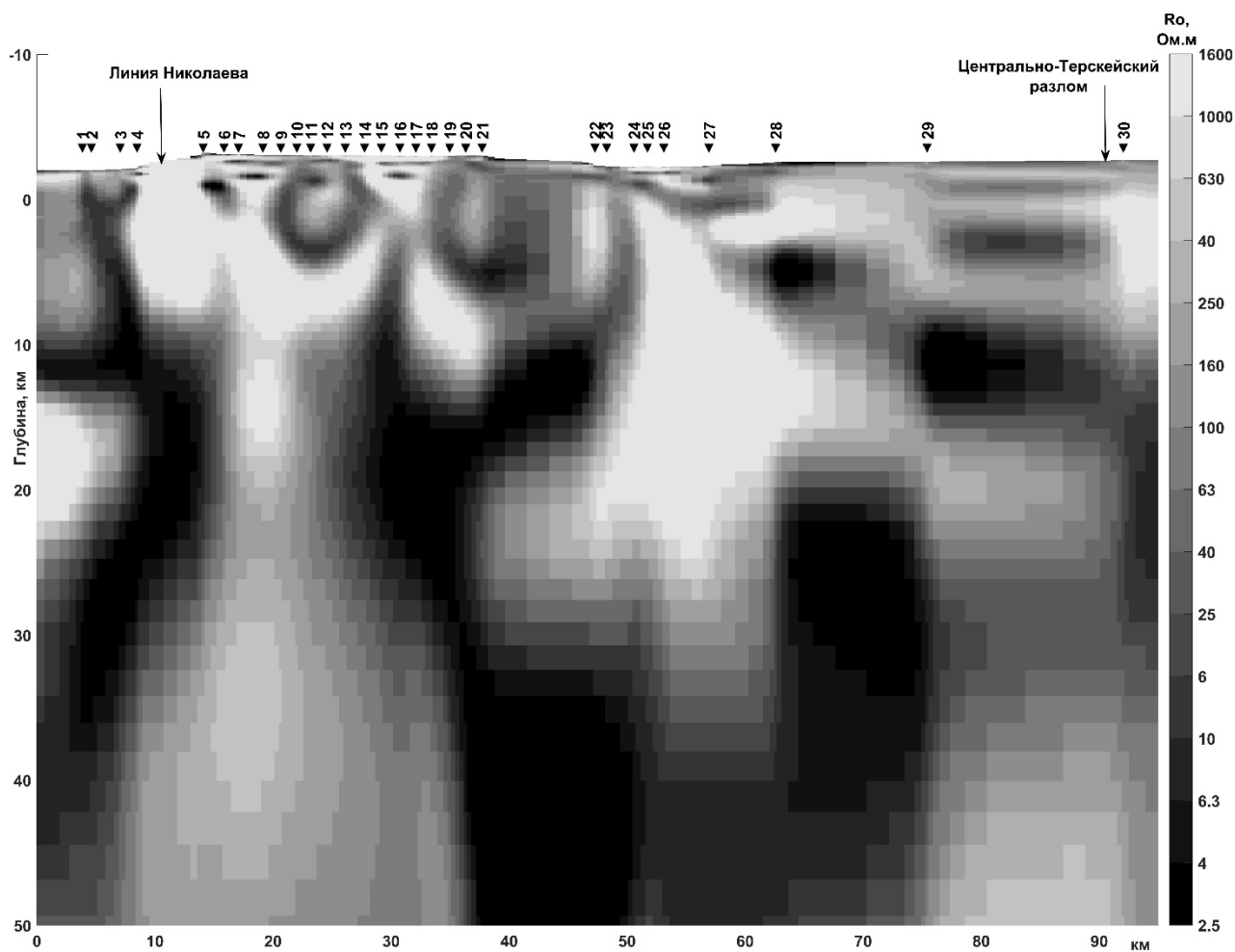


Рисунок 5 – Глубинная геоэлектрическая модель по профилю «Сон-Куль»

### **Заключение и выводы**

Отчасти, благодаря, увеличению детальности и точности данных зондирований уже на этапе качественной интерпретации и первичных количественных оценок были получены соответствующие современным тектоническим представлениям свидетельства отражения границ Иссык-Кульского микроконтинента в проводящих структурах построенной геоэлектрической модели. Разломные зоны относительно четко фиксируются на геоэлектрическом разрезе в виде субвертикальных проводящих неоднородностей с различным наклоном их боковых границ. По существующей в настоящее время концепции тектоники литосферных плит, Тянь-Шань находится в условиях горизонтального субмеридионального сжатия и погружение проводящих структур геоэлектрического разреза должно быть в северном направлении. Однако на построенном разрезе очевидно, что разломные структуры имеют различную vergentность и форму (субвертикальную и листрическую). Распределение высокоомных объектов в верхней части разреза (до глубин порядка 25 км) подтверждает существующие представления о блоковой структуре верхней части земной коры, а размеры блоков отражают степень тектонической раздробленности. Мозаичное распределение объектов повышенной электропроводности (северная часть профиля) в зоне сочленения Джумгалского хребта и Сонкульской впадины можно объяснить фрагментарным строением глубинного разлома, который представляет собой ряд отдельных кулисообразно расположенных разрывов протяженностью до 15 км. Что касается крупной проводящей структуры под южной частью профиля, то ее природу можно объяснить отражением в геоэлектрической модели разломной зоны Линии Николаева. Построенная предварительная модель имеет ряд несоответствий с априорной геолого-геофизической информацией и требует дополнительного анализа исходной информации и ее переобработки с учетом имеющихся представлений о глубинном строении ключевых объектов исследования в Тянь-Шанском регионе.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке (тема № АААА-А19-119020190063-2).*

### **Литература**

1. Рыбин А.К., Спичак В.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Площадные магнитотеллурические зондирования в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2008. Т. 49. № 5. С. 445-460.
2. Баталев В.Ю., Баталева Е.В., Матюков В.Е., Рыбин А.К. Глубинное строение западной части зоны Таласо-Ферганского разлома по результатам магнитотеллурических зондирований // Литосфера. 2013. № 4. С. 136-145.
3. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М.: Диалог-МГУ. 1997. 161 с.
4. Rodi W.L., Mackie R.L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion // Geophysics. 2001. V 66. P. 174-187.

## **ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НАМАНГАН-ТЕРГАЧИНСКОГО ИНВЕСТИЦИОННОГО БЛОКА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

Мирзаахмедов М.М., Бегматов Б.Б., Хабибуллаев С.С., Умаров Ш.А.  
ss@ing.uz, Inor@ing.uz

Институт геологии и разработки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*В работе отражены научно-практические результаты исследований по оценке перспектив нефтегазоносности Наманган-Тергачинского инвестиционного блока и возможность их практического применения при проведении геологоразведочных работ (ГРР) на территории Юго-Восточной части Ферганской долины. Для решения поставленных задач использованы материалы сейсморазведки АО «Узбекгеофизика» и иностранных компаний, которые проводили ГРР на территории Наманган-Тергачинского инвестиционного блока. Следует учесть, что рассматриваемая территория Ферганского Нефтегазоносного Региона (ФНГР), приурочена к Северному борту Ферганской долины, считается труднодоступным для добычи углеводородного сырья (УВ-сырья) и малоизученным, по сравнению с Юго-Восточной частью Ферганской долины. Этим определена актуальность выполненного исследования и дана оценка нефтегазоносности Западно-Ферганского инвестиционного блока (где открыты месторождения УВ-сырья), являющейся составной частью Юго-Восточной части Ферганской долины. Используемая методика комплексного анализа материалов сейсморазведки является эффективным при проведении ГРР на нефть и газ. Совершенствование используемых методик комплексного анализа и применение современных технологических решений будет способствовать обнаружению залежей УВ-сырья, открытию новых месторождений в данном регионе.*

*Ключевые слова: нефтегазоносность, углеводородное сырье, геологоразведочные работы, месторождение, инвестиционный блок, сейсморазведка, комплексный анализ, залежь, нефть, газ.*

В настоящее время в целях обнаружения нефтяных и газовых залежей на территории Юго-Восточной части Ферганской долины Республики Узбекистан ведутся активные геологоразведочные работы (ГРР) как национальными, так и иностранными компаниями. Проведение ГРР на нефть и газ в этом регионе весьма перспективен с учётом имеющихся возможностей прироста запасов УВ-сырья. Этим определяется актуальность темы научного исследования авторов данной работы.

В настоящее время на территории Западно-Ферганского инвестиционного блока, входящего в состав Юго-Восточной части Ферганской долины ведёт свою деятельность Иностранное Предприятие ООО «Epsilon development company» (США), проводящая ГРР на территории этого инвестиционного блока.

По прогнозным запасам нефти и газа данная территория считается наиболее перспективной в Ферганской долине, так, как здесь были обнаружены первые месторождения нефти в Центральной Азии (Чимион, Шорсу) и на базе месторождений организовано строительство и запущен в производственную эксплуатацию первый нефтеперерабатывающий завод в г. Фергане (ФНПЗ).

Учитывая тот факт, что в этом регионе расположены несколько инвестиционных блоков и не затрагивая частные интересы инвестора, деятельность которого предусмотрено на территории Западно-Ферганского инвестиционного блока, в данной статье авторами научного исследования в качестве объекта избран Наманган-Тергачинский инвестиционный

блок и приведены данные по оценке её нефтегазоперспективности.

В рамках проведенного исследования был выполнен комплексный анализ материалов сейсморазведочных работ, проведенных на территории Наманганской области Республики Узбекистан. В орографическом отношении район работ представляет собой слабовсхолмленную полупустыню с развитием барханных песков.

Геолого-геофизические исследования на нефть и газ в рассматриваемом регионе работ были начаты в 50-х годах XX столетия, которые заключались в проведении государственных геологических съемок, структурном и геологическом бурении, аэромагнитных, гравиметрических, электроразведочных и сейсморазведочных работах с методом отраженных волн [1].

В результате проведенных работ предыдущими исследователями были получены общие сведения о геологическом строении месторождений Тергачи, Наманган, нефтегазосносных структур: Гаистан, Янгикент, Чек, Шаркий Чек, Абадан, Искават, Испаран и др. Установлена глубина залегания палеозойского фундамента, выявлена связь магнитного и гравитационных полей с основными тектоническими элементами земной коры [2].

Основными задачами ГРП, проведенных совместно с иностранными компаниями и АО «Узбекгеофизика», в частности сейсморазведочных работ с применением метода МОГТ-2D являлись: уточнение геологического строения, выявление и трассирование зон разрывных нарушений, а также обеспечение возможности выполнения структурных построений по опорным отражающим горизонтам [3].

В результате этих работ получены временные разрезы и сейсмограммы общей глубинной точки (ОГТ), предназначенных для дальнейшего атрибутивного анализа (AVO) и интерпретации.

В процессе нашего исследования помимо стандартной обработки была выполнена миграция по суммарным временным разрезам и миграция до суммирования во временной и глубинной области.

В 2010 году сейсморазведочной партией «Интегро Геофизика» (входящая в состав Корейской Национальной компании «KNOC») были выполнены полевые сейсморазведочные работы МОГТ-2D на Наманган-Тергачинском инвестиционном блоке.

Полученные сейсмические материалы обработаны специалистами компании «KNOC» с применением следующих методических разработок (граф.обработка):

- препроцессинг;
- ввод сейсмических данных (описание и присвоение геометрии);
- коррекция амплитуд за сферическое расхождение;
- поверхностно-согласованная амплитудная коррекция (первая итерация);
- LIFT1 по сейсмической амплитуде (с-ам) ОПВ, LIFT2 по с-ам ОПП;
- поверхностно-согласованная амплитудная коррекция (вторая итерация);
- минимальная-фазовая фильтрация;
- поверхностно-согласованная деконволюция;
- скоростной анализ (2 км);
- автоматическая коррекция статики (первая итерация);
- автоматическая коррекция статики (вторая итерация);
- поверхностно-согласованная амплитудная коррекция (третья итерация);
- LIFT3 по с-ам ОГТ;
- поверхностно-согласованная амплитудная коррекция (четвертая итерация);
- скоростной анализ (1 км);
- автоматическая коррекция статики (третья итерация);
- автоматическая коррекция статики (четвертая итерация);
- поканальная (тримм) статика и коррекция остаточных фазовых сдвигов;
- миграция после суммирования.

В результате проведенных работ по граф.обработке первичных сейсмических данных были получены сейсмические разрезы (рис. 1.).



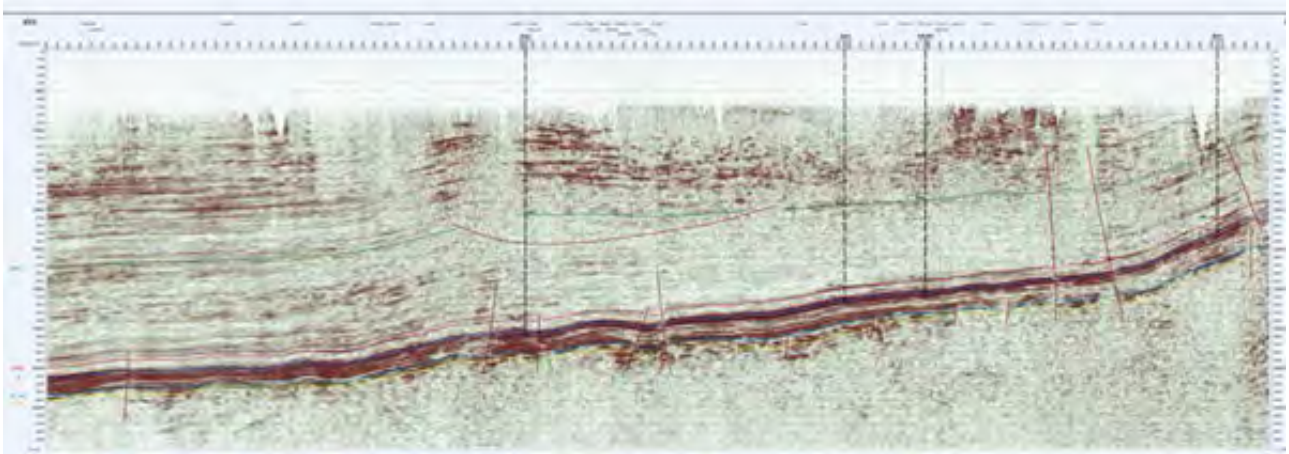


Рисунок 1 – Временной сейсмический разрез (PSTM) по профилю 10\_NT12

Интерпретация и визуализация данных сейсморазведки осуществлялась с использованием комплекса программных продуктов Paradigm Geophysical Epos3: **SeisEarth**, **Geolog**, **GeoDepth** и сводилась к построению структурно-тектонической модели.

Интерпретация данных сейсморазведки состояла из следующих этапов:

1. Расчет синтетических трасс по данным акустического каротажа, стратиграфическая привязка отражающих горизонтов (ОГ) во временном масштабе и отождествление отражающих горизонтов на временных разрезах с учетом анализа результатов Вертикального Сейсмического Профиля (ВСП) скважин Ферганского региона;
2. Анализ волнового поля с целью выделения сеймостратиграфических комплексов (ССК), корреляция ОГ;
3. Трассирование нарушений и создание тектонической модели;
4. Построение карт изохрон;
5. Построение схем средних скоростей до отражающих горизонтов;
6. Построение структурных поверхностей ОГ с учетом данных по глубоким скважинам;
7. Построение карт изопакит между отражающими горизонтами, анализ толщин.

В пределах Наманган-Тергачинского блока пересчет карт изохрон в структурные поверхности осуществлялся с использованием карт средних псевдо-скоростей до отражающих горизонтов, построенных по данным скважин. Обнаруженные на основе комплексного анализа недостатки в построениях нами были скорректированы.

Для этого в скважинах, где имелись стратиграфические отбивки геологических границ, с которыми сопоставляются данные отражения, в модуле **GeoDepth** были рассчитаны средние псевдо-скорости от линии приведения (+2000 м) до каждого горизонта.

Карты псевдо-средних скоростей до ОГ **T**, **ККС**, **БРС** в пределах Наманган-Тергачинского блока построены в модуле **Map**. Построение велось способом Kriging с большим радиусом вариограммы (Variogram Range), порядка 30000-35000 м. Размер ячейки грида составлял 100x100м. Поскольку отражающий горизонт **K\_bot** не имеет достоверной привязки к данным бурения, при расчете карты псевдо-средних скоростей до ОГ **K\_bot**, в интервале между ОГ **K\_bot** и ОГ **T** использовалась скорость, полученная по данным ВСП, определенная на основании среднестатистической откалиброванной зависимости  $H=f(T_0)$ .

В результате интерпретации старых и новых данных составлены структурные карты масштаба 1:100000 в пределах Наманган-Тергачинского блока по следующим отражающим горизонтам и продуктивным пластам, построенные:

- по ОГ **K\_bot** – вблизи подошвы меловых отложений;
- по кровле **VII** пласта алайских слоев палеогена;

- по ОГ *T* – вблизи кровли V-VI пластов туркестанских слоев палеогена - в автохтонном залегании;
- по кровле *III* пласта сумсарских слоев палеогена;
- по ОГ *ККС* – вблизи кровли отложений кирпично-красной свиты;
- по ОГ *БРС* – вблизи кровли отложений бледно-розовой свиты.

Также, в масштабе 1:50000 построены структурные карты:

- по ОГ *ККС<sub>1</sub>* – вблизи стратиграфической кровли отложений кирпично-красной свиты – в северной части Наманган-Тергачинского блока.

Вследствие отсутствия точной стратиграфической привязки отражений, структурные построения по ОГ *K\_bot*, а также по ОГ *T* и кровле палеозойских отложений (ОГ *Pz*) в аллохтонном блоке, следует считать достаточно условными.

Структурные построения, выполненные в процессе совместной интерпретации старых и новых данных, в целом подтвердили модель структурно-тектонического строения изучаемой территории, созданную на первом этапе работ, а также позволили ее значительно дополнить.

Большая часть профилей, расположенная в пределах Чуст-Папского инвестиционного блока, примыкает к зоне Северо-Ферганского разлома, который является доминирующим тектоническим элементом района и отделяет Северный борт Ферганской впадины от выхода на поверхность палеозойского основания (Чаткало-Кураминских массивов). Совокупность имеющейся геолого-геофизической информации указывает на сложное строение разлома, обусловленное многофазным развитием его в постплатформенный этап формирования Ферганской впадины. В процессе тектонических движений вдоль Северного борта была сформирована система надвигов, представленных на рис. 2.

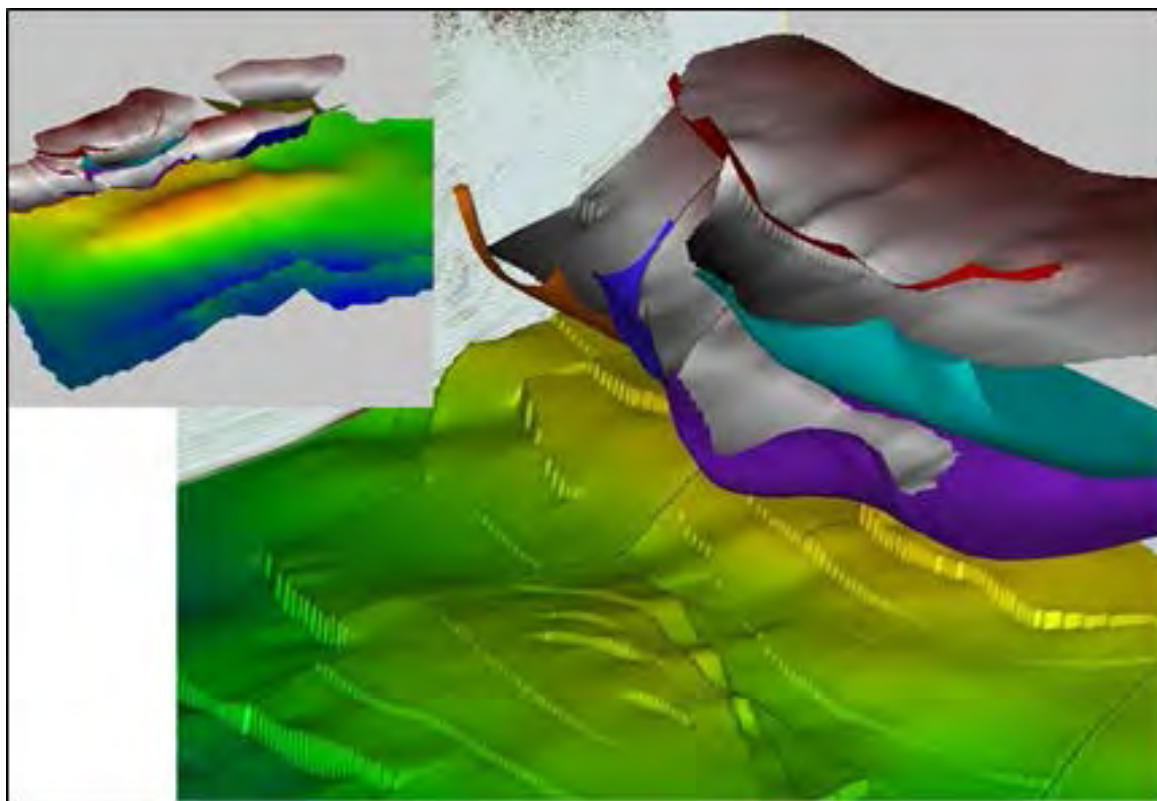


Рисунок 2 – Модель строения Северного борта Ферганской впадины

Основные черты современного строения структурно-тектонического этапа палеогенового возраста Северного борта отражает модель строения Северного борта Ферганской впадины (рис. 2.) по поверхности ОГ *T* - вблизи кровли V (VI) пласта туркестанских слоев среднего палеогена.

Северный борт имеет клинообразную форму: более широкий на востоке ~ 30-35 км

сужается к западу до 15 км.

Помимо надвига под действием сил сжатия в пределах Северного борта сформировались две основные системы нарушений, которые и определили основные черты его строения. Система субширотных нарушений подчиняется направлению простирания Северо-Ферганского разлома. Система субмеридиональных нарушений, вдоль которых, помимо вертикальных смещений, происходили горизонтальные сдвиги, согласуется с направлением Талассо-Ферганского трансформного разлома [4].

Особенностью модели геологического строения Северного борта, подтвержденной проведенным исследованием и результатами интерпретации, является расчлененность рельефа карбонатно-терригенной толщи палеогена на несколько протяженных структурно-блоковых ступеней, которые контролируются разрывными нарушениями. В связи с этим, структурный план ОГ *T* характеризуется довольно контрастной морфологией и значительными перепадами глубин. Каждая ступень, в свою очередь, представляет собой зону развития тектонических блоков разделенных, как широтными, так и субмеридиональными разломами.

В целом, поверхность ОГ *T* устойчиво погружается в южном направлении, к центру Ферганской впадины, осложняясь при этом серией ступеней, фиксируемых разломами и крутыми флексурами. Наиболее резкое погружение поверхности наблюдается вдоль южной границы Северного борта Ферганской впадины – градиент достигает 250-300 м/км.

В пределах Наманган-Тергачинского инвестиционного блока, в восточной его части можно выделить две крупные зоны структурно-блоковых ступеней: Исковат-Янгикурганскую на севере и Наманган-Шорбулакскую на юге. Эти зоны субширотно протягиваются с северо-востока на юго-запад и разделены прогибом глубиной до 350-400 м (рис. 3). По отложениям триаса-юры прогибу соответствует опущенный блок. Наиболее хорошо изучена бурением Наманган-Шорбулакская валообразная зона структурно-тектонических блоков, расположенная на южной границе Северного борта Ферганской впадины, с которой связаны структурно-тектонические ловушки нефти в V+VI пластах месторождений Наманган и Шорбулак. Зона вытянута более чем на 20 км вдоль нарушений субширотного направления и характеризуется довольно крупными размерами (22x7,3км).

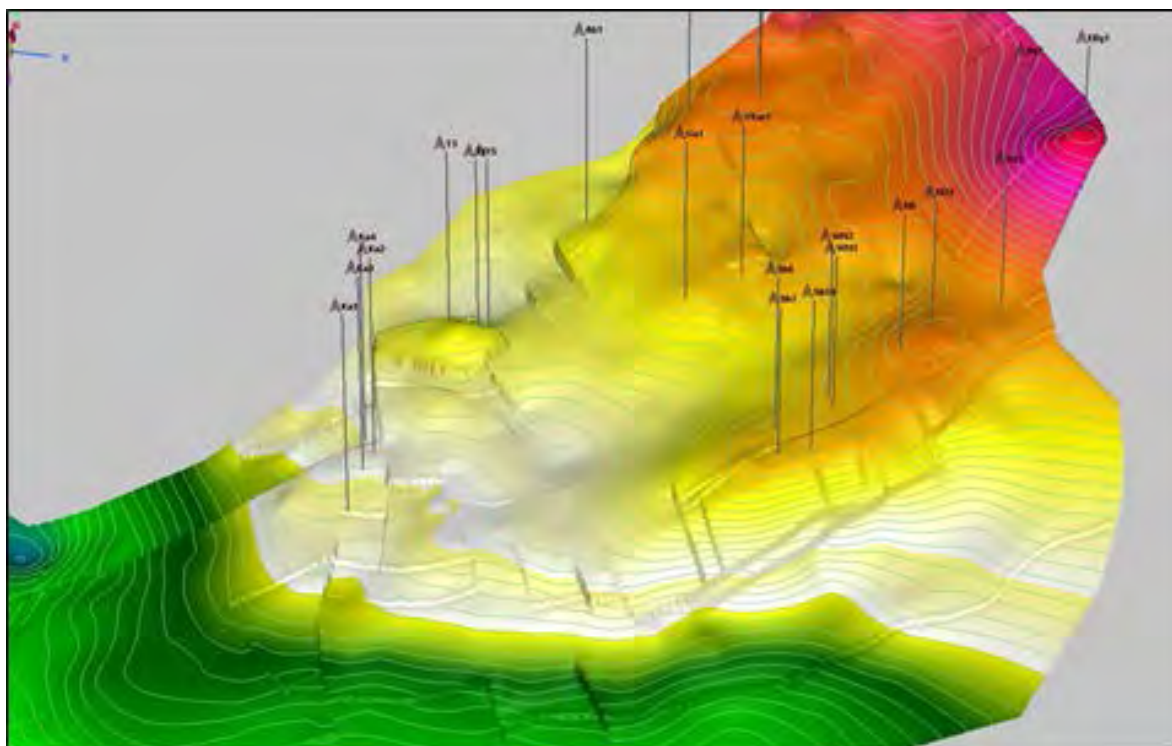


Рисунок 3 – Ступенчато-блоковое строение поверхности ОГ *T* в пределах Наманган-Тергачинского блока

Сводовая часть поднятия контролируется нарушением взбросового характера субширотного простирания, амплитудой до 50 м. Южное крыло, также контролируемое субширотным нарушением, погружается к югу с градиентом 250-260 м/км.

В пределах этой зоны выявлены несколько протяженных субмеридиональных разломов, формирующих структурно-блоковый рельеф поверхности ОГ Т. Один из наиболее крупных разделяет блоки, в пределах которых расположены месторождения Наманган и Шорбулак.

По итогам проведенных исследований на данной территории были обоснованы нефтегазоперспективность месторождений и выделены первоочередные структуры, работа на которых произведена и оценена, как с позиции геологического изучения, так и экономических расчётов эффективности ГРП на нефть и газ.

При этом, необходимо учитывать тот факт, что до сегодняшнего дня территория Наманган-Тергачинского блока, приуроченный к Северному борту Ферганской долины считается труднодоступным и малоизученным, по сравнению с Западно-Ферганским блоком.

Перспективность Западно-Ферганского инвестиционного блока по сравнению с территорией исследования оценивается выше. Так как, на территории Юго-Восточной части Ферганского долины (в частности, Западно-Ферганского инвестиционного блока) были открыты большее количество нефтегазовых месторождений. Перспективность Южного борта Ферганской долины подтверждается обнаружением новых залежей нефти и газа, которые год за годом становятся месторождениями.

В Республике Узбекистан проведение ГРП является глубоко продуманным технологическим мероприятием, основанным на комплексном анализе изучаемых территорий с применением современных геолого-геофизических методов, которые регламентируются политикой эффективности, безопасности с целью выполнения на высоком уровне поставленных задач. Строгий контроль по их выполнению позволяет повысить коэффициент успешности реализации, о чём свидетельствует открытие новых месторождений на территории Ферганской долины (в частности, Западно-Ферганского инвестиционного блока), потенциал которого высоко оценивается специалистами иностранных компаний, АО «Узбекнефтегаз», АО «Узбекгеофизика» и АО «ИГИРНИГМ».

### Литература

1. Бабаджанов Т.Л., Кунин А. и др. Строеие и нефтегазоносность глубокопогружаемых комплексов Средней Азии по геофизическим данным. Ташкент: Фан. 1986. 120 с.
2. Персидская Л.А., Кузнецова О.В., Колесник В.Ф. и др. Отчет о выполнении интерпретации сейсмических профилей 2D прошлых лет в пределах Наманган-Тергачинского и Чуст-Папского блоков территории Республики Узбекистан (I этап) / ООО «Парадайм Геофизикал». М.: КНОС. 2010. 280 с.
3. Отчёт о выполнении интерпретации сейсмических профилей 2D прошлых лет в пределах Наманган-Тергачинской и Чуст-Папского блоков территорий Республики Узбекистан. М. 2010. 310 с.
4. Урманов А.Х. Каломазов Р.У., Абдуллаев Г.С. Основные направления сейсморазведочных работ в Ферганском регионе на ближайшую перспективу // Теоретические и практические аспекты нефтегазовой геологии Центральной Азии и пути решения современных проблем отрасли. Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. Ташкент. 2009. 290 с.
5. Рашидов А.Х. Каломазов Р.У., Сидиков М.М. Нефтегазоносность и перспективы поисков залежей углеводородов в палеозойских отложениях Ферганской впадины. Сб. науч. тр. УзбекНИПИнефтегаз. Ташкент: Фан. 1999.
6. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельмант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан. Ташкент: Zamin nashr. 2019. 820 с.

## КАТАЛОГ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА

Мирзаев М.А., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л.

*murod1984@mail.ru*

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*Собраны и унифицированы разрозненные данные из различных источников по определениям механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана. Проведено сопоставление решений механизмов для одних и тех же сейсмических событий, полученных разными авторами и составлен единый каталог механизмов очагов землетрясений исследуемой территории для решения задач прикладной сейсмологии, связанных с прогнозированием землетрясений и с оценкой сейсмической опасности сейсмоактивных территорий. Показано, что преобладающим типом подвижки в очагах землетрясений на территории Узбекистана является взброс. Установлено, что характер распределения в пространстве осей сжатия и растяжения в очагах слабых и умеренных землетрясений хорошо согласуется с этими же параметрами, определенными ранее по сильным землетрясениям (Безродный Е.М. и др.). Для всей территории Узбекистана в целом ось сжатия ориентирована в субмеридиональном направлении и близгоризонтальном. Азимут оси растяжения имеет несколько больший разброс, но преобладающей ориентацией является близширотная с близвертикальным погружением.*

*Ключевые слова: механизм очагов землетрясений, кинематика разрыва, каталог механизмов, сейсмические волны, реконструкция поле-напряжений.*

Решение важнейших задач прикладной сейсмологии, связанных с прогнозированием землетрясений и с оценкой сейсмической опасности сейсмоактивных территорий, в значительной степени опирается на результаты исследований напряженно-деформированного состояния структур земной коры в результате происходящих геодинамических процессов.

Важнейшим источником информации о кинематике разрывов в очагах происходящих землетрясений являются фокальные механизмы очагов, определяемые на основе анализа сейсмических волн (знаки первых вступлений, волновые формы и т.д.). Усилиями ряда ученых [1-3 и др.] к настоящему времени разработаны различные методы реконструкции напряженно-деформированного состояния земной коры, основанные на интерпретации распределения в пространстве осей растяжения и сжатия в совокупности очагов, попадающих в исследуемый сейсмоактивный объем. Осуществление реконструкции напряжений в рамках этих методов возможно только при наличии базы данных, содержащей определения механизмов очагов исследуемой территории. Целью данной статьи является описание сформированной к данному моменту базы данных механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана.

При формировании базы данных механизмов очагов землетрясений, наряду с построениями, опубликованными в сборниках «Землетрясения Средней Азии и Казахстана» [4], использовались следующие источники:

- определения механизмов очагов сильных ( $M \geq 5$ ) землетрясений, произошедших на территории Узбекистана и прилегающих к нему территориях в период с 1946 по 1985 гг., проведенные Е.М. Безродным и изложенные в его монографии [5] (41 построение);

- выборка по территории Узбекистана из каталога механизмов очагов землетрясений Центральной Азии с энергетическим классом  $K \geq 10$  ( $M \geq 3.5$ ) за период с 1970 по 2005 годы (авторы каталога Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко), предоставленная Н.Н. Михайловой;

- каталог механизмов очагов землетрясений с магнитудой  $M \geq 3$  по территории, ограниченной координатами  $37^{\circ} - 43^{\circ}$  с. ш.,  $63^{\circ} - 74^{\circ}$  в. д. за период с 1946 по 1992 гг., предоставленный заведующим лабораторией «Фундаментальных и прикладных проблем тектонофизики» Института Физики Земли РАН Ю.Л. Ребецким. Для ряда землетрясений в данном каталоге приведено несколько решений, полученных разными авторами;

- Гарвардский каталог механизмов очагов сильных ( $M \geq 5$ ) землетрясений СМТ (Harvard Global Centroid Moment Tensor Catalog) [6] с 1976 года по настоящее время (61 определение).






















Следует сказать, что в данных, приведенных в сборниках «Землетрясения Средней Азии и Казахстана», в каталогах Е.М. Безродного, Н.Н. Михайловой, а также для большей части событий из каталога Ю.Л. Ребецкого определение параметров механизмов очагов землетрясений проводилось по знакам первых вступлений Р-волн, в то время как решения в СМТ каталоге базируются на анализе волновых форм. Не одинакова и форма представления информации в каждой из приведенных баз данных. Так в одних источниках угол погружения осей сжатия и растяжения отсчитывается от горизонта, в других – от вертикали. Таким образом, собранный нами материал по механизмам очагов землетрясений территории Узбекистана был крайне неоднородным.

Первоочередными задачами при формировании сводного каталога механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана стали гомогенизация исходных данных и выбор из совокупности различных решений для одних и тех же сейсмических событий единственного. По рекомендации Ю.Л. Ребецкого, в качестве первого приближения оценки надежности построений механизмов, содержащихся в каталогах различных авторов, рассматривалась степень близости их построений механизма, с решениями, содержащимися в каталоге СМТ. В таблице 1 приведено сопоставление решений различных авторов для общих сейсмических событий, попадающих в каталоги СМТ и каталоги Е.М. Безродного, Н.Н. Михайловой и Ю.Л. Ребецкого. Как это видно из таблицы, для большинства сейсмических событий построения, сделанные Е.М. Безродным, близки с построениями Гарвардского каталога СМТ. Значительная часть событий, общих для каталога СМТ и каталога Н.Н. Михайловой, начиная с 1987 года, имеют разные решения механизмов. Для ряда сейсмических событий в каталоге Ю.Л. Ребецкого приведены построения различных авторов: Мострюкова А. (Mos); Юнги С.Л. (Yng); Дзевонского (Dze); события, заимствованные из каталога Московского международного центра данных (Mcd); механизмы очагов, опубликованные в журнале «Землетрясения в СССР» (Ccc). По результатам анализа приведенных выше источников был сформирован единый каталог механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана, включающий 1157 сейсмических событий. На рисунке 1 показаны гистограммы распределения землетрясений, входящих в базу механизмов очагов землетрясений, по магнитуде и глубине. Карта эпицентров землетрясений с построением механизмов их очагов, вошедших в сводный каталог территории Узбекистана, приведена на рисунке 2. Здесь же, показаны, построенные по всей совокупности сейсмических событий, вошедших в каталог, роза диаграммы распределения в пространстве азимутов и углов погружения осей, снимаемых в момент землетрясения напряжений сжатия и растяжения. Как это видно из рисунка 1, преобладающим типом подвижки в очагах землетрясений на территории Узбекистана, является взброс. Анализ роза диаграмм азимутов и углов погружения осей сжатия и растяжения показал, что для всей территории Узбекистана в целом, преобладает близмеридиональное направлением оси сжатия и близширотное оси растяжения. Азимут оси растяжения имеет несколько больший разброс, чем оси сжатия. Анализ углов погружения осей сжатия и растяжения показывает, что для большинства сейсмических событий первая из них близгоризонтальна, а вторая – близвертикальна. Таким образом, характер распределения в пространстве осей сжатия и растяжения в очагах слабых и умеренных землетрясений

хорошо согласуется с этими же характеристиками, определенными ранее по механизмам очагов сильных землетрясений [5].

Таблица 1 - Сопоставление построений механизмов очагов по каталогам Е.М.Безродного, Н.Н.Михайловой и Ю.Л. Ребецкого с данными построений механизмов по каталогу СМТ

№	Дата	Ms	H	Данные СМТ	Данные Безродного Е.М.	Данные Михайловой Н.Н.	Данные Ребецкого Ю.Л.	
							Source	Механизм
1	08.04.1976	7,0	15				mos	
2	17.05.1976	7,0	15				mos	
3	31.01.1977	5,9	10				ccc	
4	03.06.1977	5,0	24			-	-	-
5	04.06.1978	5,1	10				mos	
6	06.05.1982	5,6	15				mcd	
							ccc	
7	15.02.1984	4,7	15				yng	
							mcd	
8	17.02.1984	5,2	12				yng	
							ccc	
9	23.02.1984	3,9	15		-	-	yng	
							dze	
							mcd	
							ccc	
10	19.03.1984	7,0	15				yng	
							sip	
							dze	
							mcd	
							mcd	

							mcd	
							ccc	
11	20.03.1984	4,2	15		-	-	yng	
							yng	
							mcd	
12	13.10.1985	5,9	20		-		mcd	
							ccc	
							ccc	
13	26.03.1987	4,5	15		-		yng	
							ccc	
14	06.11.1992	4,1	19		-		-	-
15	20.02.1995	4,5	33		-		-	-
16	08.10.1995	5,8	20		-		-	-

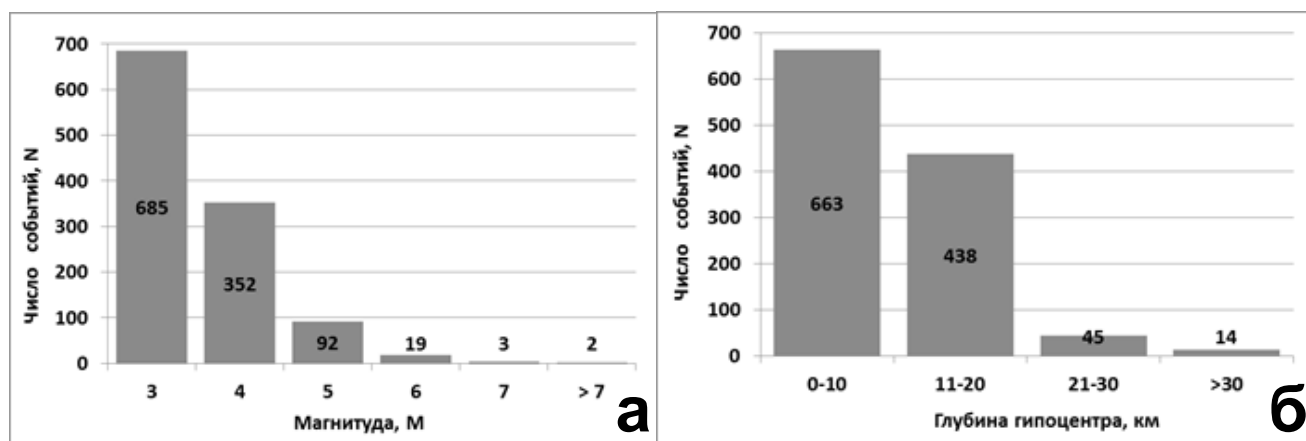


Рисунок 1 – Распределение событий из каталога механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана: а) по магнитуде; б) по глубине



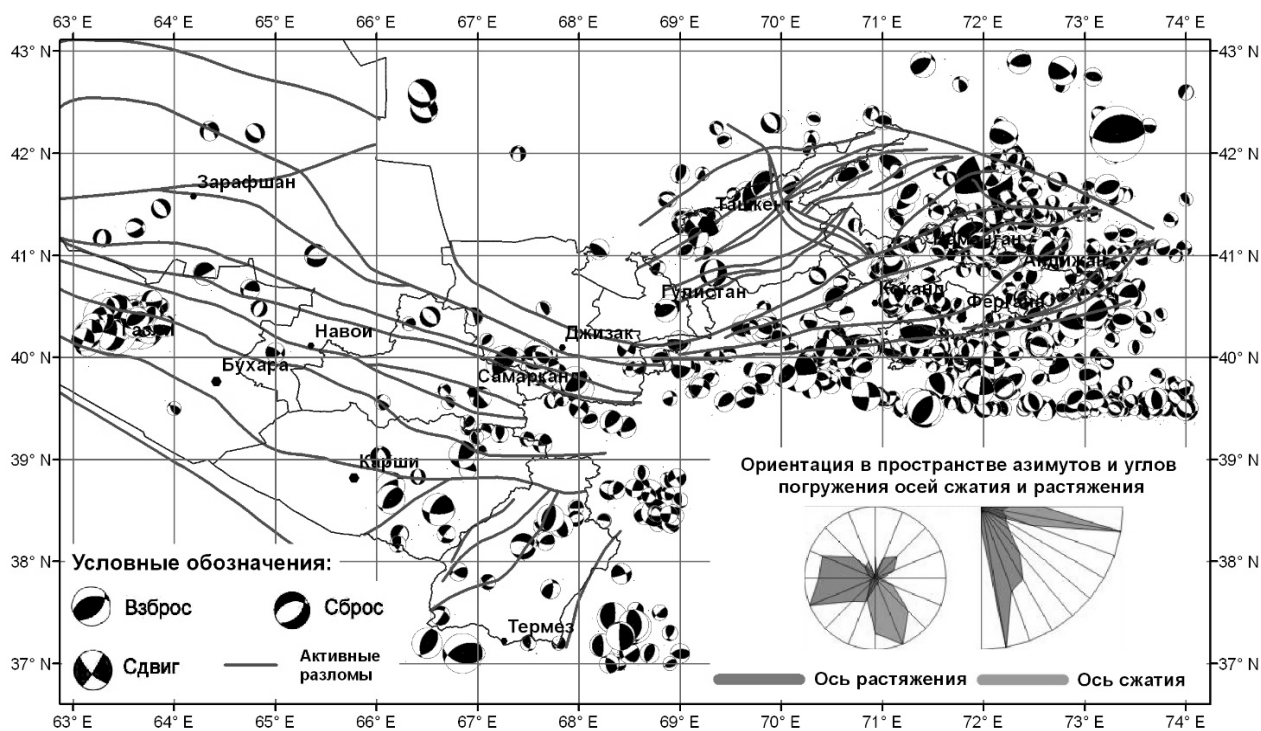


Рисунок 2 – Карта эпицентров землетрясений, механизмы очагов которых вошли в водный каталог механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана

Таким образом, в результате проведенной работы можно сделать следующие **выводы:**

1. Собраны и унифицированы разрозненные данные различных авторов по определениям механизмов очагов землетрясений. Проведено сопоставление между собой решений механизмов различных авторов для одних и тех же сейсмических событий и составлен единый каталог механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана.
2. Преобладающим типом подвижки в очагах землетрясений территории Узбекистана, является взброс. Установлено, что характер распределения в пространстве осей сжатия и растяжения в очагах слабых и умеренных землетрясений хорошо согласуется с этими же параметрами, определенными ранее по сильным землетрясениям [5]. Для всей территории Узбекистана в целом ось сжатия ориентирована в субмеридиональном направлении и близгоризонтальна. Азимут оси растяжения имеет несколько больший разброс, но преобладающей ориентацией является близширотная с близвертикальным погружением.

### Литература

1. Ризниченко Ю.В. Проблемы сейсмологии. Избранные труды. М.: Наука. 1985. 408 с.
2. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сеймотектонических деформаций. М.: Наука. 1990. 190 с.
3. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных массивов. М.: Академкнига. 2007. 406 с.
4. Землетрясения Средней Азии и Казахстана. Душанбе: Дониш. 1979-1988 гг.
5. Безродный Е.М., Туйчиев Х.А. Механизмы очагов сильных землетрясений Узбекистана. Ташкент: Фан. 1987. 144 с.
6. Eksrom G., Nettles M. Global CMT web page; <http://www.globalcmt.org/> (accessed April 17, 2014).

## СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА ДНЕСТРОВСКОГО ГИДРОУЗЛА (УКРАИНА)

Назаревич Л.Е., Олийнык Г.И., Давыдык А.Д., Гаранджа И.А.  
*nazarevych.L@gmail.com, H\_Zherebetska@ukr.net*

Институт геофизики им. С.И. Субботина Национальной академии наук Украины,  
Отдел сейсмичности Карпатского региона, г. Львов, Украина

*В работе представлен анализ современной сейсмической активности района расположения Днестровского гидроузла. Гидроузел расположен на западе Украины, на реке Днестр, на расстоянии 5-20 км от границы с Молдавией. Регистрируемые здесь инструментально в последнее время землетрясения в основном небольшой магнитуды ( $M = 0,6-2,9$ ). Также дан анализ сейсмичности этой территории за исторический период, проанализирована современная геодинамика субрегиона, сделаны выводы о напряженном состоянии земной коры района расположения Днестровского гидроузла. Далее представлен анализ сейсмотектонических условий возникновения землетрясений. Привязка пространственного расположения очагов местных землетрясений к профилям вкрест и вдоль Украинских Карпат выявила некоторые особенности современной местной сейсмической активности. Выявлены два уровня сейсмической активности – на глубинах 0-2 км и 3-5 км, определена пространственная конфигурация напряженного слоя земной коры, который способен генерировать землетрясения большей энергии (с  $M \geq 2$ ). Сделан анализ моментов возникновения землетрясений в течении суток. Наибольшее количество землетрясений происходит в ночное время, что дает основание предположить о некотором влиянии на напряженно-деформированное состояние геологической среды в районе Днестровского гидроузла режимов работы Днестровской ГЭС-1 и Днестровской ГАЭС (срабатывание верхнего водохранилища ГАЭС во время вечернего пика потребления электроэнергии и заполнение его во время ночного минимума электропотребления). Сделаны выводы о современной геодинамической активности этой территории и о возможных рисках для инфраструктуры и населения.*

*Ключевые слова: Днестровский гидроузел, сейсмичность, землетрясение, платформа, разлом, макросейсмические поля, тектоника, геодинамика, вертикальные движения земной коры.*

### Введение

В последние десятилетия в Украине произошел ряд землетрясений на территориях, ранее не испытывавших сейсмических воздействий, как, например, землетрясения в районах Новоднестровска, Кривого Рога, в Бердянске, Донецке, Мариуполе, Одессе, Надворной, Долине [1, 2]. Это, как правило, территории техногенно-антропогенного воздействия. Имеющиеся в разных районах водохранилища также оказывают техногенное воздействие на прилегающие массивы пород и местную гидрогеологическую обстановку. Присутствующие здесь масштабные процессы массопереноса, а также прогиба земной коры под действием гравитационной нагрузки от масс воды изменяют напряженное состояние земной коры на большой территории и усиливают сейсмическую активность в районах строительства крупных гидроузлов. Такая сейсмическая активность отмечена в районах водохранилищ Кариба (Зимбабве), Гувер (США), Ингури (Грузия), Нурекского и др. Поэтому изучение всех аспектов такой сейсмичности представляет значительный интерес для устойчивого и безопасного развития данных территорий.

**Цель исследования** – сейсмический режим района Днестровского гидроузла, и в частности, Днестровской ГАЭС. Станция начала работать в конце 2008 года и является

частью Днестровского гидроузла, в состав которого также входят Днестровская ГЭС и ГЭС-2. Именно после начала активной работы всего комплекса ГЭС и ГАЭС были зарегистрированы сейсмические события в радиусе 10-15 км от гидроузла.

### **Сейсмичность района**

По историческим данным этот район до строительства ГАЭС был асейсмичным (местные землетрясения неизвестны). А сейсмичность прилегающих к району исследования территорий за исторический период представлена землетрясениями Каменца-Подольского (1721 г., 1728 г. (4 балла), 1883 г. (3-4 балла)), Могилева-Подольского (1843 г. (4 балла)) [3]. Территория бассейна реки Днестр в этом районе также испытывает сейсмические воздействия от сильных землетрясений зоны Вранча (Румыния) с интенсивностью  $I_0$  от 3-х до 7-ми баллов (для сильнейших землетрясений 1802 и 1940 гг.) по шкале MSK-64.

Слабая «инструментальная» сейсмичность этого района проявлялась и до начала работы ГАЭС. Так, здесь в 1987 г., 1989 г., 1991 г., 2000 г., 2005 г., 2006 г. инструментально зарегистрированы 16 землетрясений разной энергии ( $K = 6,5-7,8$ ). В тектоническом плане очаги этих землетрясений тяготеют к зоне сочленения здесь Украинского щита и Вольно-Подольской плиты. А в 2006 г. в районе Новоднестровска инструментально зарегистрировано 9 землетрясений класса  $K = 6,1 - 8,4$  [4]. Более сильное из них с  $M = 2,9$  произошло 22.10.2006 г. Очаг этого землетрясения был зафиксирован на глубине 3,8 км и располагался западнее Днестровской ГЭС. Это землетрясение, несмотря на относительно небольшую энергию ( $K = 8,4$ ) и глубину  $H = 3,8$  км, вызвало макросейсмический эффект, сотрясения ощущались в радиусе 15 км, интенсивность сотрясения в эпицентре была  $I_0 = 4$  балла по шкале MSK-64. Сейсмические волны от очага этого землетрясения зарегистрированы мировой сейсмической сетью.

После ряда землетрясений 2000-2006 гг., в частности, землетрясения 22.10.2006 г. в данном районе несколько лет не было инструментально зарегистрированных сейсмических событий, то есть имело место сейсмическое затишье, которое продолжалось 6 лет. Начиная с 2012 г. здесь происходили слабые землетрясения с  $K = 5,4-6,7$ , которые фиксировались только одной станцией Новоднестровск (NDNU), что не давало возможность точно определить координаты и глубины их очагов. А с 2014 г. здесь начинают работать 3 цифровые станции DASS-04: NDNU1, NDNU2, NDNU3, данные которых вместе с данными сейсмической сети Карпатского региона Украины дают возможность определить параметры землетрясений (время в очаге, координаты, глубину, энергетические характеристики). Этими станциями в районе Днестровской ГАЭС за период 2014-2018 гг. зафиксирован ряд землетрясений разного энергетического класса (см. табл.).

### **Тектоника региона**

Тектоническое строение субрегиона, где расположен Днестровский гидроузел, такое (см. рис. 1). Район гидроузла расположен на юге Вольно-Подольской плиты – юго-западной окраины Восточно-Европейской платформы. Сама Вольно-Подольская плита граничит с запада с Карпатской горной системой (Складчатые Карпаты, Предкарпатский и Закарпатский прогибы), с востока – с Украинский щитом, а с юга – с Молдавской моноклиналию. Эти тектонические единицы разделены между собой зонами глубинных разломов. Основная система разломов здесь имеет преимущественно диагональное северо-западное (субкарпатское) направление, дополнительная – секущая эти тектонические единицы на отдельные блоки – северо-восточное, один из основных имеющихся здесь трансформных активных субкарпатских разломов Луцк – Збараж – Каменец-Подольский проходит через исследуемую зону [5].

### **Геодинамика района**

Локализацию исследуемого района в транс европейской геомобильной зоне подтверждает наличие аномалии теплового потока, зона этой аномалии проходит от

Ботнического залива Балтийского моря до Аравийского полуострова [5]. Исследование вертикальных движений земной поверхности Карпатского региона и Волыно-Подольи показало, что изобазы суммарных амплитуд неотектонических движений в районе Днестровского гидроузла имеют субширотное простирание, что определенным образом коррелируют с изменением простирания здесь долины реки Днестр [6]. А вектора напряжений в земной коре этого района имеют северо-западное направление.



Рисунок 1 – Тектоническая позиция района Днестровского гидроузла (черный кружок) на фоне основных тектонических структур запада Украины: 1 – Карпатская горная система, 2 – Волыно-Подольская плита, 3 – Украинский щит, 4 – Западно-Европейская платформа

#### Анализ сейсмичности

Нами детально проанализирована серия землетрясений за 2014-2018 гг., произошедших в районе расположения Днестровского гидроузла (см. табл.). Краткий анализ сейсмичности района за указанный период дал следующие результаты – здесь произошло 20 землетрясений разной силы, локализация эпицентров которых представлена на рис. 2. В основном это землетрясения с  $M = 0,6-2,4$ . Очаги большинства землетрясений расположены на небольших глубинах ( $H = 1-2$  км), только некоторые из них имеют большую глубину ( $H = 4-5$  км). Пространственное расположение очагов землетрясений за 2014-2018 гг. имеет отличительно чертой то, что они размещены западнее самой Днестровской ГАЭС, в то время как очаги землетрясений 1991-2006 гг. располагались в основном восточнее ГАЭС (на рис. 2. показан также макросейсмический эпицентр землетрясения 22.10.2006 г. с  $M = 2,9$ ).

Анализируя временной ход сейсмического процесса в исследуемом районе, видим, что он имеет восходящий характер. Так, в 2014 г. произошли 2 события, в 2016 г. – 5, в 2017 г. – 7, в 2018 г. – 6 землетрясений, в 2015 г. сейсмических событий не было зафиксировано. Касательно энергии сейсмических событий – максимальная энергия от совокупности сейсмических событий выделилась в 2016 г. –  $E=1.14 \times 10^{10}$  Дж. Общая величина сейсмической энергии за 2014-2018 гг.  $E=1.41 \times 10^{10}$  Дж.

Пространственный анализ эпицентров очагов землетрясений на топокарте района показал, что очаги большинства сейсмических событий за 2014-2018 гг. расположены в зоне влияния меандров реки Днестр (рис. 2), западнее водохранилища. А в периоды сейсмичности 2000-2006 гг. эпицентры землетрясений располагались восточнее гидроузла Днестровской ГАЭС [4]. То есть имеет место миграция сейсмических очагов с востока на запад, что, очевидно, объясняется перераспределением тектонических напряжений, которое вызвано как известным общим давлением Восточных Карпат на юго-западную окраину Восточно-Европейской платформы [7], так и локальными воздействиями, в том числе работой Днестровского гидроузла.

**Таблица 1.** Список землетрясений за период 2014-2018 гг., происшедших в районе Днестровского гидроузла

N	Дата	Время в очаге	Широта	Долгота	Глубина, км	M <sub>D</sub>	M <sub>L</sub>	M <sub>SH</sub>	K
1	20.07.2018	04.30.28,3	48.572 <sup>0</sup>	27.151 <sup>0</sup>	2	1.9	2.0	2.1	7.6
2	31.07.2018	23.47.02.7	48.640 <sup>0</sup>	27.193 <sup>0</sup>	2	1.4			6,5
3	31.05.2018	13.00.44.8	48.580 <sup>0</sup>	27.354 <sup>0</sup>	2.5	1.6	1.8		6,7
4	24.03.2018	12.20.53.8	48.609 <sup>0</sup>	27.378 <sup>0</sup>	1	2.6	2.6	2.4	9.4
5	17.01.2018	04.14.27,8	48.630 <sup>0</sup>	27.271 <sup>0</sup>	2	1.6	1.7	1.6	7.2
6	17.01.2018	04.16.09,6	48.655 <sup>0</sup>	27.278 <sup>0</sup>	2	1.2	1.4		6,2
7	26.11.2017	04.48.46,3	48.609 <sup>0</sup>	27.364 <sup>0</sup>	2	1.6	1.6	1.4	7.2
8	08.07.2017	22.25.20,8	48.618 <sup>0</sup>	27.320 <sup>0</sup>	2	1.6	1.7	1.4	7.5
9	12.06.2017	02.34.12,2	48.487 <sup>0</sup>	27.099 <sup>0</sup>	3	1.3	1.3		6,3
10	14.06.2017	21.47.12,7	48.617 <sup>0</sup>	27.234 <sup>0</sup>	2	0.9	0.8		5,6
11	25.05.2017	19.17.47.9	48.667 <sup>0</sup>	27.375 <sup>0</sup>	3	1.6	1.7	1.5	7.4
12	06.04.2017	11.39.19,8	48.529 <sup>0</sup>	27.357 <sup>0</sup>	2	1.4	1.3	1.1	6.6
13	04.03.2017	04.04.28,9	48.599 <sup>0</sup>	27.299 <sup>0</sup>	1	1.8	1.8		7,2
14	12.07.2016	18.21.51,9	48.634 <sup>0</sup>	27.333 <sup>0</sup>	2	3.4	3.1	3.0	9.9
15	05.05.2016	06.57.47,5	48.681 <sup>0</sup>	27.235 <sup>0</sup>	2	1.5	1.5	1.5	6.8
16	09.03.2016	23.04.56.7	48.608 <sup>0</sup>	27.226 <sup>0</sup>	5	2.2	2.2	2.0	8.1
17	07.02.2016	17.06.52.9	48.577 <sup>0</sup>	27.312 <sup>0</sup>	4	2.9	2.9	2.8	9.5
18	08.02.2016	04.46.38,9	48.630 <sup>0</sup>	27.315 <sup>0</sup>	2	2.2	2.4	2.2	8.2
19	26.05.2014	08.37.03,1	48.5870	27.4010	2	1.3	1.3	1.3	6.4
20	28.05.2014	16.52.32.2	48.5550	27.3710	1	0.6	0.7	0.6	5.1



Рисунок 2 – Карта-схема (на базе карты Google) сейсмичности района Днестровской ГЭС за период 2014-2018 гг. Здесь: черные кружки – эпицентры землетрясений различной энергии; белый треугольник – сейсмическая станция Новоднестровск, белый круг – макросейсмический эпицентр землетрясения 22.10.2006 г. (показаны условные профиля I-I и II-II).

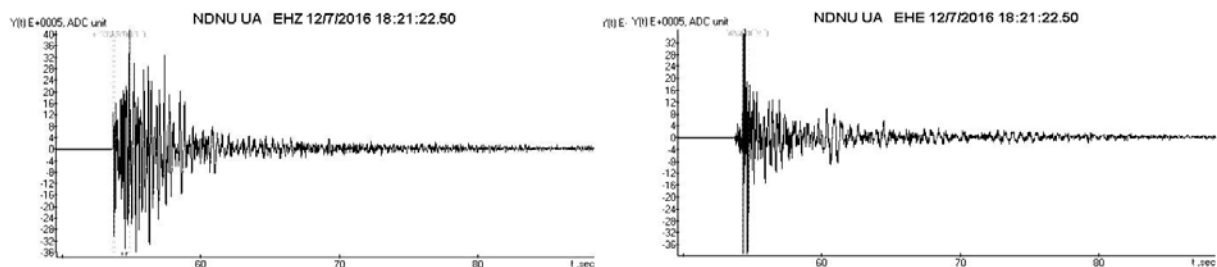


Рисунок 3 – Вертикальная и горизонтальная компоненты фрагмента сейсмической записи землетрясения 12.07.2016 г. в 18.21.51,9 ч. с  $M_{SH} = 3$ ,  $H = 2$  км цифровой станцией DAS-004, Новоднестровск

Одно из более сильных землетрясений этой серии было зарегистрировано 12.07.2016 г. в 18.21.51,9 ч. с  $M_{SH} = 3$  сейсмическими станциями Карпатской сейсмологической сети, его почувствовали люди. Его очаг находился на глубине  $H = 2$  км, в 10 км к юго-западу от водохранилища на реке Днестр. Компоненты сейсмической записи этого события сейсмической станцией Новоднестровск, которая расположена в непосредственной близости к очаговой зоне, приведены на рис. 3. Несмотря на это, здесь можно уже различить моменты вступления P- и S-волн. Длительность землетрясения на сейсмограмме составила 120 с. Расчёт по номограмме соотношения между магнитудой  $M$  и глубиной очага  $H$  землетрясения 12.07.2016 г. с  $M_{SH} = 3$  дал интенсивность  $I_0$  сотрясений в эпицентре 5 баллов, а по карте сейсмического районирования ( $T = 500$  лет и  $P = 10\%$ ) район Днестровской ГАЭС расположен в 6 бальной зоне. То есть, относительно частые (раз в несколько десятков лет) землетрясения небольшой силы, но с относительно малой глубиной очага могут на этой территории генерировать ощутимые сейсмические сотрясения, близкие к максимально прогнозируемым.

Для исследования возможной связи сейсмической активности исследуемой территории с деятельностью Днестровского гидрокаскада был проведен суточный анализ моментов возникновения землетрясений (см. рис. 4). Он показал, что наибольшее количество землетрясений происходит в вечернее и ночное время, так в 4 часа происходило 6 землетрясений, в 23 часа – 2 события, в остальное время суток – редкая сейсмичность (по одному событию в час). Это дает возможность предположить о наличии некоторого влияния на напряженно-деформированное состояние геологической среды в районе Днестровского гидроузла самих его станций. Так, ГАЭС постоянно прогоняет воду между двумя водохранилищами, ночью вода закачивается из нижнего водоема в верхний, для этого используется избыточная электроэнергия из базовой генерации. Землетрясения возникают на участках земной коры, где накопились естественные тектонические напряжения и земная кора уже подготовлена к возникновению сейсмических событий. Дополнительная техногенная нагрузка добавляет или перераспределяет напряжения в земной коре и служит своего рода «спусковым крючком». Нам представляется, что этот гидрологический эффект может являться причиной возникновения землетрясений в ночное время – так называемой наведенной (индуцированной) сейсмичности.

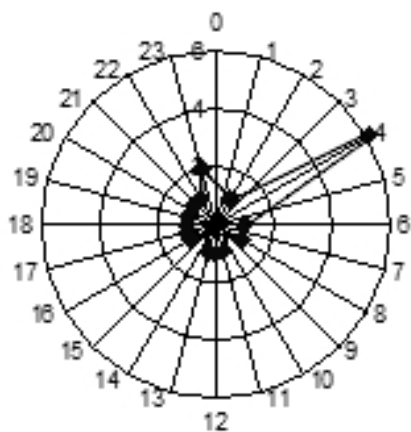


Рисунок 4 – Диаграмма распределения моментов возникновения землетрясений в течении суток за период 2014-2018 гг.

Для детального исследования особенностей сеймотектонической активизации разных слоев геологической среды нами использовалась методика из работ [2, 8]. Для этого, проанализировав данные о векторах напряжений в земной коре этого района [5], данные о вертикальных движениях, морфологии рельефа и русла реки Днестр, нами были построены два условных профиля, которые перекрещиваются в центре облака землетрясений: первый проходит параллельно Карпатам, второй – перпендикулярно им. Анализ пространственного расположения гипоцентров землетрясений на этих двух профилях – вкост Карпат (рис. 5, а) и параллельно им (рис. 5, б) показал, что на обоих профилях четко прослеживаются два уровня сейсмической активизации. Первый уровень – глубины  $H = 0-2$  км, второй –  $H = 3-5$  км. На первом уровне происходит большее количество слабых землетрясений. На втором уровне происходят более сильные землетрясения с  $M \geq 2$ , их количество значительно меньше. Именно на втором уровне произошли два землетрясения с макросейсмическим эффектом. Область группирования очагов в плане образует овал неправильной формы (рис. 2), большая ось которого направлена параллельно Карпатам. Эта область контролируется разломами второго порядка, которые оперяют основной здесь и активный Луцк – Збараж – Каменец-Подольский разломом. Тот факт, что эпицентры некоторых землетрясений в плане тяготеют к меандрам реки Днестр, можно объяснить геодинамической активностью русла р. Днестр в ее равнинной части, а также приуроченностью этого русла к имеющимся в этом районе разрывным нарушениям разных рангов. Увеличение давления порово-трещинных вод, гидродинамически связанных с объемом водохранилищ, снижает трение в зонах «запитываемых» этими водами разломов (сопротивление сдвигу), что облегчает снятие естественных напряжений, «оживляет» разломы и способствует возникновению сейсмических подвижек, в том числе субвертикальных. Проведенный к этому анализ карты вертикальных движений земной поверхности этого района показал, что изобазы суммарных амплитуд неотектонических движений имеют субширотное простирание, форма их напоминает меандры реки Днестр.

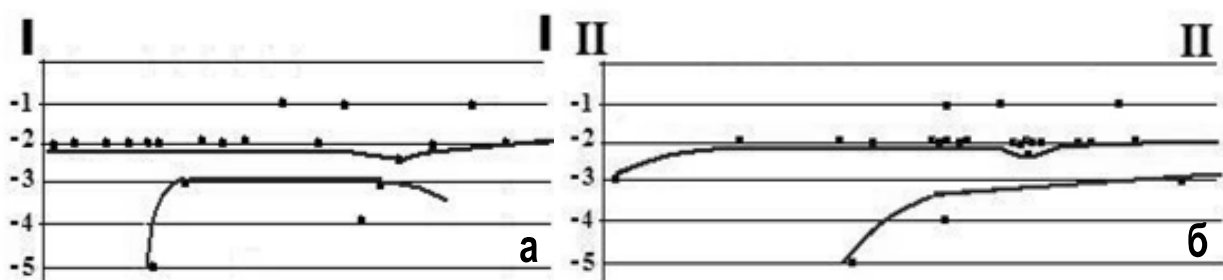


Рисунок 5 – Расположение очагов землетрясений 2014-2018 гг. в районе Днестровского гидроузла на профилях вкост Карпат (а) и параллельно им (б). Схема расположения профилей дана на рис. 2

## Выводы

Подытоживая, отметим, что современная сейсмичность района Днестровского гидроузла представлена слабыми землетрясениями, имеет тенденцию к увеличению количества сейсмических событий во времени, очаги землетрясений локализируются узкой зоной к западу от ГЭС-1. Отдельные землетрясения здесь проявляются макросейсмически. Сейсмические события наиболее часто проявляются в ночное время, что может быть связано с режимом работы ГЭС и ГАЭС. Геодинамическая активность территории, значительные тектонические напряжения, неуравновешенное напряженно-деформированное состояние земной коры, вызванное, в том числе, работой Днестровского гидроузла, могут быть причиной естественной и наведенной местной сейсмичности и все это нуждается в дальнейшем детальном изучении и мониторинге.

## Литература

1. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Наведенная сейсмичность и сеймотектоника Надворнянского нефтегазового района (Украинское Предкарпатье) // 15th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects “Geoinformatics-2016”. 10-13 May 2016, Kiev, Ukraine. Киев, 2016 (CD) (на укр. яз.). <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201600490>
2. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Сейсмогеодинамическая активизация нефтегазоносных районов Предкарпатского прогиба (Долина, Надворная, Борислав) // Минеральные ресурсы Украины. 2018. № 2. С. 36-42 (на укр. яз.), <https://doi.org/10.31996/mru.2018.2.36-42>
3. Евсеев С.В. Интенсивность землетрясений Украины. Киев: Наук. Думка. 1969. С. 32–55.
4. Вербицкий С.Т., Стасюк А.Ф., Чуба М.В., Пронишин Р.С., Келеман И.Н., Гаранджа И.А., Вербицкий Ю.Т. Сейсмичность Карпат в 2006 году // Сейсмологический бюллетень Украины за 2006 год. Симферополь: КЭС, НАНУ. 2008. С. 31-41.
5. Крупский Ю.З. Геодинамические условия формирования и нефтегазоносность Карпатского и Волыно-Подольского регионов Украины. Киев: УкрГГРИ. 2001. 144 с. (на укр. яз.).
6. Поливцев А.В. Карта вертикальных голоценовых движений Волыно-Подоллии и Предкарпатья // Геодинамика. 2011. 1(10). С. 58-60 (на укр. яз.).
7. Назаревич Л.Е., Назаревич А.В. Сейсмичность и сеймотектоника Надворнянского нефтегазоносного района (Украинское Предкарпатье) // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2015. Т. 90. Вып. 6. С. 17-27.
8. Kováčiková S., Logvinov I., Nazarevych A., Nazarevych L., Pek J., Tarasov V., Kalenda P. Seismic activity and deep conductivity structure of the Eastern Carpathians // Stud. Geophys. Geod. 2016. 60. P. 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11200-014-0942-y>



## АНАЛИЗ СЕЙСМОТОМОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЯНЬ-ШАНЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Непеина К.С.  
pereina.k@mail.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В данной работе представлены результаты анализа сейсмотомографических моделей, построенных в различные периоды (от 1983 до 2018 гг.) для территории Центральной Азии. Объяснена взаимосвязь между плотностной расслоенностью земной коры и верхней мантии и геодинамическими процессами исследуемой территории. Дана краткая характеристика основных скоростных аномальных структур по срезам до глубин 65 км.*

*Ключевые слова: сейсмическая томография, модель, землетрясения, расслоенность, скоростные аномалии, Тянь-Шань.*

Целью данного исследования является изучение сейсмотомографических моделей территории Центральной Азии на предмет оценки проявления современных геодинамических процессов. Интерес к сейсмотомографическим моделям обусловлен их преимуществами по сравнению с профильными наблюдениями, такими как ГСЗ: наличие мощных естественных источников колебаний – землетрясений, и обширный изучаемый с их помощью объем среды. Такой анализ позволяет судить о процессах субдукции, проводить аналогии распределения аномалий с возможными физико-химическими сценариями эволюции глубинных источников вулканизма с учетом широкого круга геологических и геофизических данных и т.д. Особое значение также придается положению границы Мохо, что важно для обоснования гипотез горообразования и общей эволюции земной коры, а также для изучения корреляционных и причинно-следственных зависимостей особенностей рельефа границы Мохо с проявлениями сейсмичности [1]. Основные различия в построении сейсмотомографических моделей обусловлены выбором исходных данных: вовлеченных в расчеты станции сейсмических сетей и землетрясений с определенными параметрами [2]. Помимо землетрясений в алгоритм сейсмотомографии успешно внедряются и подземные ядерные взрывы [3], например, произведенные на территории Казахстана на Семипалатинском полигоне и Китая - Лобнор [4], или на территории СССР [5].

Первые результаты, свидетельствующие о наличии в нижней коре и верхней мантии Тянь-Шаня, Памира, Гиндукуша, Тибета объектов с низкими скоростями сейсмических волн, были получены сейсмологическими методами Винником и др. (1983), Юдахиным (1983), Рёкером и др. (1983), Вю и др. (1997), Сабитовой и Адамовой (2001) [6]. Все существующие модели иллюстрируют плотностную расслоенность коры и верхней мантии и наличие в нижней коре и верхней мантии разуплотненных объектов, что, в свою очередь, характеризует геодинамическую связь различных участков исследуемой территории [7]. С точки зрения авторов, «изменение скорости выноса мантийного вещества в зоне глубокофокусных землетрясений (на границах воронкообразных объектов) приводит к изменению гидродинамического режима в нижнекоровом пластичном слое и, соответственно, к активизации в нем геодинамических процессов» [7, с. 56]. Опираясь на вышесказанное и неизменный интерес к проявлениям геодинамических процессов, вполне логично рассматривать результаты таких построений в контексте изучения тектонических сегментов и геодинамической истории развития региона. Наибольшую информативность могут представлять глубинные срезы по сейсмотомографическим моделям.

Составленные срезы до глубин 80 км показывают распределение скоростных неоднородностей. Основные поверхности для данного исследования представлены для диапазона глубин 0-5, 5-15, 15-25, 25-35, 35-45, 45-55, 55-65 км (рис. 1).

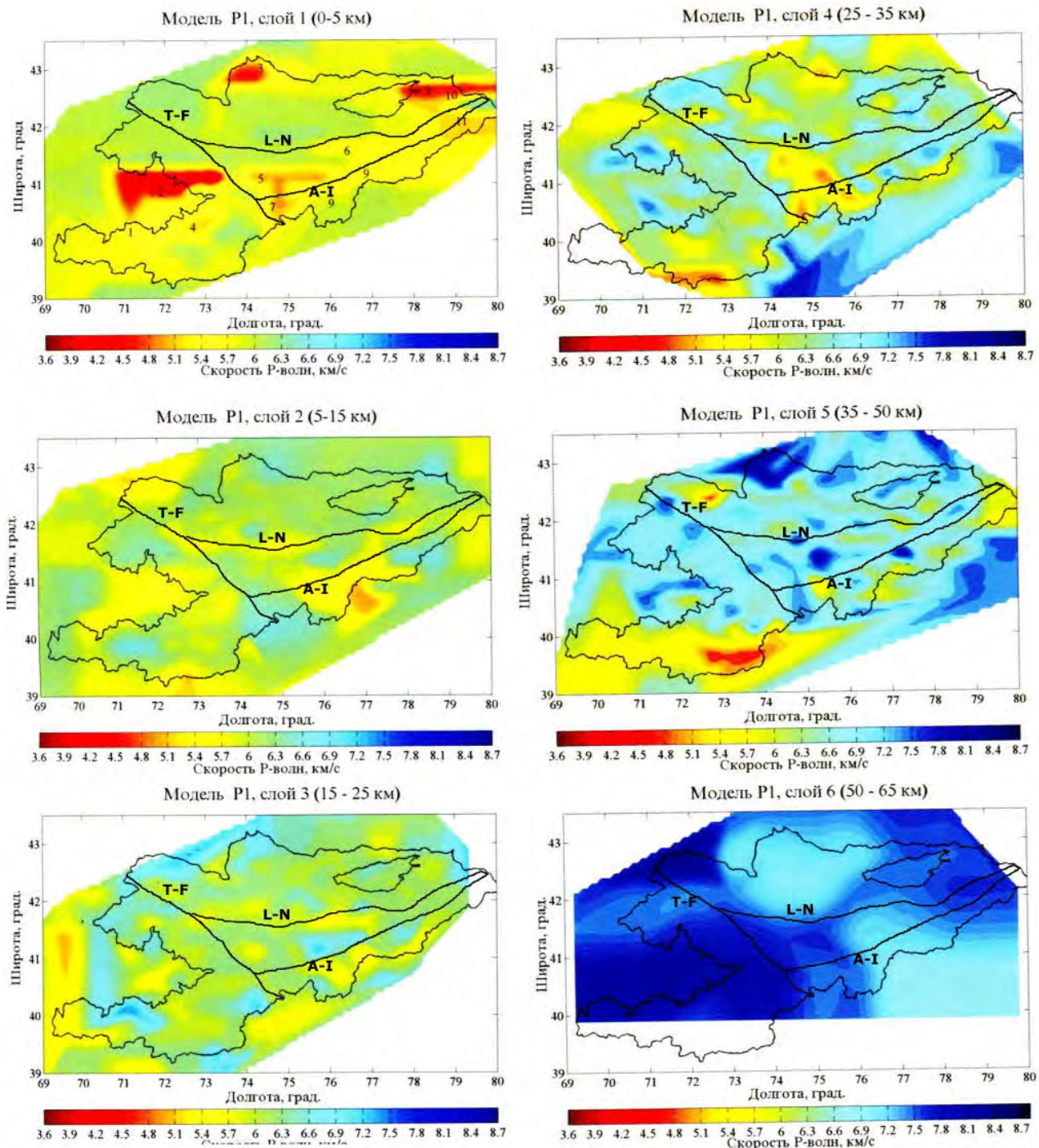


Рисунок 1 – Глубинные срезы для трехмерной скоростной модели земной коры Тянь-Шаня по данным сейсмотомографических исследований. Цветовой градацией показаны аномальные зоны скоростей P-волн (дополненные по [8])

На срезе 0-5 км по скоростям продольных волн четко выделяется разница между Северным сегментом Тянь-Шаня ( $V_p=5.7-6.5$  км/с), Срединным ( $V_p=5.1-5.6$  км/с) и Западным сегментом, отделенным Таласо-Ферганским разломом. В разрезе поперечных волн прослеживается отличие в строении Южной и Западной частей с  $V_s=2.5-3.1$  км/с. По данным сейсмотомографии к зонам низких скоростей можно отнести такие впадины, как Чуйская,

Нарынская, Джумгалская, Иссыккульская, Аксайская, Сарыджазская. Под Чуйской впадиной выделена зоны пониженных значений скорости ( $V_p=4.6-5.9$  км/с) на глубинах 0-5 км предгорного района (широтный диапазон  $42.5^\circ-43.0^\circ$ ). Зоны поднятий представлены повышенными значениями объемных волн.

На срезе 5-15 км по продольным волнам не наблюдается значительных разграничивающих структур за исключением южной кромки Южного Тянь-Шаня. Однако это может быть ошибкой, связанной с краевыми эффектами томографической модели. При этом, на поверхности  $V_s$  низкими значениями выделяется структура к западу от Таласо-Ферганского разлома. Под Киргизским хребтом значения скорости Р-волн в земной коре в слое выше 15 км под хребтом не превышают 6.2 км/с. Скорости объемных волн становятся ниже по сравнению со слоем 0-50 км. В целом, скорости Р- и S-волн в Северном Тянь-Шане выше скоростей Срединного и Южного.

Слой 15-25 км не позволяет детализировать блочную структуру Тянь-Шаня. Известно, что волноводы распространены на глубинах 15 км [6]. Под Киргизским хребтом  $V_p=6.2-6.4$  км/с (под Чуйской впадиной  $V_p=6.5-7.1$  км/с). Волновод под Алайским хребтом находится на глубине 10–21 км.

Слой 25-35 км показывает отличие зоны Срединного Тянь-Шаня за счет несколько пониженных скоростей продольных волн в данном блоке. Наиболее существенное их проявление имеет место на глубинах от 30 до 40 км на юго-западе и юго-востоке киргизской части Тянь-Шаня, и на глубинах 25-35 км под Чуйской впадиной с  $V_p=5.1-6.1$  км/с. Волновод под Чаткальскими хребтами занимает интервал глубин 23–29 км. Чуйская впадина характеризуется скоростями  $V_p=6.2-6.6$  км/с. Киргизский хребет также отличается понижением скорости - присутствием волновода. При этом в створе с западной частью Чуйской впадины под горами волновод отсутствует ( $V_p$  растет до 6.3-6.6 км/с).

На глубинах 35-50 км аномально низкими скоростями характеризуется южная часть Западного Тянь-Шаня. Разделение на Северный, Срединный и Южный Тянь-Шань не представляется возможным. По поперечным волнам можно выделить скоростную аномалию в Южном Тянь-Шане. Остальная же часть не поддается условному разделению на сегменты. В нижней коре отдельных зон Южного Тянь-Шаня (под хребтами Алай, Ат-Баши, Кок-Шаал) наблюдаются аномально низкие скорости ( $V_p=5.2-6.2$  км/с). Поверхность Мохо погружается от 45 км на севере Киргизии до 60 км в центральной её части. Встречается существенное повышение скоростей  $V_p$  под Киргизским хребтом.

По значениям продольных волн на глубинах 50-65 км хорошо прослеживается масштабная сегментация Тянь-Шаня на северный, южный и западный сегменты. По поперечным волнам на той же глубине можно судить только о проявляющейся в разрезе структуре Таласо-Ферганского разлома (к востоку  $V_p=7-7.2$  км/с,  $V_s=4.4$  км/с, к западу -  $V_p=7.8-8.0$  км/с,  $V_s=4.7$  км/с). В районе Чуйской впадины наблюдается инверсия скорости - значения скорости  $V_p=7.5$  км/с здесь являются пониженными относительно скоростей в вышележащем слое (7.8-8.1 км/с). Инверсия скорости в этом слое менее значительна, чем в слое 25-35 км. Повышение скоростей  $V_p$  под Киргизским хребтом проявляется частично.

Сопоставление скоростных аномалий в сейсмотомографических срезах и объектов низкого электрического сопротивления и высокой продольной проводимости в геоэлектрических разрезах земной коры Центрального Тянь-Шаня свидетельствует [9]: 1) об их приуроченности к разломным структурам; 2) о листрической форме глубинных разломов; 3) о глубинах залегания кровли корового проводящего слоя; 4) о существовании в указанных интервалах земной коры зон повышенной трещиноватости или пластичности; 5) о совпадении сейсмических волноводов и зон повышенной электрической проводимости.

Новые представления о распределении скоростных аномалий в земной коре и верхней мантии при включении большего объема данных в исследование существенно расширяют понимание о расслоенности исследуемой территории.

*Работа проводится при частичной поддержке гранта Российского научного фонда (РНФ) № 16-17-10059.*

## Литература

1. Забелина И.В., Кулаков И.Ю., Буслов М.М. Выявление глубинных механизмов горообразования Киргизского Тянь-Шаня по результатам сейсмической томографии // Геология и геофизика. 2013. Т. 54. № 7. С. 906-920.
2. Непейна К.С. Обзор современной практики использования группирования сейсмометров на примере Средней Азии // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов X Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек: НС РАН. 2018. С. 85-90.
3. Ан В.А., Годунова Л.Д., Каазик П.Б., Челюбеева Т.В. Подземный ядерный взрыв «инструмент» исследования динамики внутреннего строения Земли // Вестник НЯЦ РК. 2006. Вып. 2. С. 27-32.
4. Багманова Н.Х., Меджитова З.А. Волновая картина от подземных ядерных взрывов и её использование для подтверждения сейсотомографической модели Тянь-Шаня // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2017. № 2(10). С. 14-25.
5. Nereina K., An V. The refined USSR Peaceful Nuclear Explosions database for Borovoye geophysical observatory // Data. 2019. Vol. 4. No. 2. Pp. 56.
6. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия) / Отв. ред. В.И. Макаров. М.: Научный мир. 2005. 400 с. [www.gdirc.ru/files/libs/6.pdf](http://www.gdirc.ru/files/libs/6.pdf) [дата обращения 23.01.2020].
7. Брагин В.Д., Баталев В.Ю., Зубович А.В., Лобанченко А.Н., Рыбин А.К., Трапезников Ю.А., Щелочков Г.Г. О качественных связях современных движений с геоэлектрическим разрезом земной коры Центрального Тянь-Шаня и распределением сейсмичности // Геология и геофизика. 2001. Т. 42. № 10. С. 1610-1621.
8. Адамова А.А., Сабитова Т.М. Трехмерная скоростная модель земной коры Тянь-Шаня // Физика Земли. 2004. № 5. С. 58-67.
9. Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Рыбин А.К. Взаимосвязь аномалий электропроводности, скоростных характеристик и режима сейсмичности литосферы Центрального Тянь-Шаня // Литосфера. 2015. № 5. С. 81-89.

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ ТИТАНА ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮВЕЛИРНОГО СКАПОЛИТА ЧЕРНОГОРСКОЕ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПАМИР (ТАДЖИКИСТАН)

Одинаев Ш.А., Литвиненко А.К.

*sharif.geologist@mail.ru, akl1954@yandex.ru*

Российский государственный геологоразведочный университет имени С. Орджоникидзе, г. Москва, Российская Федерация

*В породах месторождения ювелирного скаполита Черногорское установлена стадийность в образовании минералов титана: от ильменита (ранний) к титаниту (средний) и затем к рутилу (поздний). Изоморфные элементы в минералах данной триады свидетельствуют о том, что вмещающие их ортоамфиболиты являются продуктом изменения щелочных габброидов. В минералах титана содержатся высокие количества редкоземельных элементов.*

*Ключевые слова: Центральный Памир, музкольская серия, сарыджилгинская свита, кукуртский комплекс, месторождение ювелирного скаполита Черногорское, ильменит, титанит, рутил, редкоземельные элементы, щелочные габброиды.*

### Введение

Черногорское месторождение ювелирного скаполита расположено в восточной части тектонической зоны Центрального Памира, крайний восток Республики Таджикистан (рис.1). Современные представления о тектоническом развитии региона рассмотрены в многочисленных публикациях [1, 2-5].

Неравномерное распределение ювелирной скаполитовой минерализации, резкие колебания качественных характеристик самоцвета, большие объёмы "пустых" пород позволили отнести его к 4-й группе сложности. Геологические, минералогические и генетические особенности скаполитовой минерализации рассматриваемого месторождения приведены [1, 6-8,10,11].

### Материалы и методы исследования

В работе исследовались образцы горных пород и минералов, отобранных на месторождении в 2015 и 2018 годах. Минеральный состав определялся на петрографическом микроскопе Полам-Р211 и заверялся рентгенофазовым анализом на приборе ДРОН-3М, аналитик А.В. Фёдоров, МГРИ им. Серго Орджоникидзе. Химический состав минералов исследовался методом микрорентгеноспектрального анализа на приборе «Самес» SX 100 ВДС, 15 кВ, 30 нА, аналитик Н.Н. Кононкова, ГЕОХИ РАН. Определение химических составов пород и титанита и рутила проводилось при помощи рентгеноспектрального флуоресцентного спектрометра AXIOS Advanced, с рентгеновской трубкой, оснащённой Rh анодом, мощностью 3 kW, аналитик Т.Г. Кузьмина, И.А. Рощина, А.И. Якушев ГЕОХИ РАН и ИГЕМ РАН. Состав микрохимии титанита и рутила проводились с помощью масс-спектрометрического (ICP-MS) анализа в лаборатории Института минералогии ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН г. Миасс, аналитик К.А. Филиппова.

Целью представленного исследования является установление стадийности в образовании минералов титана: ильменита, титанита и рутила, а также характер распределения в них редкоземельных элементов.

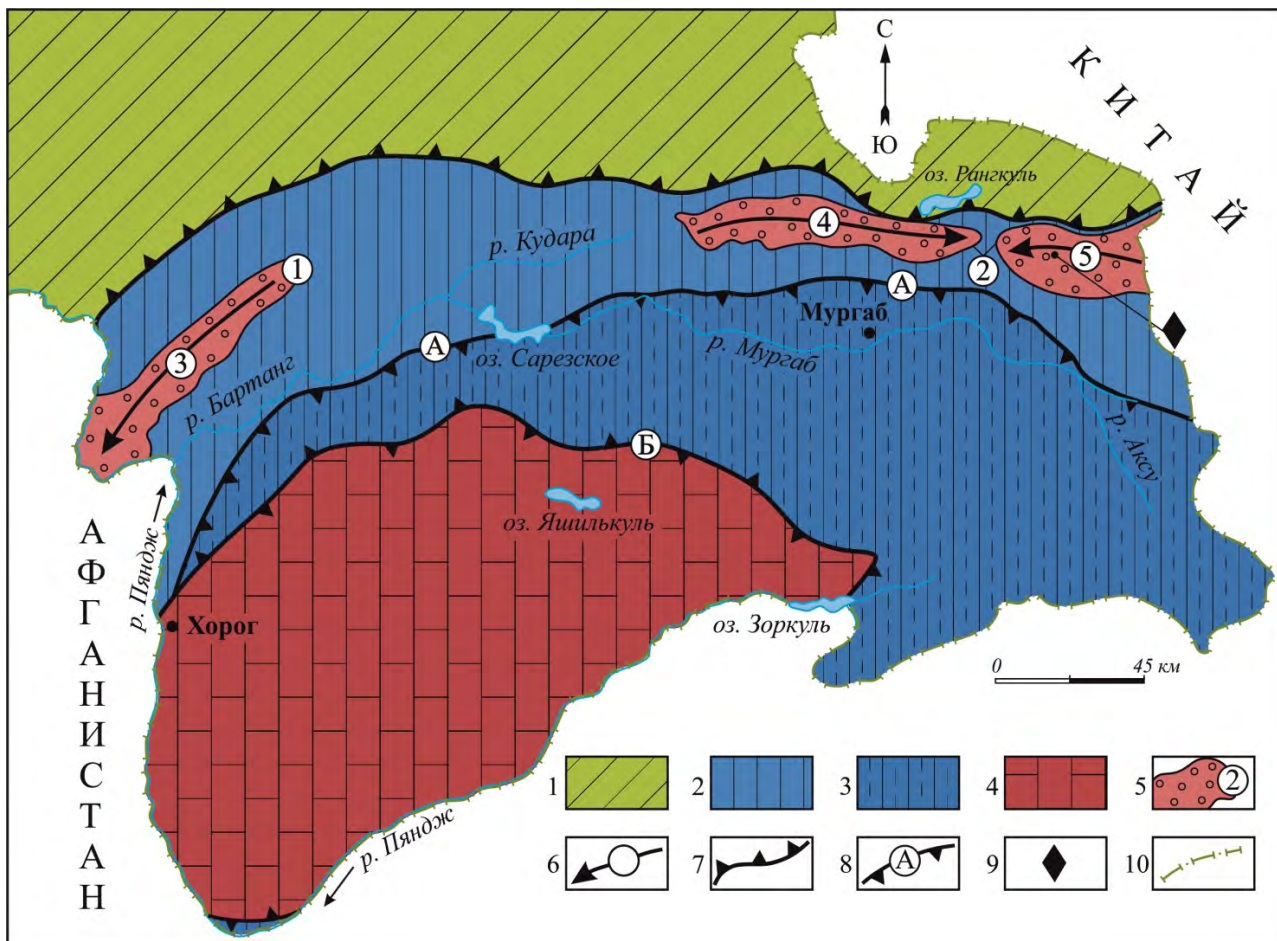


Рисунок 1 – Положение объекта исследования и месторождения скаполита Черногорское в тектонической структуре Памира. Тектоническая схема по [12] с изменениями и дополнениями авторов.

1 – герцинская Северопамирская складчатая система. 2–4 – тектонические зоны в киммерийской складчатой системе Южного Памира: 2 – Центральный Памир, 3 – Юго-Восточный Памир, 4 – Юго-Западный Памир. 5 – фундамент Центрального Памира, цифры в кружках (1–2) метаморфические серии: 1 – шипадская, 2 – музкольская. 6 – антиклинории, стрелка указывает направление погружения шарнира: 3 – Ванч-Язгулемский, 4–5 – Музкол-Ранкульский: 4 – Сарымулинская и 5 – Шатпутская антиклинали. 7 – разлом между складчатыми системами – Ванч-Акбайтальский. 8 – разломы между тектоническими зонами (А, Б): А – Рушанско-Пшартский, Б – Гунт-Аличурский. 9 – месторождение Черногорское. 10 – государственная граница Республики Таджикистан на юге и западе проходит по реке Пяндж – верхнему течению р. Аму-Дарья.

### Региональное положение месторождения

Территория месторождения Черногорское находится в Музкол-Ранкульском антиклинории, состоящем из двух тектонических блоков: Сарымулинского (на западе) и Шатпутского (на востоке), перекрытых в центральной части палеозойско-мезозойскими вулканогенно-осадочными породами (рис. 2). Месторождение находится на юго-западном фланге Шатпутского блока [1, 8].

Музкол-Ранкульский на востоке и Ванч-Язгулемский антиклинорий на западе являются тектоническими элементами зоны Центрального Памира. Они представляют выходы докембрийского основания, на котором вследствие тектонической активизации в кайнозое сформировались гранито-гнейсовые купола [4,5].

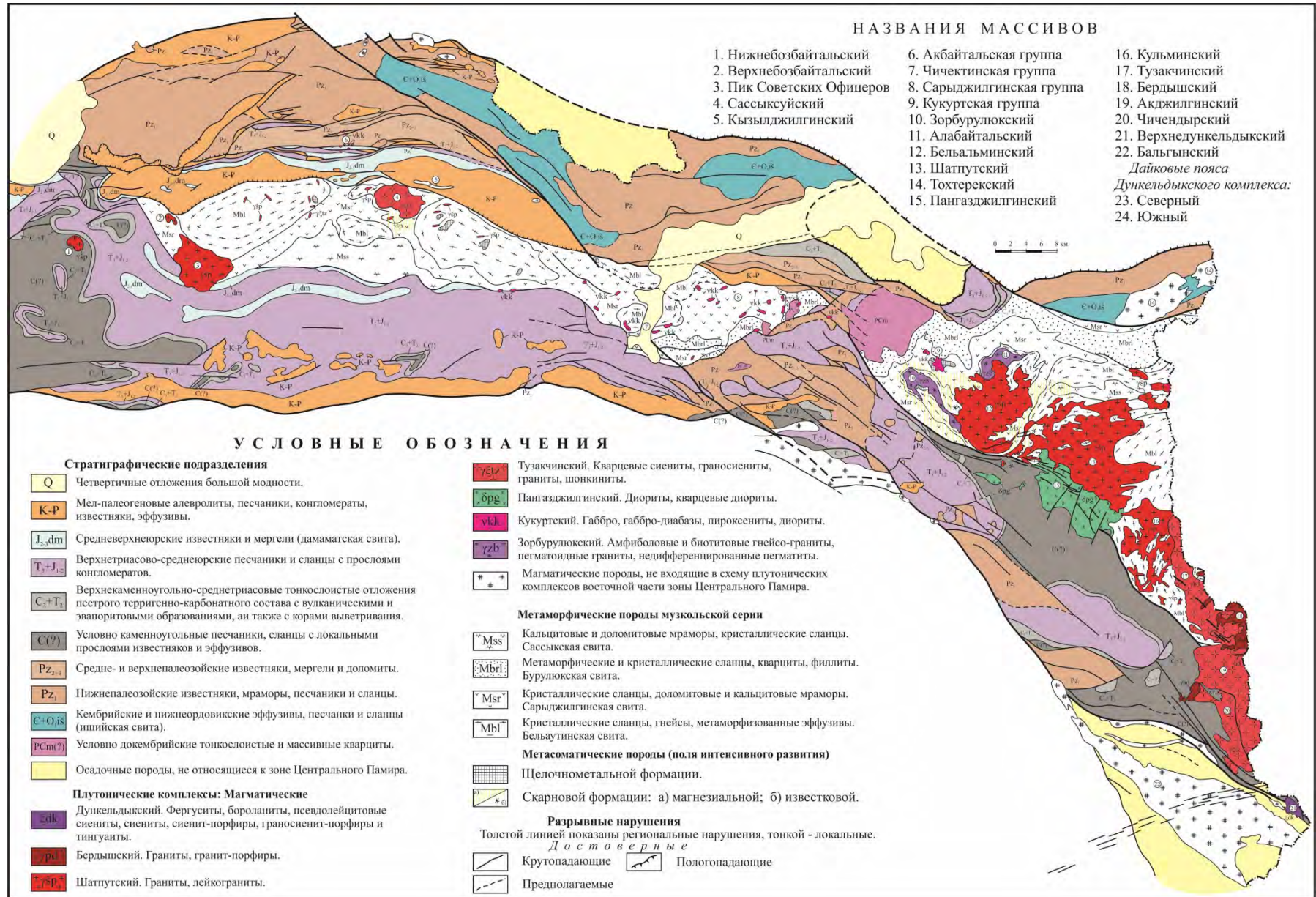


Рисунок 2 – Карта плутонических комплексов восточной части Центрального Памира. По Минаеву В.Е. и др., 1971.

Музкольская метаморфическая серия мощностью около 6 км сформировала тектоническую структуру – Музкол-Рангкульский антиклинорий. Серия состоит из четырех свит снизу-вверх: сассыкской, белеутинской, сарыджилгинской и бурулюкской [9].

Музкольская серия претерпела полициклический метаморфизм от высокотемпературной амфиболитовой до эпидот-амфиболитовой и зеленосланцевой фации [9]. Возраст первого метаморфического цикла 1,9–1,6 млрд. лет [9]. Он протекал в условиях высокотемпературной амфиболитовой фации:  $T = 700\text{--}750\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $P = 8\text{--}9$  кбар. Второй цикл состоялся 0,1–0,02 млрд. лет назад и проявился зонально [9] в P–T условиях от  $800\text{ }^{\circ}\text{C}$  и 9 кбар (зона полного плавления) в центральной части антиклинория и по направлению к периферии через эпидот-амфиболитовую к зеленосланцевой фации при  $350^{\circ}$  и 4 кбар.

Вмещают месторождение Черногорское метаморфические породы сарыджилгинской свиты мощностью 1300 м. Важное значение в её составе и всей серии играют магматические породы трёх интрузивных комплексов, двух докембрийских: кукуртский (лерцолиты, гарцбургиты, пироксениты, калиевые габброиды, нефелиновые сиениты, шонкиниты, ийолиты, уртиты,) и зорбурулюкский (гнейсограниты), а также палеогенового – шатпутский комплекс (граниты и пегматиты).

### Геологическое строение месторождения

Площадь месторождения составляет  $360 \times (110\text{--}180)$  м [8]. Вмещающие породы представлены двумя типами, имеющими субширотное простирание с падением на север под углами  $60\text{--}75^{\circ}$ . Мы их разделяем по цвету на темные и светлые [7,8,11]. В светлых породах авторами установлены реликты нефелина и содалита [9, 13].

Типоморфной особенностью месторождения является широкое распространение (до ранга породообразующего) минералов титана: ильменита, титанита, рутила. В контуре месторождения площадью  $360 \times 110\text{--}180$  метров, сложенной амфиболитами и альбититами, нами выявлена стадийность в образовании титановых минералов: от ильменита через титанит к рутилу. Эта последовательность титановых фаз представляет отражение эволюции двух тектоно-метаморфических циклов регионального метаморфизма (высокотемпературной амфиболитовой к эпидот-амфиболитовым и зеленосланцевым фациям): от докембрийских эндогенных процессов минералообразования к альпийскому.

В тёмных участках пород (в амфиболитах) присутствуют ильменит и титанит в количестве 6–8 %, а в светлых (альбититах) – титанит и рутил (рис. 3). Размеры ильменита – до 0.5 см в поперечнике и он не образует кристаллов. Титанит и рутил наблюдаются как в форме кристаллов, так и неправильных зёрен и агрегатов до 7 см в поперечнике (рис. 4).

Нами проанализированы зёрна ильменита (из амфиболитов) в шлифах и крупные кристаллы титанита и рутила из карбонатных жил – самого позднего минерального комплекса, заместившего амфиболиты. Ильменит был исследован только микронзондовым, а титанит и рутил, рентгенофлюоресцентным – также и ICP-MS анализом (табл. 1).



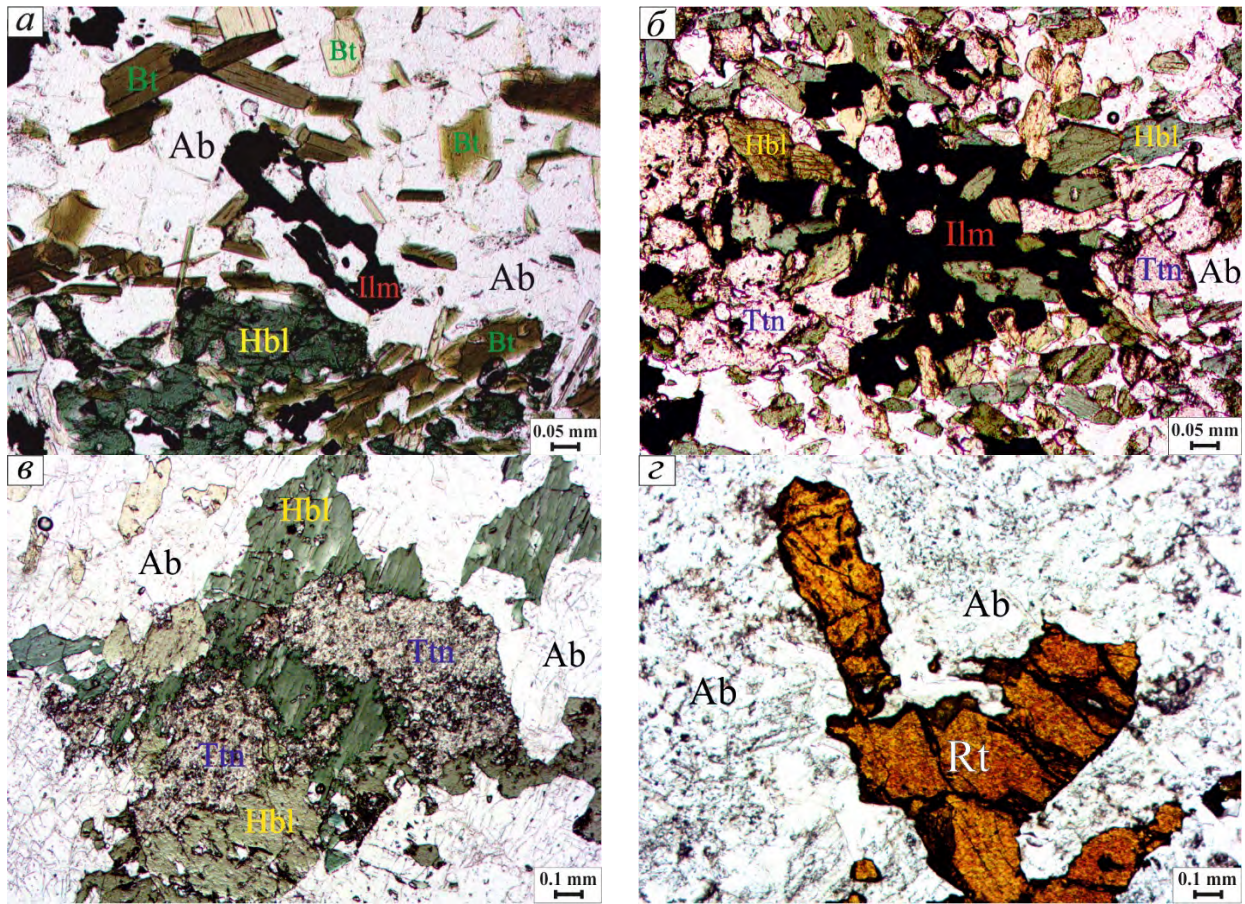


Рисунок 3 – Минералы титана в различных ассоциациях: а – «скелетный» кристалл ильменита в альбитовом агрегате; б – замещение ильменита роговой обманкой и титанитом; в – титанит замещается роговой обманкой и альбитом; г – рутил в альбите. Сокращения названий минералов: Ab – альбит. Bt – биотит. Ilm – ильменит. Hbl – роговая обманка. Rt – рутил. Ttn – титанит. Phl – флогопит. Cal – кальцит. Dol – доломит. Scp – скаполит. Chl – хлорит. Kfs – калишпат

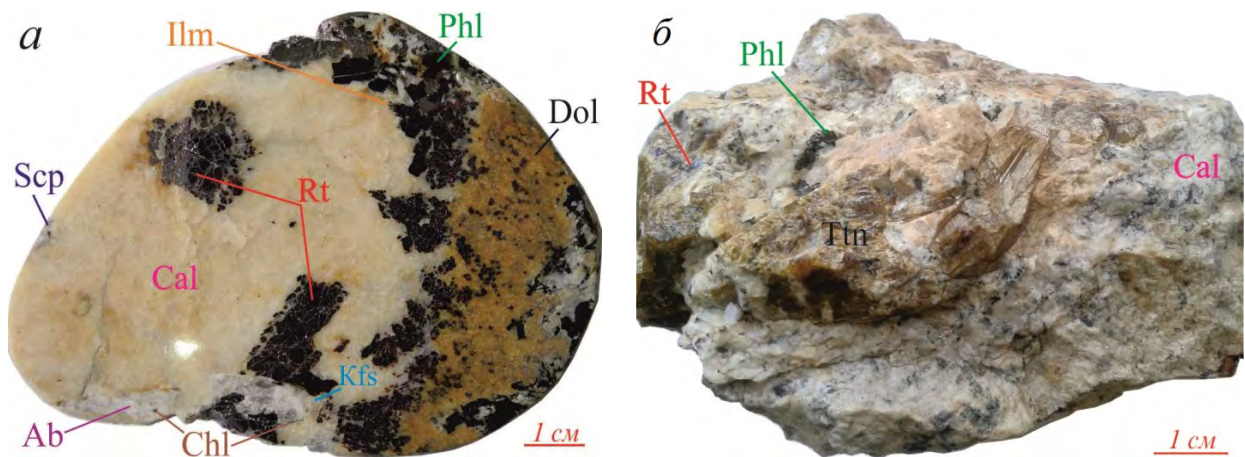


Рисунок 4 – Штуфы различных стадий образования карбонатов. а – карбонатная порода с редкими реликтами силикатов, с рутилом без титанита. б – карбонатная порода с ещё более редкими реликтами силикатов, с титанитом и редким рутилом

В составе титанита рентгенофлюоресцентным анализом выявлена группа изоморфных элементов:  $Nb_2O_5$  – 0.18,  $ZrO_2$  – 0.16,  $ThO_2$  – 0.05,  $CeO_2$  – 0.17,  $Gd_2O_3$  – 0.05,  $Nd_2O_3$  – 0.19,  $Sm_2O_3$  – 0.07,  $SnO_2$  – 0.17,  $WO_3$  – 0.017 мас.%. Рутил содержит меньшее количество изоморфных элементов:  $Nb_2O_5$  – 0.29,  $ZrO_2$  – 0.06 мас.%.

Таблица 1 – Химический состав ильменита (1), титанита (2) и рутила (3)

№	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F
1	0,12	47,5	46,1	0,7	3,6	0,3	0,13	0,06	0,16	0,24	0,3
2	30,0	37,9	1,2	0,1	0,3	27,3	0,06	0,03	0,08	0,44	0,3
3	98,23	н.о.	0,81	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.

Примечание. Кроме того в составе ильменита и титанита присутствуют Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> соответственно 0.07 и 1.52, CoO соответственно 0.13 и 0.10 и NiO – 0.14 и 0.08 а в составе рутила Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 0.2 мас.%. Анализ выполнен методом микрорентгеноспектрального анализа на приборе "Самса" SX 100, аналитик Н.Н. Кононкова, ГЕОХИ РАН.

В титаните методом ICP-MS установлены в мг/кг: Fe – 11810, Zn – 24, Sc – 5.76, Ti – 1137, V – 2.07, Cr – 57.8, Mn – 1176, Co – 1.63, Ni – 6.27, Cu – 6.35, Se – <2.40, Sr – 556, Y – 128, Ba – 29.6, La – 51.2, Ce – 121, Pr – 12.9, Nd – 58, Sm – 13.1, Eu – 2.9, Gd – 16.1, Tb – 2.40, Dy – 17.1, Ho – 3.63, Er – 13.4, Tm – 1.94, Yb – 15.2, Lu – 2.21, Pb – 4.99. Анализы выполнены в лаборатории Института минералогии УрО РАН, Миасс, Челябинск, аналитик Филиппова К.А.

### Выводы

Из этих данных следует, что редкие и редкоземельные металлы концентрируются в минералах титана. Высокие содержания ниобия в титаните и рутиле могут свидетельствовать [14,15] о том, что одной из дометаморфическим породам месторождения являлись магматические щелочные ультраосновные породы с натриевой щёлочностью. Мы предполагаем, что это были мельтейгиты.

Полученные данные о редких и редкоземельных металлах имеет важное геологическое значение. В 1990 году в ходе групповой геологической съёмки масштаба 1:50000. В устье реки Зорбурулюк по вторичным потокам рассеяния была установлена редкоземельная аномалия. Её коренной источник не был установлен. Месторождение Черногорское расположено на левом борту данной долины и позволяет выдвинуть его в качестве коренного источника для образования данной REE аномалии.

### Литература

1. Литвиненко А.К., Моисеева С.Б., Одинаев Ш.А., Утенков В.А. Геология Черногорского месторождения ювелирного скаполита на Центральном Памире (Таджикистан) // Геология рудных месторождений. 2019. Т. 61. № 5. С. 96-108.
2. Aminov J., Dupont-Nivet G., Guillot S., Roperch P., Cordier C. et al. Tectonic evolution of the South and Central Pamir terranes from petrologic and paleomagnetic analyses of Cretaceous-Paleogene volcanics // Geophysical Research Abstracts. 2019. Vol. 21. EGU2019-14069.
3. Käßner A., Ratschbacher L., Jonckheere R., Enkelmann E., Khan J. et al. Cenozoic intracontinental deformation and exhumation at the northwestern tip of the India-Asia collision – southwestern Tian Shan, Tajikistan, and Kyrgyzstan // Tectonics. 2015. Vol. 35. Iss. 9. P. 2171–2194.
4. Rutte, D., Ratschbacher, L., Schneider, S., Stubner, K., Stearns, M.A., Gulzar, M.A., and Hacker, B.R. Building the Pamir-Tibetan Plateau - Crustal stacking, extensional collapse, and lateral extrusion in the Central Pamir: 1. Geometry and kinematics. Tectonics, 2017a. 36: pp. 342–384. doi:10.1002/2016TC004293.
5. Rutte, D., Ratschbacher, L., Khan, J., Stübner, K., Hacker, B.R., Stearns, M.A., Enkelmann, E., Jonckheere, R., Pfänder, J.A., Sperner, B., and Tichomirowa, M. Building the Pamir-Tibet Plateau—Crustal stacking, Extensional Collapse, and Lateral Extrusion in the Central Pamir: 2. 2017b. Timing and Rates. Tectonics.
6. Дмитриев Э.А., Скригитель А.М. Минералогия ювелирных скаполитов Восточного Памира // Докл. АН Тадж. ССР. 1982. Т. 25. № 10. С. 612–614.

7. Литвиненко А.К., Моисеева С.Б., Одинаев Ш.А. Условия образования стенок пустот на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир // Материалы междунар. науч.-практ. конф. «Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ)». Т. I; МГРИ-РГГРУ им. Серго Орджоникидзе. М.: Изд. НПП «Фильтроткани». 2018. С. 220-221.
8. Литвиненко А.К., Одинаев Ш.А. СО-NI оруденение на месторождении ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир // Материалы XIV междунар. науч.-практ. конф. «Новые идеи в науках о Земле». Т. II: «Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле - минерагении, минералогии и геммологии, петрологии и геохимии». МГРИ им. Серго Орджоникидзе. М.: Изд. НПП «Фильтроткани». 2019. С. 114-117.
9. Расчленение стратифицированных и интрузивных образований Таджикистана. Душанбе: Дониш. 1976. 207 с.
10. Солодов Н.А., Семёнов Е.И., Бурков В.В. Геологический справочник по тяжёлым литофильным редким металлам. М.: Недра. 1987. 438 с.
11. Литвиненко А.К., Одинаев Ш.А., Малахов Ф.А. Первая находка содалита и нефелина на месторождении ювелирного скаполита Черногорское (Центральный Памир) // Разведка и охрана недр. 2019. № 7. С. 17-22.
12. Бархатов Б.П. Тектоника Памира. Л.: ЛГУ, 1963. 243 с.
13. Литвиненко А.К., Одинаев Ш.А., Верчеба А.А. Кобальт и никель в нерудных минералах месторождения ювелирного скаполита Черногорское, Центральный Памир // Горный журнал. 2019. № 11. С. 50-53.
14. Одинаев Ш.А., Литвиненко А.К. Метасоматические карбонатиты междуречье Кукурт-Зорбурулюк, Центральный Памир (Республика Таджикистан) // Сборник статей VII Всерос. молодёжной конф. «Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий». Уфа: РН-БашНИПИнефть. 2019. С. 104-108.
15. Одинаев Ш.А. Находка щелочных минералов (нефелин, содалит, калишпат и альбит) на Черногорском месторождении ювелирного скаполита на Центральном Памире (Таджикистан) // Сб. статей студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей ВУЗов геологического профиля. XXV Всерос. науч. конф. «Уральская минералогическая школа 2019». Конференция приурочена к 80-летию Института геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого. УрО РАН. Екатеринбург: Альфа Принт. 2019. С. 106-109.

**МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ АКДЖИЛГИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ**

Ошурмамадов А.К., Асмаатов И.Х.

*vulcanite@bk.ru, ikhtiyor.asmatov.91@mail.ru*

ФТОО «С.А. Minerals» в Таджикистане, г. Душанбе, Республика Таджикистан

*Акджилгинское рудное поле является одним из фрагментов крупного рудного серебряносного пояса. В будущем встанет вопрос о комплексном освоении всего района, тем более что не исключается возможность открытия новых более богатых объектов.*

*Ключевые слова: сидерит, тетраэдрит, диабаз, гнейс, граниты, лампрофир, барит, рудопроявления, минерализация.*

В пределах Южного Памира выделена большая группа серебрянорудных объектов, основная масса которых (более 90 %) в пространстве образует линейно-вытянутый пояс, контролируемый крупным Лянгар-Акджилгинским разломом. По данным дешифрирования разлом пересекает несколько зон Памира и смещает межзональные границы на расстояние в 10-20 км. В связи с этим он трактуется как трансзональный. Протягивается в восток-северо-восточном направлении с территории Афганистана на юго-западе через ЮЗ Памир, ЮВ Памир и центральный Памир и уходит на северо-востоке на территорию Китая. Структура образована в результате субмеридионального сжатия. Смещает линию Рушано-Пшатского разлома. Время заложения - плиоцен или четвертичный период.

Региональными работами по металлогеническому районированию [1,2] в пределах складчатой области Южного Памира выделен Гунт-Базардаринский район, площадью порядка 4000 км<sup>2</sup>, при длине 120-130 км. Здесь группируются наиболее перспективные серебрянорудные объекты Памира и в том числе рудопроявление Акджилга, сопровождаемое большим количеством менее значительных проявлений и пунктов минерализации [1]. Он трактуется как часть Токузбулак – Базардаринской фтор – вольфрам – олово – серебряной металлогенической зоны, ограниченной на северо-западе Лянгар-Акджилгинским а на юго-западе Мац-Кокбайским разломами. Его юго-восточной границей служат тектонические ограничения Койтезакского и Памирского плутонов, Токузбулак-Базардаринская металлогеническая зона пространственно совпадает с выделяемой [3] одноименной рифтогенной структурой с бимодальным монцогаббро-монодиорит-монцонит-гранитным магматизмом, соответствующим шошонитлатитовой серии. Она фиксируется цепочкой меловых интрузии и по характеру разрывных и пликтивных структур [3].

Распределение оруденения в пределах Токузбулак-Базардаринской металлогенической зоны носит явно выраженный узловый характер. В пределах зоны выделяются Токузбулакский серебрянорудный с полиметаллами, Маржанайский серебрянорудный с полиметаллами и оловом и Базардаринский фтор-вольфрам-олово-серебрянорудный районы. Наряду с общими минералогическими и геохимическими признаками, в пределах зоны отмечается явно выраженная тенденция в направлении к юго-западу смены существенно сульфасольного оруденения (Базардаринский район) свинцово-цинковым (Токузбулакский район).

Токузбулакский рудный район расположен на крайнем юго-западе этой металлогенической зоны. Сложен глубокометаморфизованными (гнейсы, кварциты, мрамора) породами докембрия, прорванными гранодиоритами, гранитами и монцонитами аличурского комплекса. Широко развиты дайки аплитов, гранит- и гранодиорит-порфиоров, диабазов и лапрофиоров. Оруденение моложе всех магматических образований известных в пределах рудного района. Оно представлено кварц-сидерит-сульфидными, барит-сульфидными, безрудными баритовыми и сидеритовыми жилами и жильными зонами. Из

рудных минералов преобладают галенит, сфалерит, халькопирит, тетраэдрит, пирит. В подчинении бурнонит, пираргирит, полибазит, серебро самородное. Жильные представлены кварцем, сидеритом, баритом, в меньшей степени отмечен анкерит, кальцит. Серебро в рудных достигает первых кг/т (в среднем 300-400 г/т), свинец и цинк – первых процентов. Отмечаются повышенные содержания меди, сурьмы, висмута, меньше - олово и золото. Месторождение Токузбулак в ряде проявлений (Бачор, Новое, Баритовое) является типичным представителями серебро-полиметаллической формации с широким развитием в рудах барита.

Марджанайский рудный район объединяет большую группу рудопроявлений, относящихся к серебряно-свинцовой и полиметалльно-серебряной (серебро-сурьмяной по А.С. Борисенко) формациям. Они локализованы среди гранитов, гранодиоритов и монзонитов аличурского комплекса, известняков юры и древних метаморфических пород. Оруденение представлено зонами дробления с сидеритовыми, сидерит-баритовыми, кварц-сидеритовыми жилами и прожилками. Главными рудными минералами являются галенит и тетраэдрит. В меньших количествах встречаются халькопирит, пирит, бурнонит, тенантит, антимонит, арсенопирит. Содержание серебра в рудах достигает первых кг/т, свинца - первых процентов. Повышенные содержания отмечаются для меди, сурьмы, висмута, меньше - олово, ртуть [4,5].

Более интенсивно полиметалльно-серебряное (серебро-сурьмяное) оруденение проявлено в пределах Базардаринского рудного района, известного по широко развитому здесь вольфрамовому оруденению [5]. Здесь известны также рудопроявления с серебряно-свинцовыми, флюоритовыми, баритовыми и ртутными рудами [6]. Базардаринский рудный район расположен в пределах Юго-Восточной структурно-формационной зоны Южного Памира и представляет антиклинорный блок, центральная часть которого сложена массивом гранитоидов Базардаринского комплекса. В основу тектонического районирования положена схема В.И. Дронова [6] с использованием материалов геологических съемок масштаба 1:50000.

Породы, слагающие рудный район, образуют единый структурно-формационный комплекс, залегающий на докембрийском фундаменте, и представлены терригенными, вулканогенными и карбонатными отложениями. В современном эрозионном срезе образования фундамента обнажаются на севере района (каиндинская и ниязакская серии верхнего протерозоя) и на юге (северо-аличурская и гапарджилгинская серии верхнего протерозоя), слагающие антиклинальные структуры широтного простирания.

Граница раздела разноплотностных фундаментов фиксируется гравиметрией на геолого-геофизических разрезах [6].

Каменноугольно-триасовый этаж разделен на два структурных яруса: каменноугольного-нижнепермский и верхнепермско-триасовый.

Акджилгинское рудное поле (рудопроявление Акджилга) расположено в западной части Базардаринского района на замыкании одноименного антиклинория в периферической части гранитного массива в зоне развития разломов северо-восточного и меридионального простирания.

Район месторождения является частью Базардаринского рудного района, наиболее перспективного на редкие и благородные металлы. Здесь расположены многочисленные рудопроявления, в основном олова, и в меньшей степени вольфрама, серебра и плавикового шпата. Здесь находится разведанное, с утвержденными запасами, боросиликатное месторождение Акархар. Первые сведения о наличии серебряной минерализации на площади были получены в 1962 г. (Рахимов, 1963).

Региональными работами по металлогеническому районированию [7] в пределах складчатой области Южного Памира выделен Гунт - Базардаринский район, площадью порядка 4000 км<sup>2</sup>, при длине 120-130 км. Здесь группируются наиболее перспективные серебрянорудные объекты Памира и, в том числе, месторождение Якчилва, сопровождаемое большим количеством менее значительных проявлений и пунктов минерализации.

Рудное поле Якчилва расположено в западной части Базардаринского района на замыкании одноименного антиклинория в периферической части гранитного массива в зоне развития разломов северо-восточного и меридионального простирания.

Площадь рудного поля сложена карбонатно-терригенными отложениями пермско-триасового возраста. Магматические образования составляют около 70 % площади рудного поля и являются западной частью резко дискордантного батолита (Базардаринского интрузива) изометричной в плане формы с куполообразной апикальной поверхностью.

Оруденение представлено жилами и прожилками сидерита, кварц - сидерита, флюорит - сидерита, флюорита в зонах дробления и швах тектонических трещин. Среди рудных минералов резко преобладает тетраэдрит, являющийся основным носителем серебра в рудах.

В меньших количествах встречаются халькопирит, висмутин, арсенопирит, галенит и многочисленные сульфосоли. Содержания серебра колеблется от сотен г/т до первых десятков кг/т, сурьмы и меди – десятые доли процента, свинца, висмута, цинка и олова до сотых процента.

В геологическом строении рудного поля принимают участие осадочные и вулканогенно-осадочные отложения каменноугольно-триасового структурно-формационного этажа, который делится на два структурных яруса – каменноугольно-карбонатно-нижнепермский и верхнепермско-триасовый.

Первый сложен мощными (до 1500 м) отложениями песчано-сланцево-алевролитовой формации с подчиненным количеством карбонатно-терригенных и вулканогенно-карбонатно-терригенных осадков.

Верхнепермско-триасовый ярус представлен вулкано-терригенно-карбонатной, карбонатно-кремнистой и песчано-глинисто-алевролитовой формацией (мощность 1000 м).

В меловое время происходило коробление Базардаринской структуры с проявлением пликативной и дизъюнктивной тектоники, блоковыми движениями, сопровождаемыми внедрением в осевой части массива интрузивных пород кислого состава, с которыми связываются образования высокотемпературных проявлений олова, вольфрама, бора, размещение которых контролируются древними субмеридиональными и субширотными разломами.

В неогеновое время по субмеридиональным разрывам происходило формирование низкотемпературных минеральных ассоциаций с оруденением свинца, серебра, висмута, меди, флюорита и др.

В современной структуре район представляет собой купольное поднятие (Базардаринский антиклинорий), сформированное в каменноугольно-триасовое время и осложненное в альпийский этап тектономагматической активизации. Антиклинорий вытянут в северо-западном направлении, и состоит из системы субмеридиональных складок, не совпадающих с направлением главных структур Памира.

Рудоконтролирующим является разлом Якчилва (структура I порядка). Он протягивается в северо-восточном направлении на 20 км. Падение его крутое – 60<sup>0</sup>-80<sup>0</sup> в северо-западных румбах. Почти на всем протяжении разлом проходит в осадочных породах, выражаясь зоной дробления и брекчирования мощностью 10-20 м. в северной части рудного поля разлом трассируется в виде широкой (20-30 м) полосы осветления и дробления в гранитах. По зоне разлома развита кварцевая и сидеритовая минерализация в виде цемента и маломощных прожилков (Рис.1).

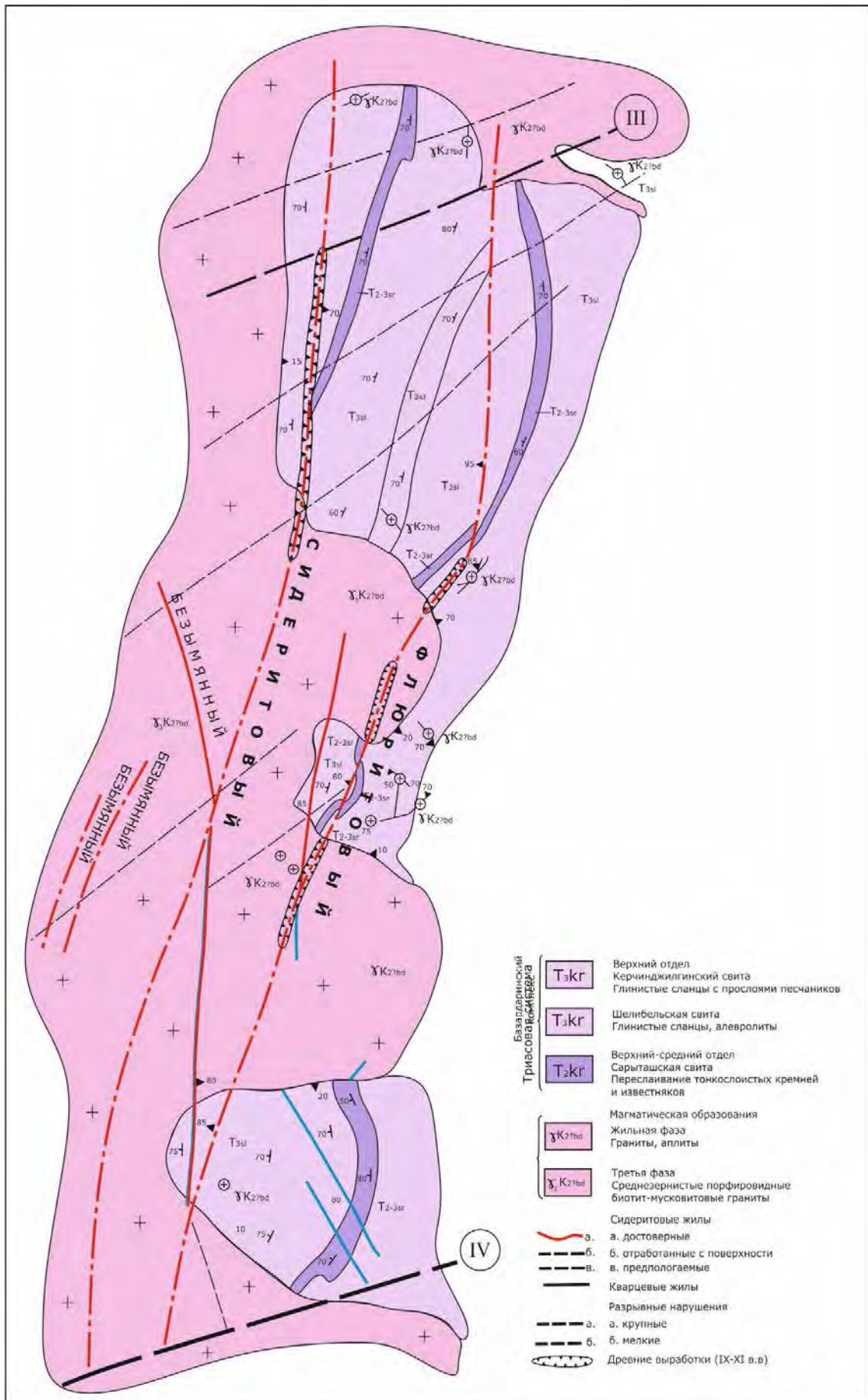


Рисунок – Схематическая геологическая карта участка Аджилгинский

### Литература

1. Аверьянов Г.С., Павловский А.Б. Геология оловорудных районов и месторождений Памирской оловоносной области // Геология оловорудных месторождений СССР. В 2 т. Т. 2. Кн. 2. М.: Недра.1986. С. 103-110.
2. Безуглый М.М., Тютин М.А. Рудно магматическая зональность Юго-Восточного Памира // ДАН Тадж. ССР. 1988. Т. 31. № I. С. 47-50.
3. Владимиров А.Г., Беляева Р.Т., Пономарчук В.А. Позднемезозойский магматизм Южного Памира // Гранитоидный магматизм и оруденение Базардаринского горнорудного района. Новосибирск. 1990. С. 19-69.
4. Дронов В.И., Левен Э.Я. К вопросу о геологии Юго-Восточного Памира // Сов геология. 1961. № 11. С. 21-36.
5. Павловский А.Б. Генетические типы и основные закономерности размещения оловорудных месторождений Тянь-Шаня // Сов. геология. 1974. № 8. С. 74-90.
6. Рубанов В.Г., Логачев В.П. Типовые структурные обстановки локализации оловянного оруденения в Базардаринском рудном районе (Ю.-В. Памир) // Гранитоидный магматизм и оруденение Базардаринского горнорудного района. Новосибирск. 1990. С. 113-123.
7. Тютин М.А., Безуглый М.М. Олово-вольфрамовые рудно-магматические системы Южного Памира // Гранитоидный магматизм и оруденение Базардаринского горнорудного района. Новосибирск. 1990. С. 3-19.



## ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, НА ПРИМЕРЕ УСТЮРТСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РЕГИОНА, СУДОЧЬЕГО ПРОГИБА

Рахимов М.Е.<sup>1</sup>, Касимова Д.Б.<sup>2</sup>, Ли А.В.<sup>2</sup>

*maximevgenyevich1993@gmail.com, dilfuzichka\_88@mail.ru, anastasiyali2019@gmail.com*

<sup>1</sup> ООО "GRDC", г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup> Филиал РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в г. Ташкенте, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан.

*В данной работе рассматривается решение интерпретации сейсмических данных и литолого-петрофизического моделирования по юрским отложениям на Судочьем прогибе, являвшемся газонасноперспективным регионом. Для решения поставленной задачи была проведена структурная интерпретация, выполнен подробный анализ результатов литолого-петрофизических исследований данных ГИС, определены граничные значения пористости, построена литолого-петрофизическая модель. Геологическое моделирование является основой для моделирования цифровой модели, качественная модель повышает коэффициент поиска и разведки нефтегазоперспективных залежей. Трехмерная модель интерпретировалась с учетом данных по коллекторам и непроницаемым глинистым пропласткам. В целом данная работа и её материалов комплексно промыслово-геофизических исследований позволила решить ряд геолого-промысловых задач. По результатам данной работы выявлена достаточно сильная аллювиальная картина, миандрирующая речная система, приуроченная к залежаниям юрского возраста. Как результат интерпретации были выявлены перспективные зоны, в которых можно выполнить заложение скважин.*

*Ключевые слова: структурная интерпретация, Устюртский нефтегазоносный регион, моделирование, ФЕС, геологоразведочных работы.*

Сейсморазведка является ведущим методом поиска месторождений углеводородов, ввиду того что с помощью данного метода геофизических исследований можно не только выделять отражающие горизонты (в отличии от других методов геофизических исследований, где получаемым результатом служит интерференционная картина среды) и идентифицировать различного рода структурные несогласия, посредством которых с большой точностью строить структурные карты (структурная интерпретация), но и получать значения пористости, флюидонасыщения и выполнять литофациальный анализ (динамическая интерпретация). Динамическая интерпретация заключается в определении искомым свойств изучаемой среды посредством анализа волновой картины [1].

Для получения максимально полного представления об изучаемой территории, геологи и геофизики стремятся использовать весь спектр имеющуюся в наличии информацию о геологическом строении, измеренные геофизические поля, опыт предыдущих работ и т.п. Стратиграфическая привязка скважин к сейсмическим данным является неотъемлемой и очень важной частью работы в любом интерпретационном проекте [2].

При структурной интерпретации авторами были выделены три горизонта и разломы, на базе которых был построен структурный каркас.

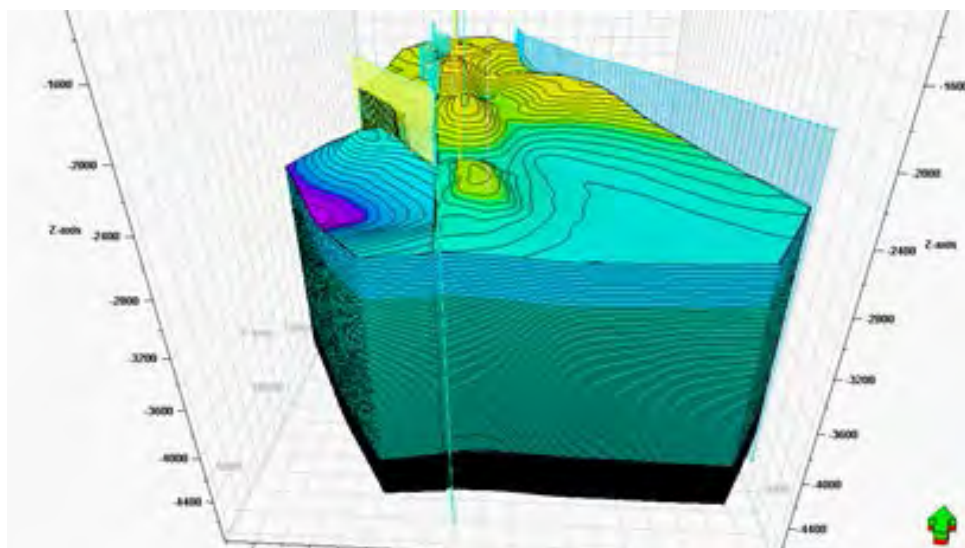


Рисунок 1 – Структурный каркас изучаемой области

Построение структурного каркаса позволяет объединить результаты структурной интерпретации. Алгоритм построения учитывает все взаимоотношения горизонтов и разломов. В результате мы получаем структурный каркас, подготовленный к геологическому моделированию. В процессе работы над объектом (горизонты и разломы) задаются параметры расположения в пространстве относительно друг друга. На этом этапе критически важным становится понимание структурно-тектонической эволюции резервуара, поскольку именно она определяет взаимоотношения горизонтов и разломов [3].

Геологическое моделирование является основой для моделирования цифровой модели и улучшения разработки месторождения. Качественная и подробная геологическая модель повышает коэффициент поиска, разведки и эксплуатации нефтегазоперспективных залежь. Построение геологической модели Судочий прогиб проводилось на базе сейсмической, промыслово-геофизической и петрофизической информации [4].

Трехмерная модель интерпретировалась с учетом данных по коллекторам и непроницаемым глинистым пропласткам, с использованием нерегулярных ячеек [5].

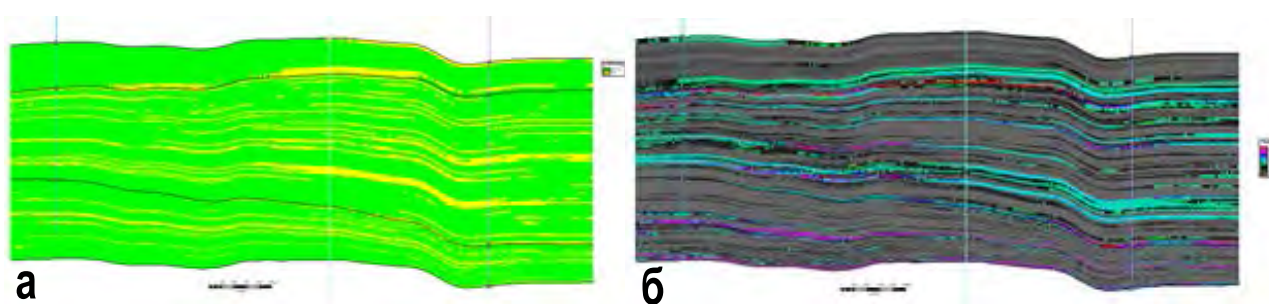


Рисунок 2 – Литологический (а) и Петрофизический (б) профиль модели перспективной площади на территории Судочьего прогиба

Моделирование параметров ФЕС осуществлялось только в пределах коллекторов и неколекторов. Пространственное распределение литолого-петрофизических типов пород и их параметров проведено с помощью трехмерной интерполяции или же геологических трендов, по анализу керновых материалов, на изучаемой области [6].

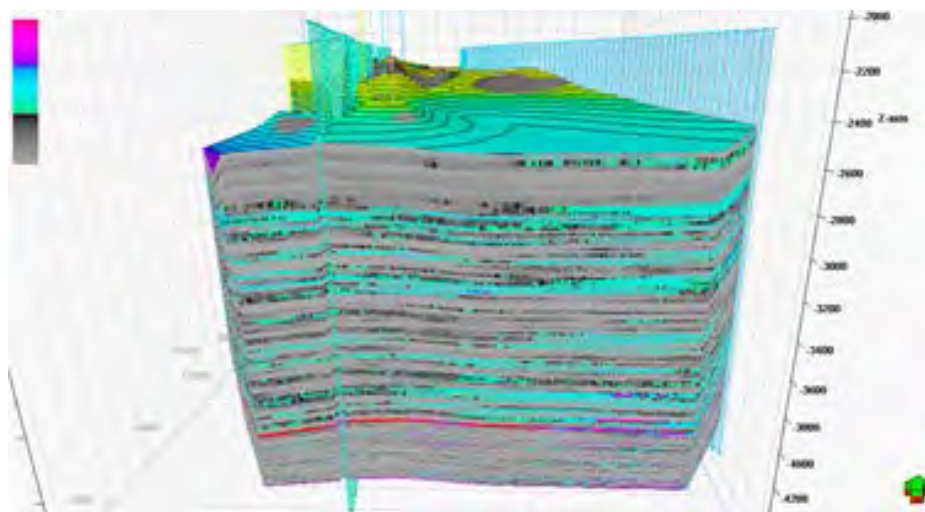


Рисунок 3 – Трёхмерная геолого-петрофизическая модель перспективного участка на территории Судочьего прогиба

Ввиду вышесказанного исходная геологическая модель изучаемого региона была ремасштабирована с шагом сетки по горизонтали 50\*50 м, а шаг по оси Z был увеличен до 25 м. При этом была сохранена детальность построения геологических моделей, что подтверждается схожестью послойного геолого-статистического разреза песчаных коллекторов, детальной и ремасштабированной модели [7].

В целом, качество геолого-геофизического материала позволяет использовать трёхмерное геологическое моделирование, с включением и подготовкой литологической и петрофизической информации. Комплекс промыслово-геофизических исследований позволил решить ряд геолого-промысловых задач, которые в свою очередь способствовали повышению качества геологоразведочных работ на изучаемой территории. По результатам данной работы выявлена достаточно сильная аллювиальная картина. Отмечена миандрирующая речная система, приуроченная к залеганиям юрского возраста. Как результат интерпретации были выявлены перспективные зоны, в которых можно рекомендовать на заложение поисково-разведочным скважин [8].

### Литература

1. Ампилов Ю.П. От сейсмической интерпретации к моделированию и оценке месторождений нефти и газа. М.: Спектр. 2008. 384 с.
2. Бабадаглы В.А., Изотова Т.С., Карпенко И.В. и др. Литологическая интерпретация геофизических материалов при поисках нефти и газа. М.: Недра. 1988. 256 с.
3. Сенилов М.А. Построение трехмерной геологической модели месторождений. Журнал «Наука о земле». М. 2012 С. 149-152.
4. Surhone L.M., Timpledon M.T., Marseken S.F. Corner-Point Grid. Betascript Publishing, 2011.84 p.
5. Кирилов А.С., Закревский К.Е. Практикум по сейсмической интерпретации в PETREL. М. 2014. 88 с
6. Лобусев А.В., Лобусев М.А., Назарова Л.Н. Моделирование разведки и разработки виртуального нефтегазового месторождения. М.: Недра. 2008. 125 с.
7. Аббасова С.А. Моделирование геологического строения сложнопостроенных ловушек углеводородов юрских отложений северо-западной части Бухаро-Хивинского региона. Дис. ... д-ра философии. Ташкент. 2019. 64 с.
8. Киршин А.В. Прогноз нефтегазовой перспективности локальных объектов Северо-Устьюртской синеклизы на основе комплексного анализа материалов полевой, промысловой геофизики и глубокого бурения. Ташкент. Фонды ИГИРНИГМ. 2006. 92 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ВАРИАЦИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ В ULF И VLF ДИАПАЗОНАХ

Салихов Н.М.<sup>1</sup>, Щепетов А.Л.<sup>2</sup>, Пак Г.Д.<sup>1</sup>

*NI\_Nazyf@mail.com*

<sup>1</sup>Институт ионосферы АО «Национальный центр космических исследований и технологий»,  
г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук,  
г. Москва, Российская Федерация

*В работе рассматривается возможность экспериментальной регистрации электромагнитных сигналов литосферного происхождения в диапазоне ультранизких (ULF) и очень низких частот (VLF). Экспериментальный комплекс электромагнитных измерений расположен в горной местности на высоте 3450 и 3700 м в Алматинском сейсмоопасном регионе. Приводятся результаты регистрации вариаций потока атмосфериков в диапазоне VLF (1,5-11,5 кГц) радиочастот накануне и во время землетрясения M5.5. Рассмотрены результаты электромагнитных измерений в ULF (0,01-20 Гц) диапазоне с эпизодами появления кратковременных всплесков длительностью 0,2-0,5с и цугов колебаний длительностью до 10-15с. Предложено направление дальнейшего развития электромагнитных наблюдений в ULF диапазоне, направленное на идентификацию сигналов литосферного происхождения в сейсмоактивных регионах.*

*Ключевые слова: литосфера, землетрясение, ULF-VLF электромагнитные сигналы, атмосферерики*

Согласно литературным данным [1-3] обнаружение электромагнитных (ЭМ) сигналов сейсмогенного происхождения наиболее вероятно и перспективно в ULF и VLF диапазонах. В данной работе рассматриваются особенности вариаций потока атмосфериков в VLF-диапазоне (1,5-11,5 кГц), распространяющихся в сферическом волноводе Земля-ионосфера, и вариации электромагнитных сигналов в ULF-диапазоне (0,01-20 Гц), которые предположительно могут излучаться из литосферы с глубины 100-150 км.

На измерительном пункте, расположенном в горной местности вдали от промышленных радиопомех на высоте 3450-3700м вблизи Тянь-Шанской высокогорной научной станции («Космостанция»), проводится круглосуточный мониторинг электромагнитных полей в ULF-VLF диапазонах.

Регистрация вариаций потока атмосфериков в VLF диапазонах радиочастот требует определенных условий, особенно при выборе места регистрации. Например, в городских условиях регистрация атмосфериков в VLF диапазоне невозможна из-за большой плотности электромагнитных помех антропогенного происхождения – это электротранспорт, бытовые приборы, люминесцентные лампы освещения, различные импульсные преобразователи и другие источники помех. Интенсивные помехи идут также от линий электропередач промышленной сети. Поэтому в настоящее время найти «тихое» место, в смысле минимума помех, представляет сложную задачу, как в организационном, так и техническом плане. Выбор места для пункта регистрации мы начали с обследования электромагнитного фона в VLF диапазоне в различных точках горной местности вблизи Космостанции. На фотографии (рисунок 1) примерно в середине седловины хребта стрелкой указано местоположения измерительного пункта (N43,03032° E76,94499°). Приемная антенна - замкнутая рамка периметром около 500 метров - расположена сразу за седловиной на склоне хребта, который служит экраном и практически полностью подавляет техногенные помехи, идущие из г.Алматы и с Космостанции.

Суть регистрации потока атмосфериков заключается в подсчете количества импульсов за единицу времени, поступивших с радиоприемного устройства. Синхронизация бортового времени регистратора-компьютера осуществляется по сигналам GPS, либо от атомных стандартов частоты и времени по протоколу сетевого времени NTP с помощью радиомодема Wi-Fi через интернет.

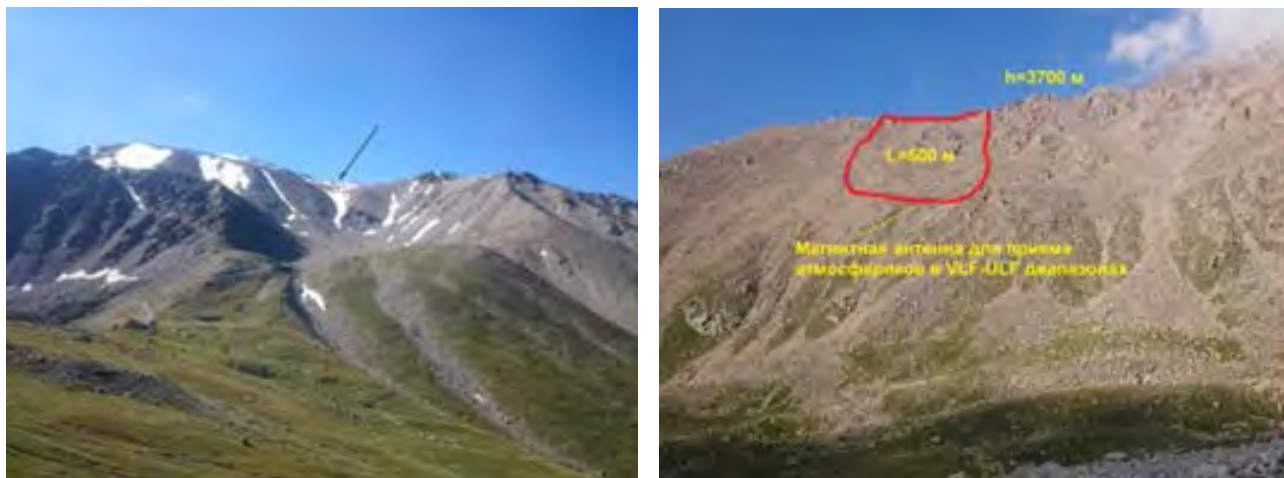


Рисунок 1 – Расположение пункта и приемной антенны для регистрации потока атмосфериков в VLF-диапазоне радиочастот вблизи научной станции «Космостанция»

При тестовой регистрации было обнаружено, что кроме атмосфериков радиоприемное устройство периодически принимает посторонние радиосигналы в VLF диапазоне, которые не имеют отношения к атмосферикам. Выяснилось, что эти сигналы излучает радиостанция Военно-морского флота Российской Федерации (ВМФ РФ), находящаяся на территории Кыргызской Республики в 270 км от нашего измерительного пункта. Мощность передатчика радиостанции около 2 мегаватт. Для устранения помех применили фильтр нижних частот Чебышева седьмого порядка с частотой среза 11,750 кГц. Эффективность применения фильтра хорошо видна при сравнении с приемом атмосфериков без использования фильтра, где помеху создает несущая частота радиопередатчика ВМФ РФ (рисунок 2). При подключении фильтра помеха от радиопередатчика практически полностью пропадает.

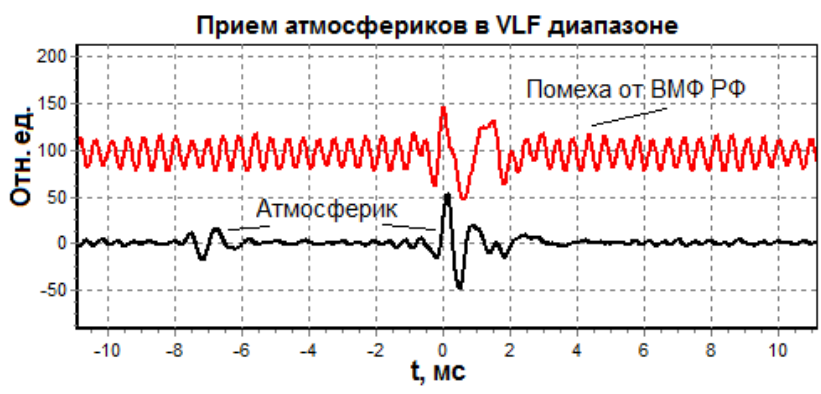


Рисунок 2 – Осциллограмма атмосфериков до и после применения фильтра Чебышева. Красным цветом выделен график приема атмосфериков без фильтра, черным – с фильтром Чебышева. Для удобства просмотра графики сдвинуты по оси Y.

На рисунке 3 приведена запись приема атмосфериков с 22 по 30 июля 2018 г. Как видно на рисунке поток атмосфериков представляет собой временной ряд, содержащий регулярные суточные колебания. Подключение 26 июля фильтра нижних частот позволило зарегистрировать появление аномального эффекта в суточных вариациях потока

атмосфериков. Предположительно данный эффект (на графике обозначен стрелкой) связан с подготовкой землетрясения M5.4<sub>трв</sub>, произошедшего 26 июля 2018 в 17 час 29 мин 00 сек (GMT). Координаты эпицентра N43,87° E77,90°. Глубина 15 км. В г. Алматы землетрясение ощущалось интенсивностью 2 балла по шкале MSK-64 (*some.kz*).



Рисунок 3 – Вариации потока атмосфериков до и после подключения фильтра нижних частот Чебышева седьмого порядка. Левая часть графика – запись без фильтра, правая - с подключенным фильтром Чебышева. Красной линией указано время землетрясения.

В суточных записях потока атмосфериков отчетливо прослеживаются эффекты восхода и захода Солнца (рисунок 4а). В низкочастотной части спектра выявлены четыре значимых спектральных пика, период которых составил 9274с, 3862с, 2496с, 1594с (рисунок 4б). Высокочастотная часть спектра мощности шумоподобна (рисунок 4в), в которой присутствуют гармоники в интервале частот от 0,005 Гц до 0,03 Гц. Именно высокочастотная часть спектра оказалась наиболее информативной для выявления аномальных эффектов при активизации сейсмических процессов перед землетрясениями.

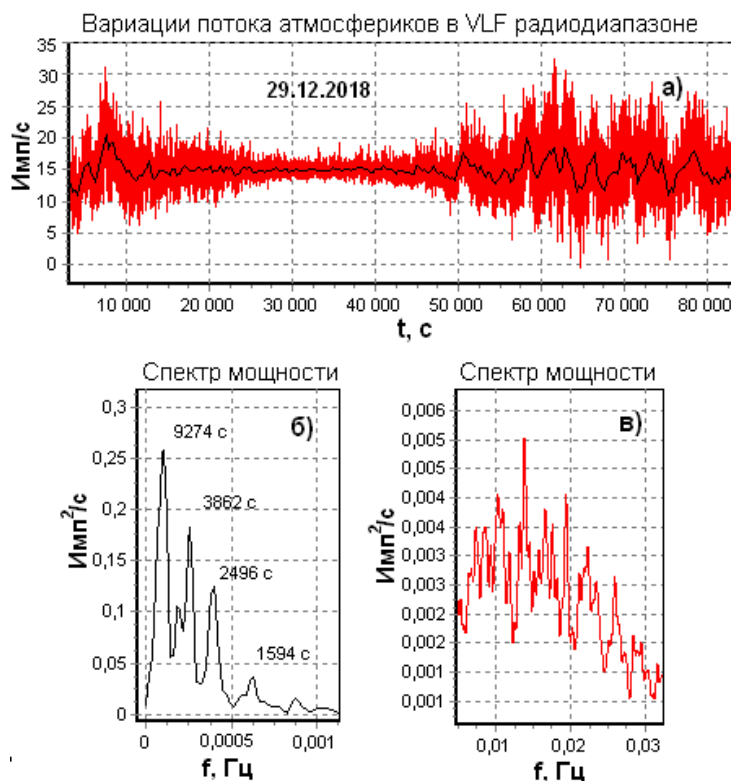


Рисунок 4 – Вариации потока атмосфериков в VLF диапазоне и его спектральные характеристики: а) - эффекты восхода и захода Солнца в суточной записи; б) - низкочастотная часть спектра мощности; в) - высокочастотная часть спектра мощности

14 сентября 2018 г. в 22:15:03 (GMT) произошло землетрясение M5,5<sub>mv</sub>. Координаты эпицентра (N43,87° E77,90°). Глубина 5 км. В городе Алматы землетрясение ощущалось интенсивностью 2-3 балла по шкале MSK-64 (*some.kz*). С целью обнаружения отклика на землетрясение был проведен расчет динамического спектра вариаций потока атмосфериков (в интервале частот 0,005-0,03 Гц) в период с 1 по 18 сентября 2018 г. Установлено, что примерно за 6 дней до землетрясения в вариациях динамического спектра мощности потока атмосфериков нарушилась суточная ритмика, а за 4-5 дней до основного толчка произошел заметный всплеск динамического спектра мощности (рисунок 5).

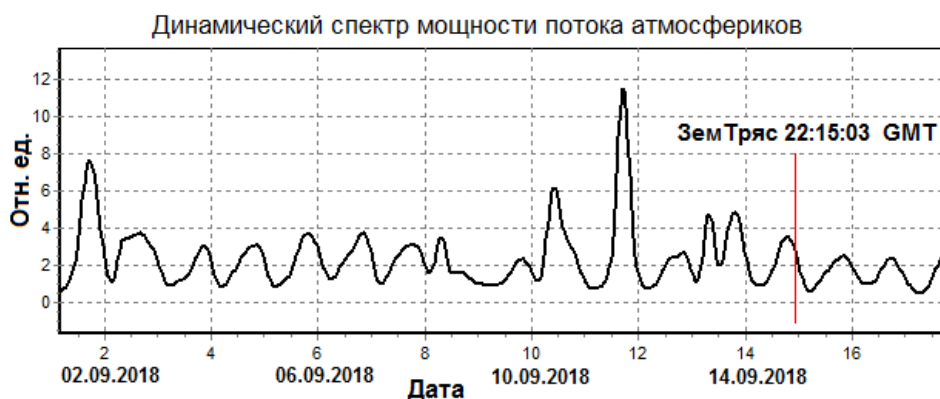


Рисунок 5 – Аномальные эффекты в динамическом спектре мощности потока атмосфериков перед землетрясением M5,5 14 сентября 2018 г. Вертикальной линией обозначено время землетрясения

Перспективы обнаружения краткосрочных предвестников землетрясений связывают также с приемом электромагнитных сигналов ULF диапазона (от 0.001 до 3 Гц), исходящих из литосферы. Наиболее надежно эти сигналы по мнению авторов выделяются в ультранизкочастотном (ULF) диапазоне – от 0.001 до 3 Гц и могут распространяться в земной коре до 100 – 150 км [1]. Эти сигналы очень малы, а их прием может быть затруднен из-за помех техногенного происхождения. Поэтому для приема электромагнитных сигналов в диапазоне ULF частот (0,01- 20Гц) пункт измерений с антенной периметром около 800 м мы установили в горах на высоте 3450м над ур.м. приблизительно в 1,5 км от Космостанции (рисунок 6). Сигнал оцифровывался 12 разрядным АЦП с частотой 25 Гц. В спектрах мощности вариаций ULF сигналов были обнаружены пики около 2, 3, 7, 8 и 10 Гц (рисунок 6 а, б).

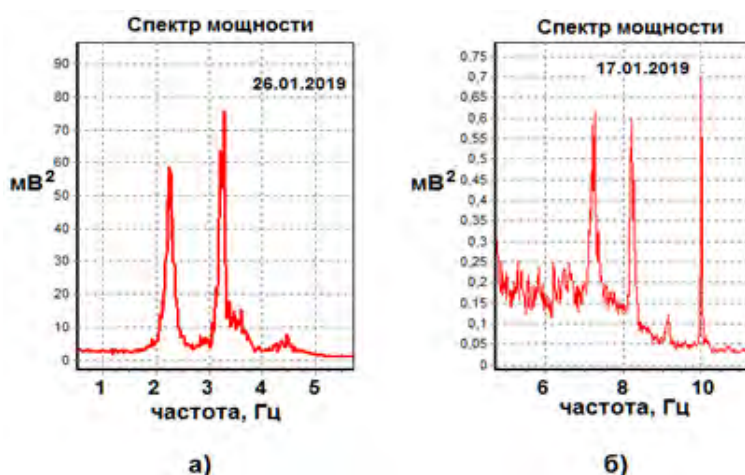


Рисунок 6 – Фото антенны для приема электромагнитных сигналов в диапазоне ULF частот и спектры мощности вариаций ЭМ-сигналов в интервале частот 1- 6 Гц (а) и 6 - 10 Гц (б).

Примеры регистрации вариаций электромагнитных сигналов в диапазоне ULF частот (0,01-20 Гц) на измерительном пункте на высоте 3450м над уровнем моря представлены на рисунке 7. Зарегистрированные сигналы имели вид кратковременных всплесков или гармонических колебаний продолжительностью от единиц секунд до 10-15 секунд.

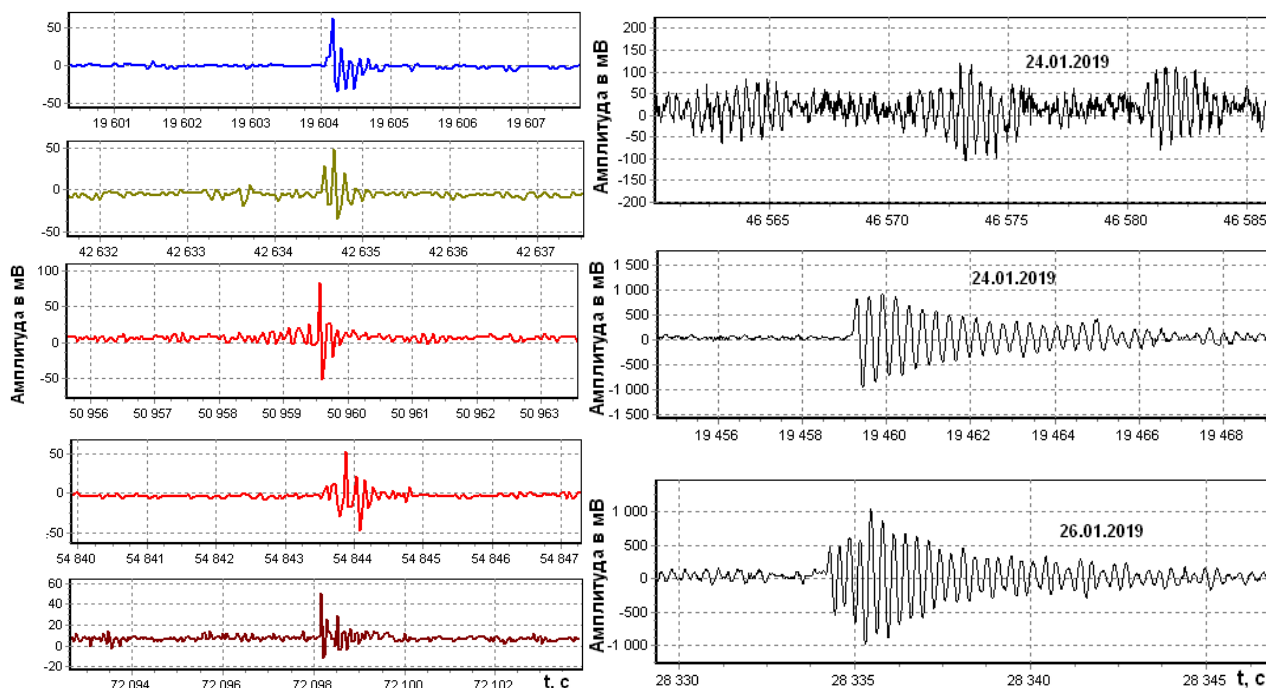


Рисунок 7 – Примеры регистрации вариаций электромагнитных сигналов в диапазоне ULF частот (0,01-20 Гц): а) - всплески ЭМ-сигналов 10 декабря 2018; б) - гармонические колебания 24 и 26 декабря 2018. По оси X - время в секундах от начала суток по времени GMT

Обнаруженные эффекты в вариациях электромагнитных сигналов в диапазоне ULF частот представляют большой интерес с точки зрения регистрации возможного сейсмогенного ЭМ-излучения. Для того чтобы с определенностью говорить об их литосферном происхождении необходимо в местах с повышенной сейсмической активностью организовать одновременный прием ULF сигналов с разносом измерительных пунктов хотя бы на 100-150 км. В этом случае, если источник литосферных ЭМ-сигналов находится вблизи одного из пунктов измерения, то в отдаленном измерительном пункте прием сигнала будет невозможен, либо этот сигнал будет зарегистрирован с большим затуханием. Поэтому эффекты, зарегистрированные преимущественно только в одном пункте, позволят предположить их сейсмогенное происхождение. Одновременный прием на разнесенных пунктах близких по амплитуде сигналов будет свидетельствовать об их ионосферном и магнитосферном происхождении.

Работа выполнена в рамках программы «Прикладные научные исследования в области космической деятельности» №0118RK00802.

### Литература

1. Hayakawa, M., Hattori, K., Ohta, K. Monitoring of ULF (ultra-low-frequency) Geomagnetic Variations Associated with Earthquakes // *Sensors*. 2007. 7. P. 1108-1122.
2. Ohta, K., Watanabe, N. & Hayakawa, M. The observation of ULF emissions at Nakatsugawa in possible association with the 2004 Mid Niigata Prefecture earthquake. *Earth Planet Sp* 57, 1103–1108 (2005). <https://doi.org/10.1186/BF03351889>
3. Molchanov, O.A. and Hayakawa M. Generation of ULF electromagnetic emissions by microfracturing // *Geophys. Res. Lett.* 199522. 3091–3094.



## ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Сваров М.Х.<sup>1</sup>, Степанов С.Б.<sup>2</sup>, Кенжебаев Т.П.<sup>1</sup>

*mvsarov@mail.ru; stepanovs06@mail.ru; jgtmp1305@mail.ru*

<sup>1</sup>Центр управления в кризисных ситуациях при МЧС КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>2</sup>УНТЦ «Развитие Гражданской защиты» КРСУ им. Б. Ельцина, г. Бишкек,

Кыргызская Республика

*Дан краткий обзор современного состояния геоинформационных систем, используемых в Центре управления в кризисных ситуациях при МЧС КР и рассмотрены перспективные направления их развития на основе новых информационных технологий (автоматизированных информационно-управляющих систем, методов обработки больших данных). Приведены примеры конкретных реализаций программно-аппаратных комплексов применительно к решению задачи в области чрезвычайных ситуаций.*

*Ключевые слова: геоинформационная система, дистанционное зондирование земли, база данных, геопортал, система управления базами данных.*

### Введение

Геоинформационная система (географическая информационная система, ГИС) - система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных (географических) данных и связанной с ними информации о необходимых объектах.

Геоинформационная система может включать в свой состав пространственные базы данных (в том числе под управлением универсальных систем управления базами данных, СУБД), редакторы растровой и векторной графики, различные средства пространственного анализа данных. В нашем Центре ГИС применяется для изучения и оценки местности, для прогнозирования и анализа опасных участков, дистанционного зондирования земли, а также для визуализации имеющейся информации.

Пространственный аспект в информации о ЧС является наиважнейшим. Всегда важно знать не только характер и размеры угрозы, но и ее местоположение, особенно в связи с тем, как она может повлиять на находящиеся поблизости людей, материальные ценности и окружающую среду. Именно поэтому картографическое представление является основным в деле работы с ЧС, а географические информационные системы – наиболее подходящим инструментом для работы с ЧС на компьютере.

ГИС во время чрезвычайной ситуации позволяет в кратчайшие сроки создавать карты с самой свежей информацией о происшествии. А современные средства дистанционного зондирования способны поставлять эту информацию круглосуточно и в любую погоду. Более того, средства моделирования, имеющиеся в современных программных, ГИС-пакетах, позволяют прогнозировать развитие ситуации, например, показывать последовательное расширение зоны затопления или лесного пожара. Таким образом, современные геоинформационные технологии способны резко сократить сроки реагирования на ЧС, повысить точность расчетов и эффективность использования сил и средств.

В настоящее время компьютер стал обычным рабочим инструментом специалистов и руководителей МЧС всех уровней. Картографическое представление информации о территории, на которой они работают, является для них наиболее привычным и естественным. Все чаще в своей повседневной работе они обращаются к электронным картам, как основе решения производственных задач и принятия решений. В связи с этим, при выборе подходов к созданию современного информационного обеспечения органов МЧС Кыргызстана всех уровней необходимо ориентироваться на геоинформационные

системы и технологии (ГИС-технологии), которые обеспечивают сбор, хранение, обработку и представление, как традиционной описательной информации, так и пространственной информации о территории, находящихся на ней объектах и происходящих (опасных) процессах.

### **Программно-аппаратный комплекс «Автоматизированная Информационно-Управляющая Система (АИУС)»**

В Центре управления в кризисных ситуациях при МЧС КР создана Автоматизированная Информационно-Управляющая Система, которая предназначена для автоматизации процессов сбора, хранения, передачи, обработки и выдачи информации, необходимой для обеспечения работы органов управления ГЗ. Также она используется для автоматизации процессов поддержки принятия управленческих решений, доведения принятых решений до подчинённых и взаимодействующих органов управления и контроля их исполнения. Система имеет восемь модулей: управление ЧС, ГИС, реестр, аналитика, видеопотоки, настройки, Earth map, СИС.

Модуль «Управление ЧС». Данный модуль предназначен для создания, редактирования и просмотра различных Оперативных Событий, создаваемых в системе.

Модуль «ГИС». Служит для хранения географических объектов (потенциально опасных объектов, сил и средств) и управления ими

Модуль «Реестр». Служит для хранения, создания и организации различных служебных документов. Документы делятся на типы, каждый тип документа имеет свой набор данных.

Модуль «Аналитика» Позволяет отображать наборы данных по объектам в системе, определенным образом отсортированные и со сгруппированными данными.

Модуль «Видео потоки». Служит для управления доступными видео-потоками для модуля "Видео стена". Видео-поток - это код URL, который ведет на сервис.

Модуль «Настройки». Служит для управления доступными системными настройками.

Модуль «Earth map». Служит для обработки и хранения данных со спутниковых снимков.

Модуль «СИС». Системный информационный справочник создан для обмена данными с другими министерствами и ведомствами в рамках проекта «Тундук».

### **Полнофункциональный программный комплекс «ИМС»**

Для предотвращения кризисных ситуаций имеется специальное программное обеспечение «IMAGE MEDIA CENTER», которое позволяет выявить комплекс наиболее важных задач, решение которых позволит практически подойти к оценке рисков и их планомерному снижению. Данное программное обеспечение моделирования развития кризисных (чрезвычайных) ситуаций на критически важных объектах (КВО) и прилегающих к ним территориях предназначено для выполнения оценочного и прогнозного моделирования различных чрезвычайных ситуаций и оценки потенциальных последствий их развития. Построение моделей развития чрезвычайных ситуаций (аварий) выполняется по следующим сценариям:

- Определение местоположения и характеристик потенциальных опасностей;
- Оперативный поиск и выдача подробной информации о потенциально опасных объектах (ПОО);
- Оценка возможных сценариев развития ЧС по каждому ПОО;
- Отслеживание динамики развития ЧС и прогнозирование дальнейшего развития событий (разлива АХОВ, взрывов, пожаров, наводнений и паводков);
- Оперативный поиск и выдача информации по объектам народнохозяйственного значения, попадающим в опасные зоны;
- Оперативный поиск сил и средств, привлекаемых в процессе ликвидации последствий аварий;

- Оперативный поиск и выдача подробной разноаспектной информации о защитных сооружениях;
- Оценка возможных последствий при строительстве крупных гидротехнических сооружений;
- Формирование и издание государственного доклада о защите населения и территории от ЧС природного и техногенного характера;
- Разработка типовых рабочих карт обстановки.

На сегодняшний день программный комплекс позволяет выполнять полный цикл работ по анализу и обработке изображений, данных дистанционного зондирования Земли и картографических материалов, совмещать их в единой географической базе, насыщать любой дополнительной информацией, хранить и визуализировать все вышеперечисленное по выбору пользователя, получая качественно новый информационный продукт. Наши специалисты, используя свои знания и опыт работы, работают с этой программой, по анализу и обработке изображений, данных дистанционного зондирования Земли, а также для визуализации местности где произошла ЧС.

**Google Планета Земля** — проект компании Google, в рамках которого в сети Интернет были размещены спутниковые и аэрофото-изображения всей земной поверхности. Фотографии некоторых регионов имеют беспрецедентно высокое разрешение. Google Планета Земля имеет возможность показывать 3D-модели зданий, сооружений и памятников в отдельных городах, в том числе и в высоком качестве. Центр использует данный продукт для визуализации, а также для уточнения рельефа местности.

**ArcGIS** — семейство геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI. Применяются для земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, геодезии, недропользования и других областях. Основной серверный продукт предназначен для многопользовательских геоинформационных проектов с централизованным хранилищем и неограниченным числом рабочих мест, публикации интерактивных карт в Интернете. ГИС специалисты используют данный продукт для широкой сферы деятельности, а также для различных задач. На этой программе создается различные слои (векторный и точечные) для анализа и мониторинга данных.

### **Заключение**

Таким образом, проблема построения автоматизированных систем поддержки предупреждения и ликвидации ЧС актуальна не только в силу объективной необходимости решения прикладных задач, но и в силу того, что в настоящее время необходимо создание методов их решения, использующих новые методические и технологические концепции. Методологические требования вытекают из особенностей постановки задач поддержки принятия решений в условиях экстраординарных ситуаций.

Управление в условиях ЧС отличается от штатных условий гибкостью, необходимостью работы с недостоверной и неполной информацией, высоким темпом изменения ситуации, необходимостью формирования в кратчайшие сроки как можно более эффективных решений, высокой результативностью, требованиями минимизации времени и минимума потерь при ликвидации ЧС. Эти особенности требуют развития новой методологии поддержки управленческих решений, основанной на использовании сценарного подхода и методологии ситуационного управления в сочетании с новыми методами информационного моделирования.

В данный момент ГИС системы являются одними из самых быстро развивающихся направлений, с их удобным пользовательским интерфейсом и огромным количеством содержащихся в них инструментов и информации делают их незаменимыми как при чрезвычайных ситуациях, так и при других различных задачах.

Многие Государственные учреждения и организации занимаются разработкой и внедрением ГИС технологий, и создание земельного кадастра позволит на основе его карт строить другие, предметно ориентированные карты и дополнять их соответствующим атрибутивным

наполнением, что позволит нашим системам конкурировать с другими иностранными образцами.

### **Литература**

1. Браун Л.А. История географических карт. М.: Центрполиграф. 2006. 479 с.
2. Геоинформатика. Учебник для вузов. В 2 кн. / Капралов Е.Г., Кошкарев А.В., Тикунов В.С. и др. М.: Academia. 2010.
3. Журкин И.Г., Шайтура С.В. Геоинформационные системы. М.: Кудиц-пресс. 2009. 272 с.

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПЕТРОУПРУГОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРРИГЕННОЙ ФОРМАЦИИ УСТЮРТА, НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖЕЛ**

Токарева К.М., Муминов А.С.

*tokarevaksenia5@gmail.com, opd@gubkin.uz*

Филиал Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина в городе Ташкенте, г. Ташкент, Республика Узбекистан

*В работе представлены результаты петроупругого моделирования и анализа петроупругих связей для скважины № 2 месторождения Джел. На основе каротажных диаграмм, с учетом анализа керновой информации, была построена объемная литологическая модель. Компонентный состав объемной литологической модели использовался для моделирования кривой плотностного каротажа и скорости поперечной волны. При расчете объемной литологической модели была получена кривая пористости и сопоставлена с результатом предыдущей интерпретации. В результате проделанной работы удалось выделить два типа коллекторов с различным литологическим составом на основе зависимости «импеданс – отношение скоростей продольной и поперечной волн».*

*Ключевые слова: объемная литологическая модель, акустический каротаж, плотностной каротаж, моделирование, импеданс, петроупругие связи.*

### **Введение**

Петроупругое моделирование является современной методикой, используемой для восстановления упругих свойств среды. Петроупругое моделирование служит основой для анализа флюидонасыщения и прогноза коллекторских, литологических свойств, опирающегося на результаты сейсмической инверсии. Являясь связующим звеном между фильтрационно-емкостными свойствами и упругими свойствами пород, петроупругое моделирование и анализ петроупругих связей позволяют завершить обратную динамическую задачу сейсморазведки [1].

### **Условия формирования пород коллекторов юрских отложений**

Промышленная ценность коллекторов определяется фильтрационно-емкостными свойствами, т.е. пористостью и проницаемостью, которые зависят от большого числа факторов, некоторые из них: вещественный состав, степень отсортированности обломочного материала, текстурно-структурных особенностей, характера цементации и наличия примесей и т.п. Рассматриваемый продуктивный интервал включает в себя породы нижне, средне, верхнеюрские отложения [2].

В нижнеюрском этапе происходило медленное опускание суши, это привело к изолированному континентальному режиму осадконакопления на территории Устюрта. В целом отложения нижней юры представлены плохо отсортированным обломочным материалом, состоящим из зерен кварца, полевых шпатов, слюд с присутствием глинистого цемента. Также характерной особенностью отложений этого времени является наличие обуглившихся растительных остатков, которые иногда встречаются в виде линзовидных залежей углей с мощностью до 1 м. На месторождении Джел в скважины № 2 разрез нижней юры вскрыт в интервале 2390 – 2685 м и представлен переслаиванием песчано-глинистых пород с тонким переслаиванием углифицированного остатка (рис. 1, а, б, в) [2]. Общая мощность отложений составляет 295 м.

Отличительной особенностью среднеюрских отложений Устюрта является то, что они на большей части территории сложены однотипными по вещественному составу и близкими

по структурно-текстурным особенностям, более тонкозернистыми породами, чем нижнеюрские, и имеют большие мощности [2, 3]. В целом отложения средней юры представлены песчаниками, гравелитом мелко-среднезернистым, алевролитом с рассеянной углификацией (рис. 2, а, б, в) [2]. По данным ГИС в скважине № 2 месторождения Джел разрез средней юры вскрыт в интервале 1877 – 2390 м. Общая мощность отложений 513 м. Уголь в разрезе является черным, тонкопластичным и матовым, местами блестящим. Порода сильно пачкает руки. Также наблюдается присутствие углистого аргиллита с пелитовой структурой и слоистой структурой, на поверхности наслоений наблюдается скопление углефицированных остатков растений.



Рисунок 1 - Песчаник олигомиктовый светло-серый, сильно пористый (а), гравелит мелко-среднезернистый (б), песчаник гравийсодержащий (в). Интервал отбора керна 2390-2400 м, площадь Джел, скв. 2

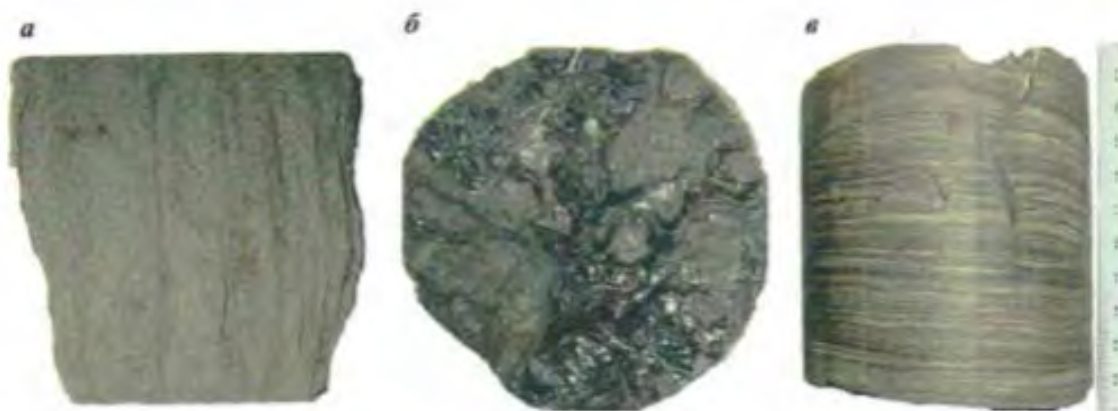


Рисунок 2 - Песчаник мелкозернистый (а), уголь черный матовый, местами блестящий (б), переслаивание углистых глин и светло-серых алевролитов (в). Интервал отбора керна 2120-2140 м, площадь Джел, скв. 2

Наименее благоприятные условия для формирования пород-коллекторов в юрскую эпоху были в верхней юре [2, 3]. В верхнеюрские отложениях отсутствуют мощные терригенные коллектора, это обусловлено условиями осадконакопления на данном этапе на территории всего Устюрта, поэтому терригенные коллекторы в верхней юре имеют очень ограниченное распространение, и их эффективная мощность редко превышает 10 м. В скважине № 2 на исследуемой территории максимальная мощность коллектора верхней юры составляет 1 м. По данным ГИС в скважине № 2 месторождения Джел разрез верхней юры вскрыт в интервале 1574 – 1877 м. Общая мощность отложений 303 м. Наличие углефицированного алевролита в отложениях верхней юры значительно больше по сравнению с отложениями средней и нижней юры.

### Алгоритм построения объемной литологической модели (ОЛМ) и моделирования плотности и скорости поперечной волны

Объемная литологическая модель – это такая модель, которая показывает процентное содержание каждой входящей в ее состав компоненты для каждой точки разреза, при этом сумма всех компонент приравнивается 100 %. Нашей задачей являлось включение углифицированной компоненты в расчет ОЛМ, а также анализ ее влияния на моделирование плотностной кривой и скоростей продольной и поперечной волн. После изучения керновой информации было принято решение включить в состав ОЛМ следующие компоненты: глина, песчаник, уголь и поровое пространство. Для расчета использовались исходные данные в виде кривой гамма-гамма плотностного каротажа и интервального времени пробега продольной волны. Также из диаграмм ГИС был вырезан интервал 1877 – 2118 м, так как по кавернометрии в этом интервале выделяются большие каверны до 40 см. Наличие таких каверн приводит к сильному искажению показаний всех методов, поэтому в этом интервале рассчитывать ОЛМ было некорректно. Для компонентного состава ОЛМ были заданы следующие условия прогноза:

- Для интервала верхней юры глина, песчаник, уголь прогнозировались в интервале от 0 до 100% с вероятным значением 50%, а пористость от 0 до 25% с вероятным 10%;
- Для интервала средней и нижней юры глина прогнозировалась в интервале от 0 до 100% с вероятным 25%, песчаник от 0 до 100% с вероятным 50%, уголь от 0 до 45% с вероятным значением 10%, а пористость от 0 до 25% с вероятным 10%.

Для расчета использовались коэффициенты по акустическому и плотностному каротажам, при этом коэффициенты были подобраны непосредственно для рассматриваемого месторождения. При подборе коэффициентов большое внимание обращалось на среднюю ошибку расчета, которая в итоге не превышала 5%. Ниже представлены используемые коэффициенты для каждой из компоненты ОЛМ [4]:

- Интервальное время пробега продольной волны в глине принято равным 280 мкс/м, в песчанике – 183, в угле – 300, и поровом пространстве – 560 мкс/м (в порах находится буровой раствор);
- Плотность для глины принята равной 2.27 г/см<sup>3</sup>, для песчаника – 2.65, для угля – 1.6 и для порового пространства 1 г/см<sup>3</sup> (в порах находится буровой раствор).

Результатом интерпретации данных ГИС [5] являлось получение ОЛМ (рис. 3, а, б), пористости, кривых объемных компонент глины, песчаника, угля в долях. А также были получены модельные кривые интервального времени пробега продольной волны и плотности, при сопоставлении исходных и модельных кривых были получены следующие коэффициенты корреляции 0.92 и 0.97 для акустики и плотностного каротажей соответственно.

Для того чтобы определить как сильно растительно-углистая компонента влияет на результат построения ОЛМ, сначала был произведен расчет без нее, а потом с ней. В первом случае снизились коэффициенты корреляции для исходных и модельных кривых акустического и плотностного каротажа до 0.6 и 0.65 соответственно, а также кривая пористости приобрела трендовую зависимость без соответствия реальной геологической среде. Результаты сопоставления пористости, рассчитанной в двух случаях компоновки ОЛМ представлены ниже (рис. 4, 1а, б), результаты сопоставления модельной и исходной кривых плотности (рис. 4, 2а, б) и скорости продольной волны (рис. 5, 1а, б) также представлены в виде графиков.

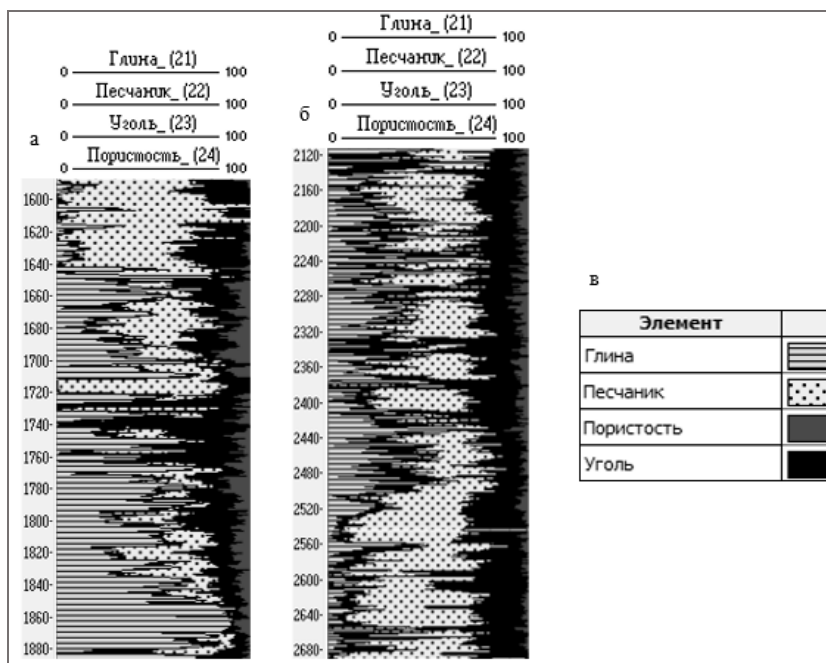


Рисунок 3 – Результаты расчета ОЛМ, площадь Джел, скв. 2: а - ОЛМ для верхнеюрских отложений, б - ОЛМ для средне- и нижнеюрских отложений, в - условные обозначения для компонентного состава ОЛМ

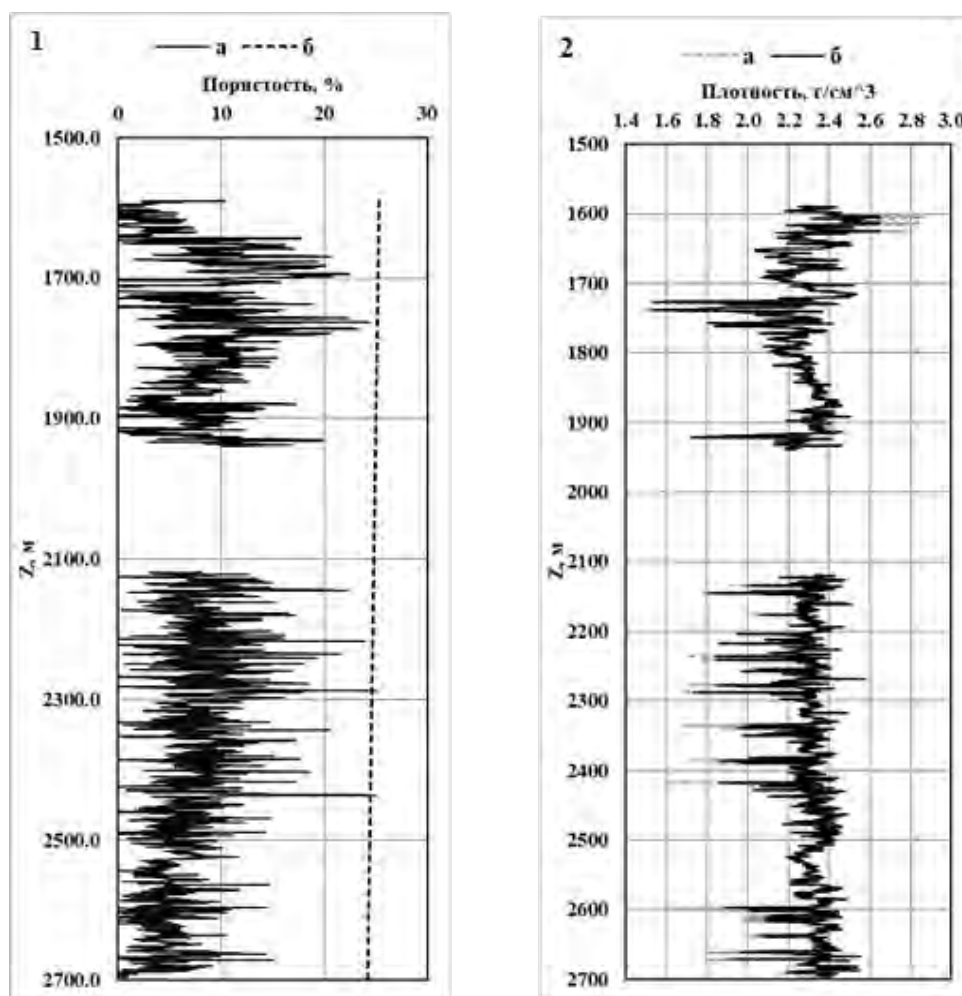


Рисунок 4 – Пористость, полученная из расчета ОЛМ: 1(а) - с включением углефицированной компоненты, 1(б) - без учета глинистой компоненты, 2(а) - исходная кривая плотности, 2(б) - модельная кривая плотности, полученная в результате расчета ОЛМ



Так как основной задачей анализа петроупругих связей является построение зависимости акустический импеданс (AI) – отношение скоростей продольной и поперечной волн ( $V_p/V_s$ ), то было необходимо восстановить скорость поперечной волны (рис. 5, 2а), которая изначально отсутствовала в комплексе ГИС, проведенном на скв. 2 площади Джел.

Для восстановления скорости поперечной волны использовалась методика Раймер-Гарднер-Ханта [6] (формула 1), которая заключается в связи скорости поперечной волны ( $V_s$ ) с пористостью ( $\varphi$ ), скоростью поперечной волны в скелете породы ( $V_{sm}$ ) (формула 2), плотностью скелета породы ( $\rho_m$ ) (формула 3), и плотностью флюида ( $\rho_{fi}$ ) равной  $1 \text{ г/см}^3$ .

$$V_s = (1 - \varphi)^2 \cdot V_{sm} \cdot \sqrt{\frac{(1 - \varphi) \cdot \rho_m}{(1 - \varphi) \cdot \rho_m + \varphi \cdot \rho_{fi}}} \quad , \quad (1)$$

$$V_{sm} = \sqrt{\frac{\mu_m}{\rho_m}} \quad , \quad (2)$$

$$\rho_m = \rho_1 f_1 + \rho_2 f_2 + \dots + \rho_N f_N \quad , \quad (3)$$

где  $\mu_m$  – сдвиговой модуль матрицы породы,  $f_i$  – объемное содержание  $i$ -ой компоненты ОЛМ  $\rho_i$  – плотность  $i$ -ой компоненты ОЛМ.

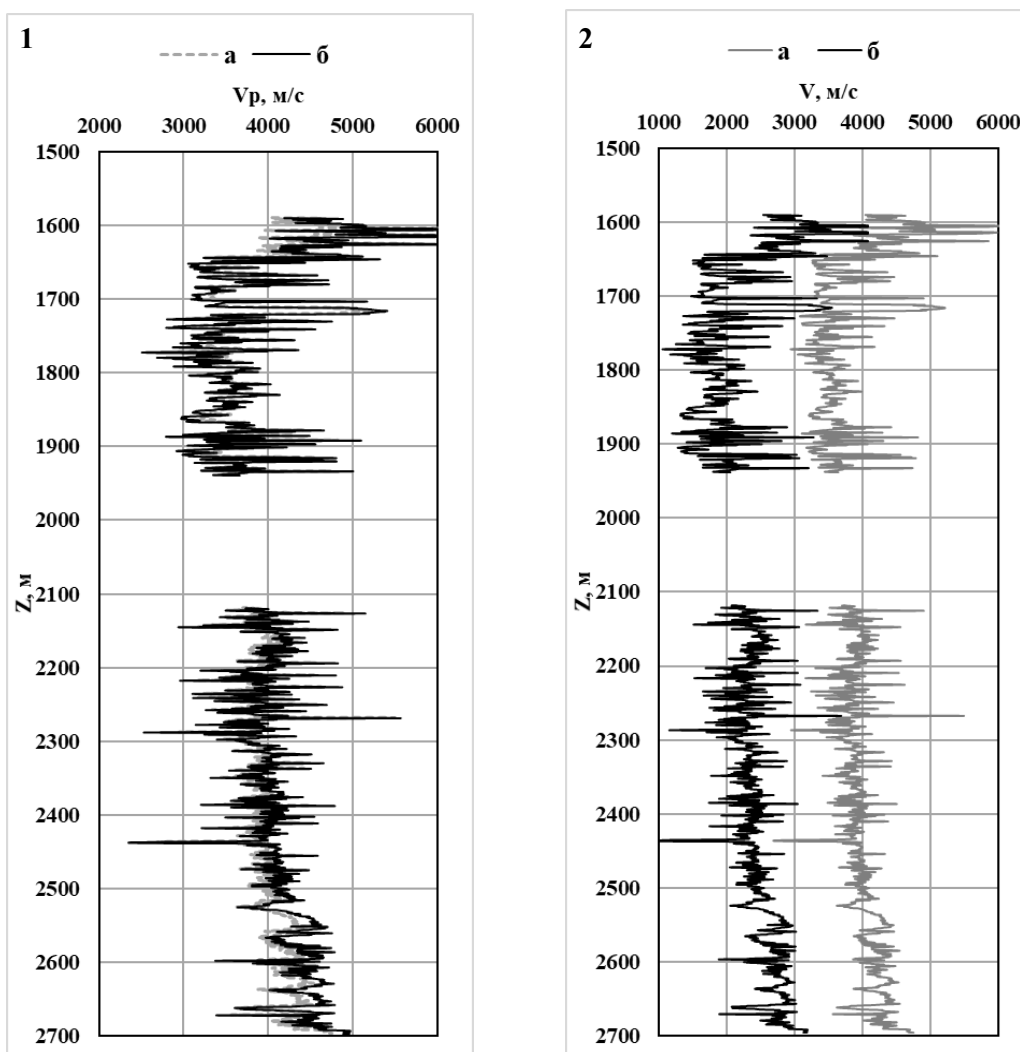


Рисунок 5 – 1(а) - исходная кривая скорости продольной волны, 1(б) - модельная кривая скорости продольной волны, полученная в результате расчета ОЛМ, 2(а) - исходная кривая скорости продольной волны, 2(б)- модельная кривая скорости поперечной волны, рассчитанная по формуле Раймер-Гарднер-Ханта.

### Анализ петроупругих связей

При анализе зависимости  $AI - V_p/V_s$  удобно закрашивать точки различными цветовыми шкалами для того, чтобы проследить тенденцию смещения точек в зависимости от характера литологии и флюидонасыщения. На рисунке 6 видно хорошее разделение точек по литотипам. Литотипы определялись исходя из схемы классификации песчанно-алевроолито-глинистых пород. Можно заметить, что зона плотных песчаников расположена в области высоких значений импеданса и низких значений  $V_p/V_s$ , зона глин расположена в области низких импедансов и высоких значений  $V_p/V_s$ , зона углифицированного алевролита занимает область низких и  $V_p/V_s$  средних значений импедансов, и низких значений  $V_p/V_s$ , зона алевроолито-глинистых песчаников занимает промежуточную область между углифицированным алевроолитом и глиной.

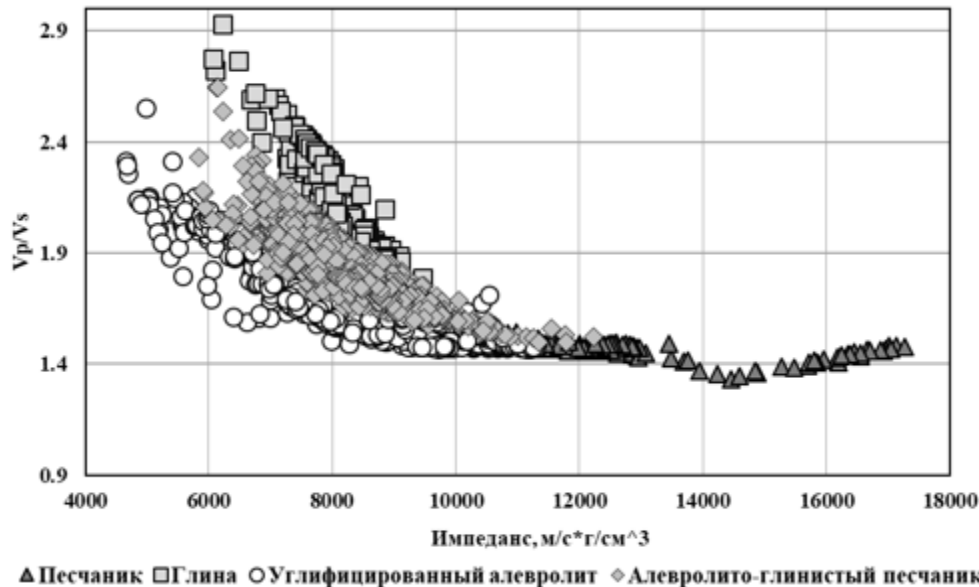


Рисунок 6 - График зависимости  $AI - V_p/V_s$  с закрашкой точек по цветовой шкале – литотипы

На площади Джел продуктивный интервал сложен терригенными породами, из которых коллекторами можно считать те песчанистые породы, в которых пористость больше 11%, а глинистость меньше 15%. Задав такое условие, была получена кривая коллектор-неколлектор, которой были закрашены точки на рисунке 7. В результате нам удалось выделить два типа коллекторов, первый тип относится к песчанно-алевроолитовым породам с пористостью порядка 20%, а второй тип коллектора относится к углифицированному алевроолиту. На рисунке 8, видно, что практически все коллекторы являются газовыми, при этом в коллекторах первого типа преобладает больше газовое насыщение, а в коллекторах второго типа содержание смешанной компоненты выше, это связано с хорошей способностью углей впитывать в себя воду.

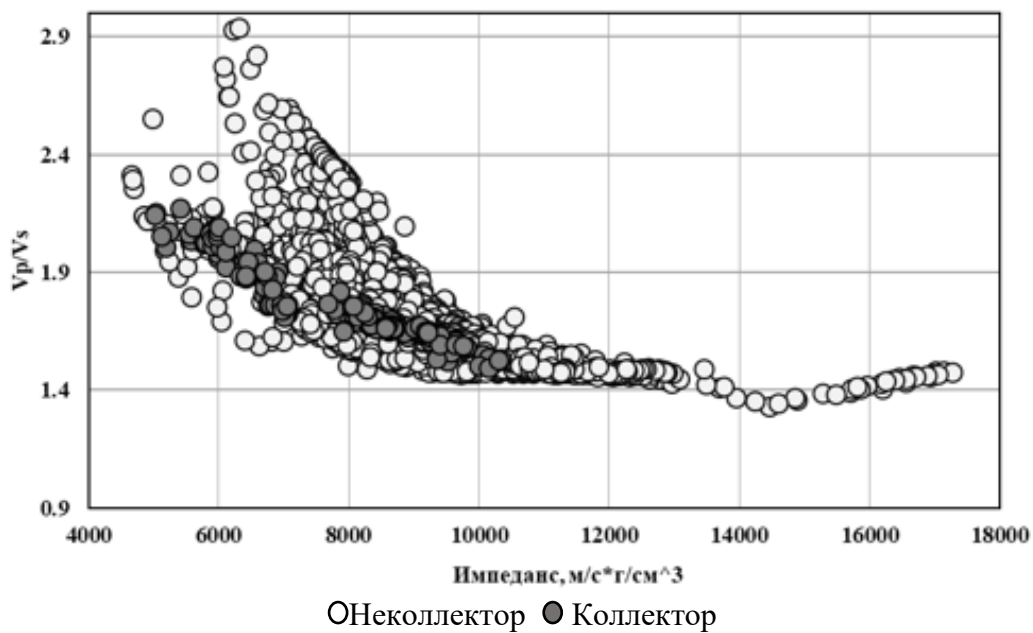


Рисунок 7 - График зависимости АІ -  $V_p/V_s$  с закраской точек по цветовой шкале – коллектор-неколлектор

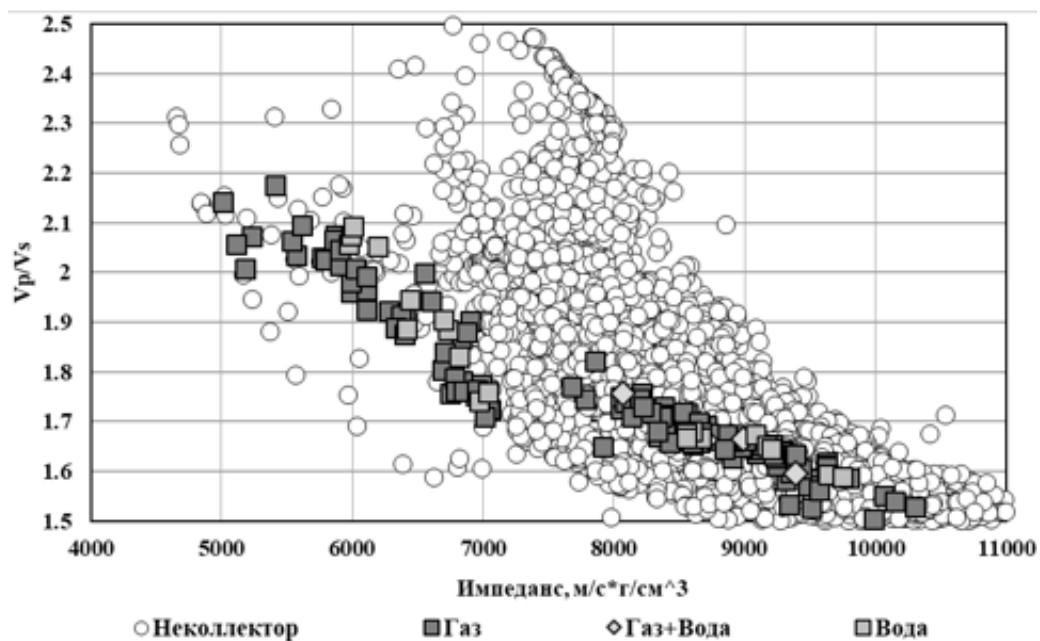


Рисунок 8 - График зависимости АІ -  $V_p/V_s$  с закраской точек по цветовой шкале – насыщение

### Выводы

Методика петроупругого моделирования помогла восстановить кривую скорости поперечной волны, что немаловажно для нефтегазоносных регионов Республики Узбекистан, так как широкополосная акустика на большинстве площадей отсутствует. Также с помощью методики построения ОЛМ удалось включить в компонентный состав углефицированную составляющую и получить результаты в виде модельных кривых, которые довольно неплохо совпали с исходными. Анализ петроупругих связей помог выявить два типа коллекторов. В итоге можно сделать вывод о том, что методика, рассмотренная в данной статье, может быть использована и в терригенном типе разреза.

### Литература

1. Воскресенский Ю.Н., Рыжков В.И. Геофизика при изучении земных недр. Учеб. пособие. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2015. 99 с.
2. Новый взгляд на перспективы нефтегазоносности Восточного Устюрта / Гафаров Н.А., Гулев В.Л., Карнаухов С.М. и др. М.: ООО «Издат. дом Недра». 2010. С. 172-191. (Научно-техническая библиотека 2010 г., Т. 1).
3. Акрамходжаев А.М., Авазходжаев Х.Х., Валиев А.А. и др. Геологическое строение и предпосылки нефтегазоносности Устюрта. Ташкент. ФАН. 1967. 163 с.
4. Геофизические исследования скважин. Справочник мастера по промысловой геофизике / Под общ. ред. В.Г. Мартынова, Н.Е. Лазуткиной, М.С. Хохловой. М.: Инфраинженерия, 2009. С. 182-189.
5. Кулапова М.В., Хохлова М.С. АРМ специалиста по интерпретации данных ГИС / Учеб. пособие по интерпретации данных ГИС в системе «Камертон». М.: Издат. центр РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2011. 112 с.
6. Avseth P., Mukerji T., Mavko G. Quantitative seismic interpretation: Applying rock physics tools to reduce interpretation risk: Cambridge Univ. Press. (1.6, 1.7). 2005.

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ СВЯЗЬ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА

Тошпулатов Ф.Н., Зияудинов Ф.Ф.

*farxod.toshpulatov.1981@bk.ru*

Национальный Университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*Количественная оценка информативности геолого-геофизических показателей является одним из важнейших условий повышения надёжности и объективности оценки долговременной сейсмической опасности. В тексте на примере ряда регионов Средней Азии рассмотрены и анализированы результаты количественной оценки информативности геолого-геофизических данных.*

*Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая опасность, информативность, вектор-признак, геолого-геофизические данные, долговременная сейсмичность.*

Средняя Азия находится в пределах сейсмического пояса, который протягивается от Атлантического океана до Тихого океана. В этом сейсмическом поясе происходили, и в настоящее время происходят катастрофические землетрясения. Они приносят непредсказуемый ущерб странам, расположенным в его пределах с многочисленными человеческими жертвами. Поэтому постоянно растёт актуальность проблемы защиты населения и уменьшения ущерба от происходящих сильных землетрясений. В связи с этим поиск возможностей более корректной оценки сейсмической опасности с привлечением новых методов, с использованием новой базы геолого-геофизических данных, является актуальной задачей сейсмологии. В настоящее время количественная оценка информативности геолого-геофизических показателей выделяется в качестве самостоятельной проблемы. Ей уделяется большое внимание многими исследователями [1, 2, 3]. Количественная оценка информативности геолого-геофизических данных представляет теоретический и практический интерес для оценки сейсмического потенциала регионов, где на фоне слабой сейсмичности часто возникают сильные землетрясения (Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. и др.). В связи с этим нами был составлен банк геолого-геофизических данных для территории Южного Узбекистана (от 37° до 40° северной широты и от 65° до 68,50 восточной долготы).

При составлении банка геолого-геофизических данных были использованы следующие параметры: аномалии силы тяжести в редукции Буге ( $M\Delta g_B$ ) в мЛг; градиенты аномалий силы тяжести Буге ( $\text{grad } \Delta g_B$ ); изостатические аномалии силы тяжести ( $M \Delta g_{из}$ ); градиенты изостатических аномалий силы тяжести ( $\text{grad } \Delta g_{из}$ ); стандартные отклонения изостатических аномалий  $\sigma \Delta g_{из}$ ; глубинные аномалии силы тяжести ( $M \Delta g_{гл}$ ) в мЛг; аномалии магнитного поля  $\sigma \Delta T_a$ ; значения амплитуд неотектонических движений (MN) в м; исходные материалы были сняты из карт и схем приведенным в таблице 1.

Все значения параметров при обработке сведены к безразмерному вектору-признаку. Безразмерный вектор-признак был создан по методике, изложенной в [4]. С помощью безразмерного вектора признаков были вычислены информативности геолого-геофизических параметров для территории Южного Узбекистана. В таблице 2 приведены показатели информативности геолого-геофизических данных для всей территории Узбекистана. Кроме того, были вычислены информативности геолого-геофизических данных для Сырдарьинско-Кызылкумского региона, Бухаро-Газлийского региона и для территории Южного Узбекистана.

Таблица 1 – Исходные геолого-геофизические данные

П/П	Название карт и схем	Масштаб	Авторы
1.	Карта изостатических аномалий силы тяжести	1:2500000	М.Е.Артемьев
2.	Карта новейшей тектоника Юга СССР, 1975г.	1:1000000	Главный редактор Л.П.Полканова.
3.	Схема глубинных аномалий силы тяжести Юга СССР, 1975г	1:2500000	Н.П. Лопатина
4.	Карта магнитных аномалий центральных частей средней Азии в изолиниях $\Delta T_a$ , 1970г.	1:1000000	Под редакцией Б.Б.Таль-Вирского, И.А.Фузайлова.
5.	Карта аномалий силы тяжести в редакции Буге 1976г.	1:1000000	Под редакцией Н.Б. Сажинной, М.Я.Янушевич.

Таблица 2 – Результаты информативности геолого-геофизических параметров регионов (в битах)

Параметры	Средняя Азия	Сырдарьинско – Кызылкумский регион	Бухаро-Газлийский регион	Южный Узбекистан
$\Delta g_{из}$	0.244	0.572	0.226	0.355
$\Delta g_B$	0.514	0.849	0.407	0.436
$\Delta g_{гл}$	0.251	0.615	0.515	0.505
$\Delta T_a$	0.203	0.503	0.179	0.307
$gr\Delta g_B$	0.482	0.085	0.268	0.295
$gr\Delta g_{T_a}$	0.124	0.282	0.247	0.235
$gr\Delta g_{из}$	0.206	0.133	0.074	0.126
$\delta\Delta T_a$	0.019	0.296	0.072	0.285
$\delta\Delta g_{из}$	0.333	0.257	0.072	0.312
Значение амплитуды нетектонических движений	0.429	0.183	0.213	0.410

Из сопоставления информативности использованных параметров для Средней Азии и регионов Западного и Южного Узбекистана можно видеть, что параметр гравитационных аномалий силы тяжести в редукции Буге везде оказывается информативным. Тем не менее, характеризующие его значения  $I (H)$  изменяются в довольно широких пределах от 0,85 бит в Сырдарьинско-Кызылкумском регионе до 0.407 на Бухаро-Газлийском регионе. Параметры изостатических аномалий силы тяжести также используются во всех этих регионах, но высокие значения  $I (H) = 0.572$  бит данный параметр имеет только в Сырдарьинско-Кызылкумском регионе. Во всех остальных случаях значение  $I (H)$  этого параметра колеблется от 0.226 до 0.355 бит.

Это показывает, что высокоинформативные параметры являются основными критериями образующими множество, и независимо от выбора количества параметров, а также геологического объекта будут контролировать исходные уровни информативности. Так как комплекс наиболее информативных параметров является контролирующим устойчивостью количественных оценок, то очевидность сглаживания влияния при оценках менее информативных параметров ясна. Поэтому нельзя при количественных оценках ограничиваться лишь одним из использованных параметров.

Проведенный анализ информативности используемых разнородных, преимущественно геофизических параметров показал, что только комплексное использование геолого-геофизических данных открывает перспективы разностороннего количественного описания особенностей современного напряженно-деформированного состояния земной коры. Это, в свою очередь, создает предпосылки для повышения надежности и объективности оценки долговременной сейсмической опасности региона.

#### Литература

1. Борисов А.А., Щукин Ю.К., Зияудинов Ф.Ф. и др. Исследование геофизических условий в очаговой зоне Газлийских землетрясений 1976 г. // Геофизические условия в очаговых зонах сильных землетрясений. М.: Наука. 1983. С. 97-126.
2. Зияудинов Ф.Ф., Садыков Ю.М. Количественная оценка сейсмической опасности западного Узбекистана по геологическим и геофизическим данным. Ташкент: Фан. 1987. 152 с.
3. Зияудинов Ф.Ф. Оценка сейсмической опасности территории Центральной Азии по комплексу геолого-геофизических данных // Доклады АН Уз. 1997. № 1. С. 47-49.
4. Рияудинов Ф.Ф., Мамаджанова Г.Ф. и др. Геолого-геофизические поля и их информативность для решения задач сейсмической опасности // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. Ташкент. 2006. № 3. С. 79-84.

## ПАЛЕОТЕКТОНИКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ НА СТРУКТУРЕ ТАЛДИКУДУК

Хожиев Б.И.

*spigo@ing.uz*

АО «Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений», г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*В статье рассмотрены результаты палеотектонических реконструкций ловушек нефти и газа, и их научно-практическая значимость. Установлено, что нефтегазоперспективность в районе работ связана с историей тектонического развития и условий формирования структур. Зависимость нефтегазоносности структур от времени их образования позволяет существенно повысить эффективность поисков залежей нефти и газа за счет сокращения числа непродуктивных скважин, пробуренных на пустых структурах, а также позволяет внести коррективы в направления дальнейших геологоразведочных работ на структуре Талдикудук.*

*Ключевые слова: формация, горизонт, литология, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина.*

Необходимость проведения палеотектонического анализа для повышения эффективности поисково-разведочных работ на нефть и газ обусловлена тем, что углеводороды, являясь подвижными полезными ископаемыми, начинают мигрировать даже при некотором угле наклона слоев. Образовавшись на определенном этапе геологической истории, нефтяные и газовые залежи в дальнейшем постоянно реагируют на перестройки тектонического плана, появление разломов, трещин, изменение термопластовых параметров [2]. Поэтому иногда в результате глубоких тектонических подвижек они могут быть разрушены или потерять часть своих запасов. Кроме того, разрушение может быть полным или частичным вследствие миграции нефти и газа вверх по трещинам и разломам, вызванной нарушением гидродинамического равновесия. В ряде случаев эта миграция может привести к формированию в верхних литолого-стратиграфических этажах новых залежей в более молодых отложениях.

Таким образом, в связи с региональным наклоном и расформированием ловушек, ранее образовавшиеся залежи могут исчезнуть или сместиться и занять новое положение. При этом если ловушка сформировалась в более позднее время, т.е. после окончания процесса миграции, нефтяные и газовые залежи в ней могут отсутствовать [2].

Процессы формирования, сохранения и разрушения залежей нефти и газа непосредственно связаны с историей тектонического развития изучаемого района, т.е. с процессами, связанными с палеотектоникой. Следовательно, одной из главных задач при поисках структур и залежей является расшифровка истории их формирования. Опыт поисковых работ показывает, что даже в заведомо нефтегазоносном регионе могут существовать локальные поднятия, не содержащие залежей нефти и газа, хотя современная структура этих поднятий и прочие факторы, определяющие возможность образования залежей (коллекторы, покрышки, условия миграции и т. д.), не отличаются от таковых для продуктивных структур. И только при детальном изучении временных изменений, характерных для таких поднятий выясняется, что их отличие от продуктивных ловушек связано с геологическими процессами, возникающими на определенных этапах истории развития данной территории.

Получение надежной информации об условиях формирования залежей нефти и газа позволяет усовершенствовать методику поисков и разведки новых месторождений и



объективно оценить перспективность новых территорий в пределах изучаемого района. При прочих равных условиях знание причин формирования залежей и их разрушения позволяет существенно повысить эффективность геолого-геофизических работ.

В данной работе проведён палеотектонический анализ структуры Талдикудук для уточнения истории её геологического и тектонического развития.

В административном отношении площадь Талдикудук расположена на территории Караулбазарского района Бухарской области Республики Узбекистан. Ближайшим населенным пунктом является пос. Караулбазар. Ближайшие железнодорожные станции находятся в городах Караулбазар, Каган.

Структура Талдикудук выявлена в 1985 году в результате сейсморазведочных работ ОГТ-2Д и 2014 году подготовлена под глубокое поисковое бурение по отражающему горизонту Т<sub>5</sub>, приуроченному к кровле нижних ангидритов (J<sub>3tt</sub>) и Т<sub>7</sub>, приуроченному к кровле терригенной юры.

Структура представляет собой антиклинальную складку субмеридионального простирания, осложненную тектоническим нарушением на северо-востоке. Размеры по ОГ Т<sub>5</sub> по замыкающей изогипсе «-1820 м» составляют 4,0х3,2 км, амплитуда 30 м, площадь 8,2 км<sup>2</sup>. По ОГ Т<sub>7</sub> по замыкающей изогипсы «-2160 м», составляют 3,3х3,0 км, амплитуда 40 м, площадь 7,0 км<sup>2</sup>.

На площади Талдикудук пробурена одна поисковая скважина № 1 глубиной 3105 м, с забоем в палеозойских отложениях.

Согласно проведенным геофизическим исследованиям в поисковой скважине № 1 Талдикудук кровля XVnr горизонта вскрыта на глубине 2052 м, что на 8 м выше, чем предусмотрено проектом (2060 м), на 98 м выше, чем в поисковой скважине № 9 Дивалкак (2150 м), на 109 м выше, чем в поисковой скважине №1п Матонат (2161 м).

При бурении поисковой скважины № 1 Талдикудук из запланированных 96 м отбора керна по проекту, из скважины были отобраны образцы керна в 8-и интервалах, проходка под керн 33 м, вынос керна составил 31,7 м, что составляет 96%.

По результатам лабораторного анализа керна и шлама АО «ИГИРНИГМ» (Г.Г. Джалиловым, Л.П. Шарафутдиновой и др.) были даны следующие заключения:

В интервале 2080-2081 м керн представлен известняками серыми, пепельно-серыми сгустковыми, изредка комковато-сгустковыми, водорослевыми, плитчатыми со слоевидными парастилолитовыми швами, сложенными глинисто-карбонатно-битуминозным материалом.

В интервале 2124-2129 м разрез сложен серыми, светло-серыми биоморфными, органогенно-детритовыми, водорослевыми, в нижней части рифогенными пористо-кавернозными известняками.

В интервале 2266-2271 м керн представлен известняками серыми, темно-серыми, бежево-серыми сгустково-микрозернистыми известняками слабо загипсованными, с редкими отпечатками раковин двустворок при расколе пород отмечается слабый характерный запах углеводородов.

В интервале 2437-2443 м керн представлен темно-серыми известняками органогенно-детритовыми, реже мелкокристаллическими, слоеватыми, низкоплотными, тонко, равномерно слюдитизированными, насыщенными остатками, ядрами, отпечатками целых мелких, тонкостенных раковин двустворок, брахиопод, пелеципод и их фрагментов.

В интервале 2507-2513 м керн представлен песчаниками среднезернистыми темно-серыми, местами до черного глинисто-алевритовыми, слоистыми, с наличием черных тонких, волосовидных, коротких линзочек углей и отпечатками, детритом углефицированных растений. В нижней части отмечается прослой известковых разнозернистых песчаников светло-серого цвета с плохо сортированными песчаными зернами, плохо окатанными.

В интервале 2560-2566 м разрез представлен гравелитами песчаными, участками галечными серыми, светло-серыми слоеватыми средней плотности и крепости, безизвестковистыми, плохо сортированными, слабо окатанными, со слабо выраженной,

пологонаклонной, градационной слоеватостью, местами подчеркнутой мелкими линзами черных углей.

В интервале 2873-2874 м сложен сильно известковым, окремненным темно-серым, практически черным крупно-среднезернистым весьма плотным и весьма крепким песчаником с включением редких зерен молочно-белого кварца мелкогравийного размера.

В интервал 3104-3104,5 м сложен песчаниками сильно известковыми, окварцованными темно-серыми, почти черными галечно-гравелитистыми весьма плотными и крепкими, непористыми, кварц-кремнистыми, также с включениями обломков известняков.

С целью более детального определения характера насыщения коллекторов палеозойских и юрских отложений произведено испытание 10 объектов. Из 2-х объектов получен слабый приток газа неподдающейся замеру и пластовая вода, также из 2-х объектов получен слабый приток газа неподдающейся замеру и техническая вода, из 4-х объектов получена техническая вода, из 1-го объекта получена жидкость и из 1-го объекта получена пластовая вода.

В результате переинтерпретации сейсморазведочных материалов МОГТ-2Д, а также с учетом данных бурения скв. № 1 Талдикудук и близрасположенных скважин на месторождении Дивалкак-Матонат, автором статьи была составлена геологическая модель по кровле нижних ангидритов и по кровле терригенной юры (рис. 1).

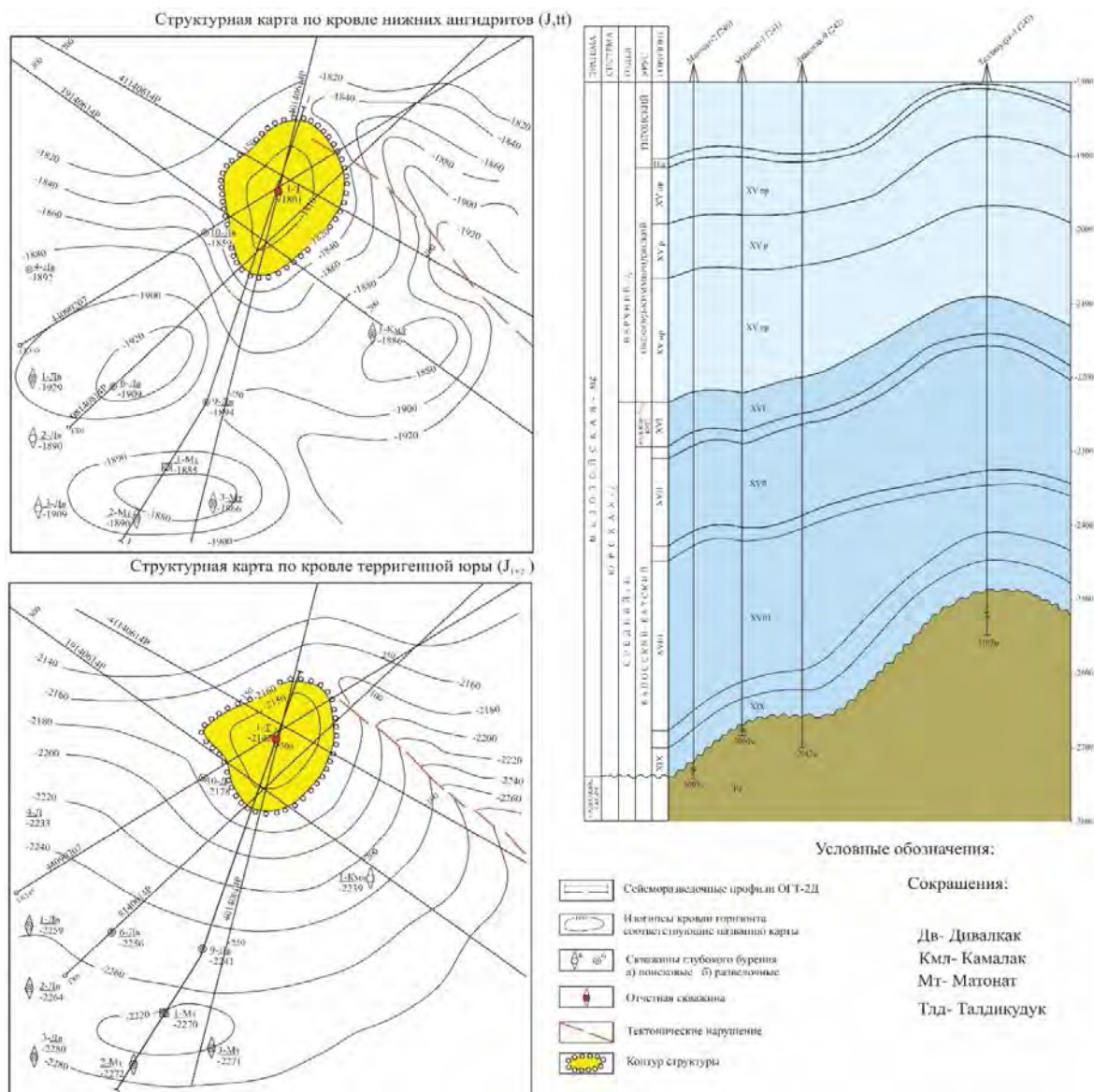


Рисунок 1 – Структурная карта и геологический профиль по линии II-II. Составил: Хожиев Б.И., 2019 г.

Согласно этой модели по кровле нижних ангидритов и по кровле терригенной юры структурный план подтвердился, и представляет собой антиклинальную складку субмеридионального простирания, осложненную тектоническим нарушением на северо-востоке. Размеры по ОГ Т<sub>5</sub> по замыкающей изогипсе «-1820 м» составляют 4,0×3,2 км, амплитуда 19 м, площадь 8,2 км<sup>2</sup>. По ОГ Т<sub>7</sub> по замыкающей изогипсы «-2160 м», составляют 3,3×3,0 км, амплитуда 18 м, площадь 7,0 км<sup>2</sup> (рис. 1).

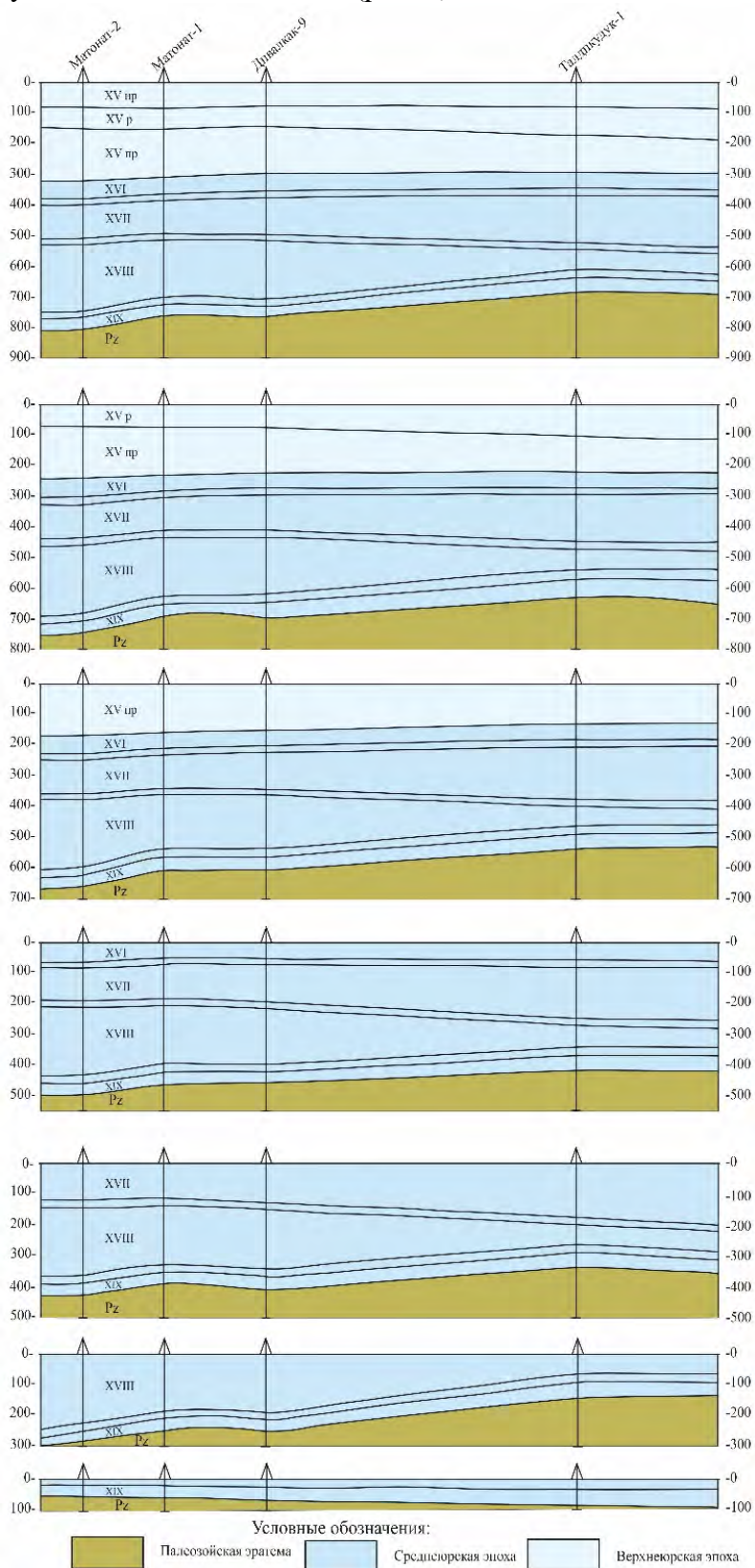


Рисунок 2 – Палеотектонический профиль по линии I-I. Составил: Хожиев Б.И., 2020 г.

Автор построил геологический профиль по линии I-I (Матонат скв. № 2,1п, Дивалкак скв. № 9 Талдикудук скв. № 1), который показывает, что поисковая скважина № 1 Талдикудук пробурена в сводовой части структуры. От месторождения Матонат-Дивалкак до Талдикудука идет региональный подъем по кровле терригенной, карбонатной юры и по палеозою. На геологическом профиле видно, что юрская терригенная и карбонатная формации регионально выклиниваются на площади Талдикудук (рис. 1).

Для достоверной оценки перспективности исследуемого района была восстановлена палеотектоническая обстановка (рис. 2) с уточнением процессов её формирования, построен палеотектонический профиль по линии I-I (Матонат скв. № 2,1п, Дивалкак скв. № 9 Талдикудук скв. № 1).

Палеотектонический профиль I-I показывает, что до начала осадконакопления юрских отложений XIX горизонта в рассматриваемом районе тектонической активизации не произошло. В результате киммерийского тектогенеза, во время осадконакопления XVIII горизонта район стал тектонически активным, и в результате в районе Талдикудук образовался выступ. В связи с этим мощность XVIII горизонта в исследуемой площади резко сокращается. Отсюда можно сделать вывод, что в результате киммерийского тектогенеза, во время осадконакопления XVII горизонта территория стала тектонически активной, и в результате в районе месторождения Матонат-Дивалкак образовался выступ, площадь Талдикудук расположена в переклиналной части этого выступа. В связи с этим, мощность XVII горизонта в исследуемой площади увеличилась.

Учитывая вышеизложенное и проанализировав представленные геолого-геофизические материалы, данные бурения скважины, можно сделать вывод, что вскрытый разрез юрских отложений площади Талдикудук является бесперспективным в отношении поисков УВ.

### Литература

1. Машкович К.А. Методы палеотектонических исследований в практике поисков нефти и газа. М.: Недра. 1976. С. 28-48.
2. Хожиев Б.И. Палеотектоника, процессы формирования структуры и продуктивность юрской терригенной формации Кандымского поднятия (Узбекистан) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 2. С. 8.

**ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ GNSS В СРЕДЕ GAMIT-GLOBK**

Шукуров З.Ф.

zukhriddin85@mail.ru

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*В статье приводятся основы спутниковой навигации: принцип определения времени транзитной волны и принцип работы GNSS приемников, основные типы принимающего устройства GPS по степени точности, источники ошибок, которые снижают точность координат, полученных с помощью GPS, поэтапный процесс обработки данных GPS на программы GAMIT-GLOBK, полученные результаты научно-исследовательской работы, проведенной впервые в условиях Узбекистана. Обработка данных измерений GNSS и результаты анализа в среде GAMIT-GLOBK эндогенного мониторинга геологических процессов, оперативная оценка изменений резко деформированных горных пород в сейсмически активных зонах имеют важное значение в защите населения и территорий от опасных природных бедствий и в определенной степени служат обеспечению сейсмической безопасности регионов.*

*Ключевые слова: GPS, GNSS, GAMIT-GLOBK, RINEX, СДЗК, деформация.*

GPS (GNSS) - это глобальная навигационная спутниковая система, используемая для определения координат (долготы, широты и высоты) и времени по UTC в любой точке земной поверхности. Скорость и направление движения определяются этими показателями.

GPS спутники - это устройства, которые распределяют волны во времени. Для определения глобального позиционирования необходимо, как минимум, четыре устройства, которые распределяют волны по времени в трехмерном пространстве, основанные на принципе определения времени прохождения волны. Трехмерные координаты (долгота, широта, высота) определяются с помощью волн, распределенных по всему времени измерения четырех спутников. Рассмотрим этот процесс в следующем примере. Расстояние можно определить относительно легко: расстояние = момент вспышки молнии (время начала) и момент появления звука молнии (время окончания), разница умножается на скорость звука (около 330 м/с). Исходя из этого определяется время прохождения волны [1].

Расстояние = время прохождения • скорость звука

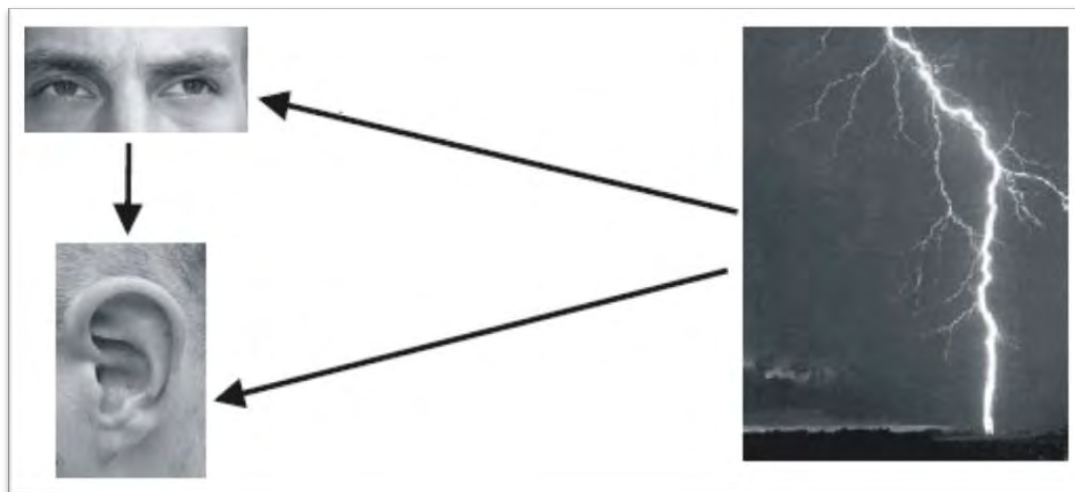


Рисунок 1 – Принцип определения времени транзитной волны [1]

Система GPS работает по тому же принципу. Чтобы вычислить точную координату, необходимо измерить время прохождения электромагнитной волны между четырьмя другими спутниками с известной точкой и местоположением.

Существуют различные способы определения координат с помощью GNSS. Выбор зависит от степени точности по требованию заказчика и типа принимающего устройства GPS. Методы в целом можно разделить на три основных класса: 1. Автономная навигация: точность определения координат 20-100 м; 2. Дифференциальное координирование, точность координат 0,5-5 м; 3. Дифференциальные фазовые измерения, точность координат 0,5-20 мм [1].

Точность данных GPS связана с несколькими типами ошибок. По настоящее на практике мы считали, что координаты, полученные с помощью GPS, очень точны и свободны от ошибок. Но это далеко не так потому, что существуют несколько источников ошибок, которые снижают точность координат, полученных с помощью GPS от теоритически [1]. Эти источники ошибок:

1. Ионосферные и атмосферные задержки.
2. Ошибки часов спутника и приёмника.
3. Переотражение.
4. Геометрическое снижение точности.
5. Избирательный доступ (S/A).
6. Шифрование кодовых данных – Anti-Spoofing (A-S).

Процесс обработки данных GPS выполнялся на базе программы GAMIT-GLOBK, созданной учеными из Массачусетского Технологического Института США, работающими над операционной системой Linux/Unix [2,3]. Преимуществом программы является то, что она работает в полуавтоматическом состоянии. Причина, по которой данные GPS еще не были в Узбекистане полностью обработаны, заключается в том, что вышеупомянутые случаи не были исключены из обработки. В проведенном нами исследовании были учтены источники ошибок GPS, снижающие точность данных, и они были исключены в процессе обработки на основе программы GAMIT-GLOBK.

Непрерывно измеряемые "сырые" данные оператора передаются в формат RINEX через специальную программу TEQC. Ниже в качестве примера приведен процесс обработки данных 16 GPS станций дней 190, 191, 192, 193, 194 в 2011 году с данными GPS тех же дней 2012, 2013 гг. Внутренний внешний вид формата RINEX показан на рисунке 2.

```

1 2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
2 teqc 2018Jun8 20180703 09:34:42UTC PGM / RUN BY / DATE
3 Linux 2.6.32-573.12.1.x86_64|x86_64|gcc -static|Linux 64|+= COMMENT
4 BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
5 FGNA MARKER NAME
6 ZAHA ISUZ OBSERVER / AGENCY
7 356725 LEICA GRX1200GGPRO 8.00/3.019 REC # / TYPE / VERS
8 LEIATS04GG NONE ANT # / TYPE
9 1521195.7291 4622420.5851 4110096.3681 APPROX POSITION XYZ
10 0.3000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
11 1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
12 6 L1 L2 C1 P2 S1 S2 # / TYPES OF OBSERV
13 10.0000 INTERVAL
14 COMMENT
15 Project creator: COMMENT
16 SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
17 L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
18 2011 7 9 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
19 15 LEAP SECONDS
20 END OF HEADER
21 11 7 9 0 0 0.0000000 0 14G24G19G14G22G11G18G31G09R17R12R01R02
22 R18R11
23 126166108.444 6 98311262.26245 24008612.790 24008612.420 41.500
24 34.750
25 124836029.583 7 97274815.75846 23755507.120 23755503.420 46.000
26 40.500
  
```

Рисунок 2 – Внешний вид Ферганской GPS станций в формате RINEX

Когда процесс обработки в программе GAMIT доходит до половины этапа, получают графики, отражающие точность Н-файлов GPS-станций. На основании этих графиков проверяется точность Н-файлов.

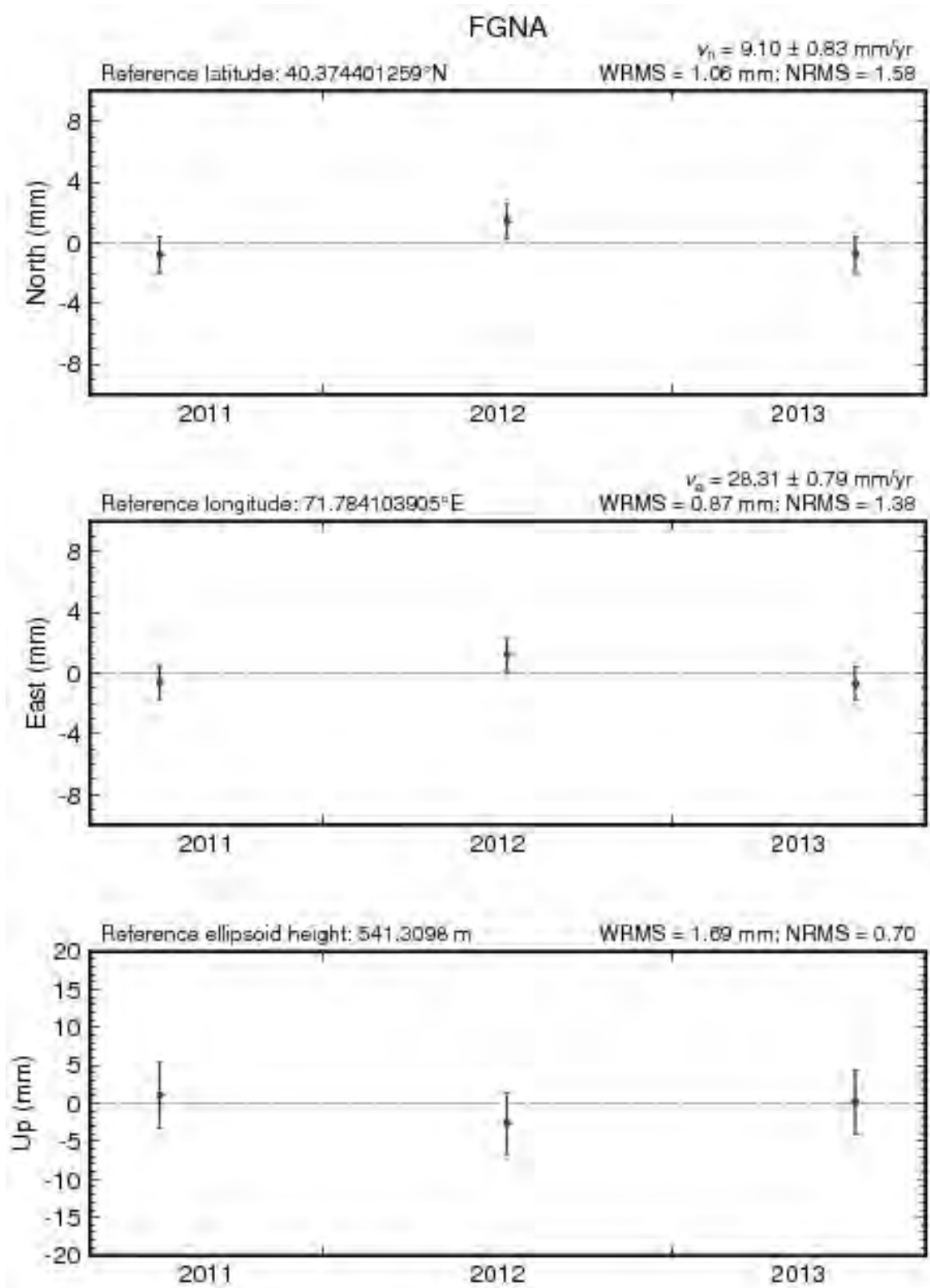


Рисунок 3 – Проверка Н-файлов Ферганской GPS станций

Если мы удовлетворены точностью N-файлов, то перейдем к следующим этапам, в противном случае мы вернемся к первому этапу и проверим, что все на месте и правильно, после чего процесс будет продолжаться снова.

Как только точность N-файлов пройдет проверку, они объединяются, то есть файлы GLX доводятся до целого общего состояния. Файлы GLX обрабатываются с помощью программы GLOBK.

На заключительном этапе обработки в программе GAMIT временной ряд координат рэперов, таблица скоростей рэперов GPS станций берется из таблицы скоростей среднегодовых горизонтальных и вертикальных перемещений рэперов [4].

В результате научно-исследовательской работы, проведенной впервые в условиях Узбекистана на основе программы GAMIT-GLOBK, были определены современное движение земной коры в Восточном Узбекистане и прилегающих регионах, а также современные перемещения Ташкента, Ферганы, Китаба и еще 13 дополнительных станций GPS (таблица 1).

Таблица 1 – Современные скорости движения сети GNSS Узбекистана и прилегающих к нему регионов за последние годы (по отношению к центру Земли)

Координаты		Скорость, мм·год <sup>-1</sup>		Высота, мм·год <sup>-1</sup>	Код станции
Долгота	Широта	Восточной составляющей	Северной составляющей		
115,89249	39,60860	31,32	-11,56	-0,31	BJFS*
107,05233	47,86507	28,22	-8,56	0,80	ULAB
104,31624	52,21902	24,55	-7,17	1,03	IRKM*
96,83397	-12,18834	45,05	64,71	5,94	COCO
91,10403	29,65733	44,74	17,76	1,00	LHAZ*
87,60067	43,80795	31,82	6,88	1,49	URUM
82,90949	55,03050	24,67	0,21	-3,53	NOVM*
77,57038	13,02117	45,88	38,79	0,89	IISC*
74,75110	42,99850	27,06	2,51	-4,64	CHUM*
74,69427	42,67977	27,81	4,96	-1,36	POL2*
72,77750	40,52993	27,46	9,09	-1,28	OSHK
71,78410	40,37440	27,99	9,43	-0,35	FGNA
69,29557	41,32805	24,02	3,27	-2,97	TASH*
66,88545	39,13477	28,73	4,72	0,27	KIT3
58,56046	56,42982	25,85	5,81	4,30	ARTU*
33,39645	35,14099	19,58	16,57	-1,63	NICO*

На основании приведенной таблицы были обработаны и проанализированы результаты среднегодовых скоростей движения станций GNSS в Восточном и Северном направлениях на основе программы GLOBK. Данный Восточный составляющий - это расстояние от 0° Меридиана GNSS-станции, в то время как Северный составляющий - это расстояние от экваториальной линии Земли до GNSS-станции. На основе горизонтальных перемещений этих двух составляющих Востока и Севера в 2011-2013 годах была составлена векторная карта среднегодовых скоростей горизонтального перемещения земной коры относительно центра Земли (рисунке 3).



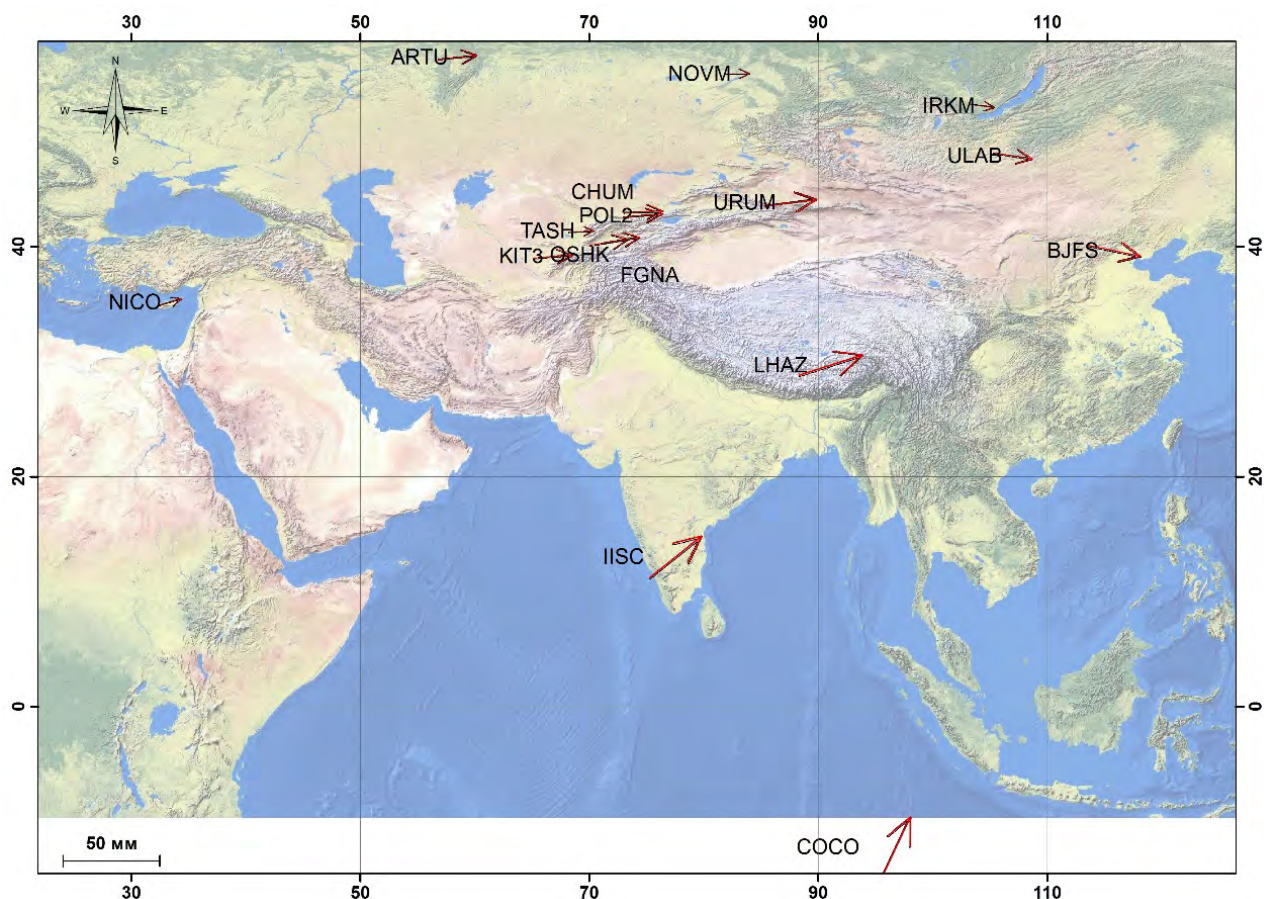


Рисунок 3 – Globk модель среднегодовой скорости горизонтального движения земной коры GNSS станций

Обработка и анализ данных измерений в среде GAMIT-GLOBK непосредственно с использованием дистанционных космогеодетических методов дают возможности в изучении изменчивости вертикальных и горизонтальных движений, сформировавшихся под влиянием геолого-тектонических процессов в земной коре Восточного Узбекистана и прилегающих регионов, а также количественной оценки геодинамических процессов за последние годы.

#### Литература

1. Яценков В.С. Основы спутниковой навигации. Системы GPS NAVSTAR и ГЛОНАСС. М.: Горячая линия-Телеком. 2005. 272 с.
2. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GAMIT. Reference manual. GPS analysis at MIT. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 182 p.
3. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GLOBK: Global Kalman filter VLBI and GPS analysis program. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 87 p.
4. Herring, T.A., Melbourne T.I., Murray M.H., Floyd M.A., Szeliga W.M., King R.W., Phillips D.A., Puskas C.M., Santillan M., Wang L. Plate boundary observatory and related networks: GPS data analysis methods and geodetic products. - 2016. Rev. Geophys. 54. doi:10.1002/2016RG000529.

## АМПЛИТУДНО-ФАЗОВАЯ КОРРЕКЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛЕВОГО МАТЕРИАЛА (НА ПРИМЕРЕ СТАЦИОНАРНОГО ПУНКТА МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЧУНКУРЧАК)

Юнусов А.И.

*iunusov.a28@gmail.com*

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе представлены результаты адаптации методики амплитудно-фазовой коррекции (АФК) для обработки данных магнитотеллурического мониторинга стационарного пункта Чункурчак. Показано, что применение данной методики значительно повышает качество полевых наблюдений магнитотеллурического мониторинга.*

*Ключевые слова: магнитотеллурический мониторинг, амплитудно-фазовая коррекция, амплитудные и фазовые кривые, Северный Тянь-Шань.*

### Введение

Исследования связаны с одной из ключевых задач современной геодинамики – изучение вариаций электромагнитного поля во взаимосвязи с процессами, происходящими в земной коре и верхней мантии и причин их возникновения.

Работа направлена на изучение изменений геоэлектрического разреза среды, вызванных катастрофическими процессами, такими как землетрясения, которые отражаются в вариациях электромагнитных параметров. Особое внимание уделялось детальному исследованию зон динамического влияния Иссык-Атинского и Чункурчакского активных разломов с помощью магнитотеллурического зондирования. Главной задачей выполненного исследования является повышение точности определения электромагнитных параметров.

Полевые исследования методом магнитотеллурического зондирования выполняются в соответствии с методическими указаниями М.Н. Бердичевского и В.И. Дмитриева [1] с использованием канадской аппаратуры Феникс MTU-5, которая позволяет регистрировать пять компонент электромагнитного поля – две электрических ( $E_x$  и  $E_y$ ) и три магнитных ( $H_x$ ,  $H_y$  и  $H_z$ ). Обработка данных состоит в получении из шумоподобных измеряемых сигналов информации о структуре проводимости подстилающей среды в виде набора гладких функций, отражающих электрические свойства Земли. Основными из этих функций являются зависимости импеданса ( $Z$ ) и типпера от частоты. По величинам импеданса рассчитываются кажущиеся сопротивления. Уравнения для нахождения импеданса имеют следующий вид:

$$E_x(f) = Z_{xx}(f)H_x(f) + Z_{xy}(f)H_y(f), \quad (1)$$

$$E_y(f) = Z_{yx}(f)H_x(f) + Z_{yy}(f)H_y(f). \quad (2)$$

### Магнитотеллурический мониторинг

С 2003 г. Научная станция выполняет непрерывные магнитотеллурические (МТ) наблюдения на стационарном пункте Чункурчак (рис. 1). Метод магнитотеллурического зондирования, применяемый в рамках комплексного геодинамического мониторинга Северного Тянь-Шаня, имеет хорошую чувствительность к изменению электрических свойств горных пород, слагающих разрез, при изменении их напряженно-деформированного состояния. Для регистрации электрических компонент МТ-поля используется крестообразная установка с длиной приемных линий 50 м. Время регистрации составляет 24 часа, но для обработки используется только 16-часовая запись

(остальные восемь часов суточной реализации не рассматриваются из-за влияния на регистрируемое МТ-поле искусственных электромагнитных импульсов, генерируемых мощной электроимпульсной установкой ЭРГУ-600) [2, 3]. Синхронизация работы приемников производится с помощью GPS и используется всемирное UTC. Для обработки МТ-данных используется программное обеспечение Phoenix Geophysics – SSMT2000, которое позволяет преобразовывать временные ряды в частотные в формате \*.mth и \*.mtl. Для просмотра, редактирования и построения сглаженных частотных зависимостей компонент тензора импеданса, используется программа МТ-Corrector [4, 5]. Данная программа использует набор полученных оценок из 20 реализаций, что позволяет изменять среднюю кривую, обеспечивая возможность повышать качество материала. Результаты обработки и редакции (сплайны кривых кажущегося сопротивления, дополнительного импеданса, фазы импеданса, реальной и мнимой части типпера) сохраняются в формате \*.edi (международный стандарт Society of Exploration Geophysicists (SEG)).

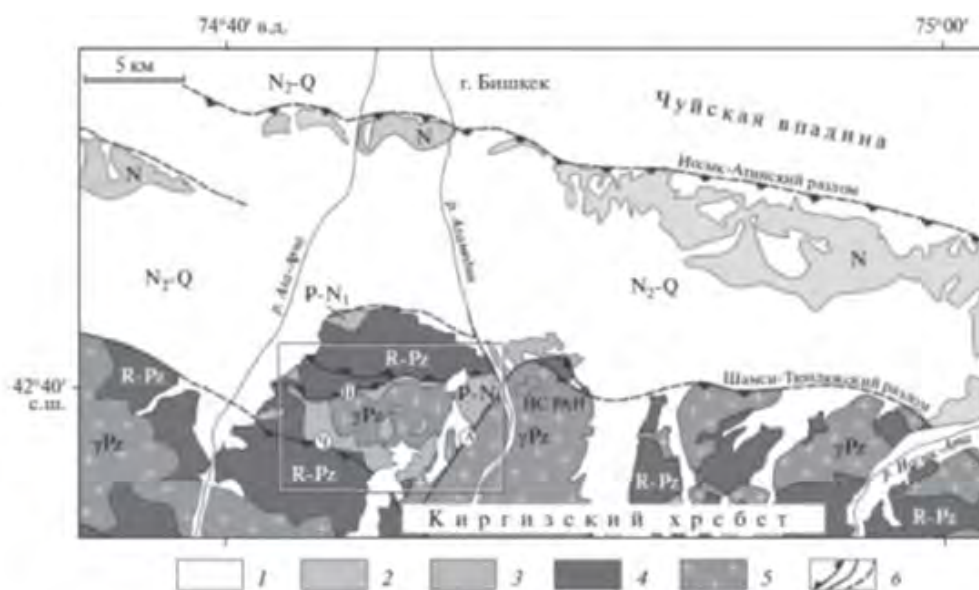


Рисунок 1 - Положение стационарного пункта Чункурчак в пределах Чункурчакского прогиба на северном склоне Киргизского хребта. Буквы в кружках – разломно-флексурные зоны: Ч – Чункурчакская, Ш – Шекуленская, А – Аламединская. 1 – плиоцен-четвертичные отложения; 2 – неогеновые отложения; 3 – палеоген-нижнемиоценовые отложения; 4 – рифейские и палеозойские породы; 5 – палеозойские гранитоиды; 6 – главные разломы [6, 7]

Особенностью геологического строения месторасположения мониторингового стационарного пункта Чункурчак является наличие субширотных линейных зон флексурно-разломного типа, известных как Иссык-Атинский и Чункурчакский разломы, которые выражены в рельефе и трассируются по границам распространения разновозрастных комплексов чехла или контактам фундамент [6, 7, 8].

В первую очередь в предполагаемом месте расположения стационара МТ-мониторинга были выполнены профильные магнитотеллурические исследования [7], в результате которых получена геоэлектрическая модель (рис. 2). Наличие модели является необходимым условием для проведения мониторинговых работ на стационарном пункте наблюдения. Также был выполнен анализ полученных кривых для того, чтобы выявить наличие или отсутствие помех.

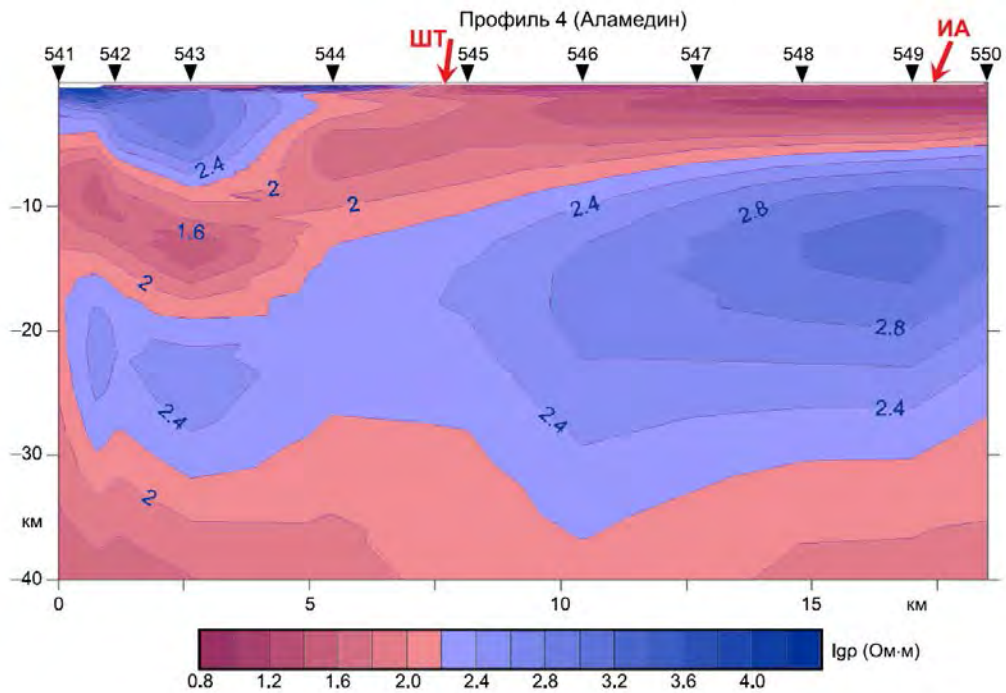


Рисунок 2 - Геоэлектрическая модель профиля Аламедин. ИА – местоположение Иссик-Атинского разлома, ШТ – местоположение Шамси-Тундукского разлома [9]

Метод обработки, который использовался раньше в Лаборатории глубинных магнитотеллурических исследований (ЛГМИ), представлял собой коррекцию фазовых кривых через  $\pm 180^\circ$  и  $\pm 360^\circ$ , бралась среднестатистическая кривая за год [10].

### Предлагаемый метод

При отсутствии значений на определенном диапазоне кривой или большой разброс значений в длиннопериодном диапазоне используются сплайны кривых компонент тензора на соседних точках наблюдений. В качестве опорных кривых выбраны фазовые кривые, так как они наиболее устойчивые. Вводя коррекцию кривых на  $\pm 90^\circ$ ,  $\pm 180^\circ$ ,  $\pm 270^\circ$  и  $\pm 360^\circ$  выставляется амплитудная кривая на тот уровень, где она должна быть.

Процесс построения сплайна можно разбить на 3 стадии:

1. Удаляются аномальные значения, которые, очевидно, являются неверными;
2. Объединение двух решений (импедансных и адмитансных);
3. Амплитудно-фазовая коррекция [11].

Предполагается, что предлагаемый метод позволит значительно улучшить качество полевых мониторинговых наблюдений.

В основу подхода положено дисперсионное соотношение в тензоре магнитотеллурического импеданса, которое связывает кажущиеся сопротивления и фазы импедансов. Данная процедура позволяет корректировать кривые МТЗ на основе установленных взаимосвязей между амплитудой и фазой. Точность выполнения дисперсионных соотношений может быть использована как дополнительный весовой фактор при решении задачи обработки [12].

Для повышения точности компонент тензора импеданса как для главных ( $Z_{xy}$ ,  $Z_{yx}$ ), так и для дополнительных ( $Z_{xx}$ ,  $Z_{yy}$ ) импедансов, используется процедура, которая позволяет корректировать кривые МТЗ на основе законов соответствия между амплитудой и фазой, называемой амплитудно-фазовая коррекция (АФК) [11]. Для горизонтально-слоистой модели амплитуда и фаза импеданса связаны интегральным соотношением (рис 3):

$$\varphi(\omega) = -\frac{1}{\pi} \int_0^\infty \frac{d \ln|Z(\omega')|}{d \ln|\omega'|} \ln \left| \frac{\omega' + \omega}{\omega' - \omega} \right| \frac{d\omega'}{\omega'} , \quad (3)$$

где  $\omega$  – круговая частота,  $\varphi$  – фаза импеданса,  $|Z|$  – амплитуда импеданса.  
 Это выражение преобразуется в приближенную формулу вычислений:

$$\varphi(\omega) = -\frac{\pi d \ln|Z(\omega)|}{2 d \ln \omega} = \frac{\pi d \ln|Z(\sqrt{T})|}{4 d \ln \sqrt{T}}, \quad (4)$$

где  $T = 2\pi/\omega$ .

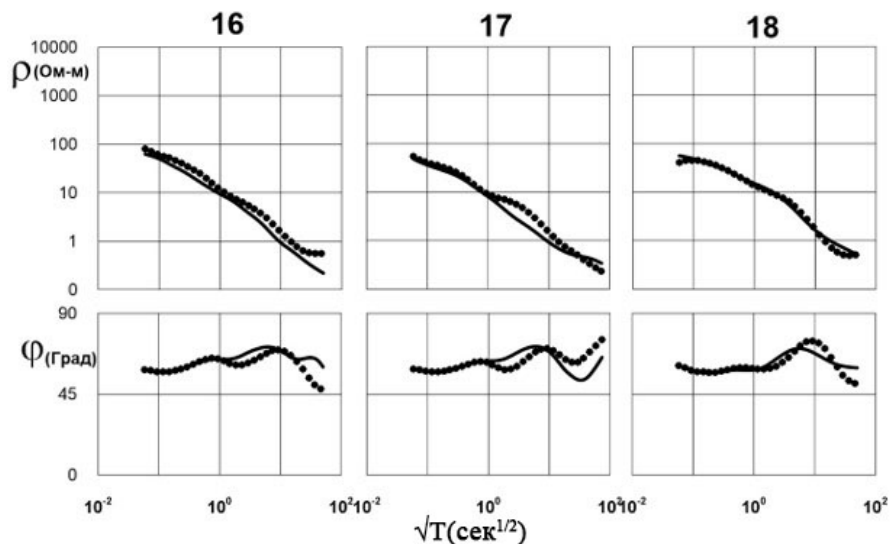


Рисунок 3 - Наблюденные кривые кажущегося сопротивления  $\rho_k(\sqrt{T})$  и фазы импеданса  $\varphi(\sqrt{T})$

На рисунке 3 показаны кривые, которые были получены в центре Сон-Кульской впадины по результатам профильных наблюдений полевого сезона 2019 г. Эти кривые свидетельствуют о том, что в пунктах зондирования 16, 17, 18 геоэлектрический разрез максимально приближен к горизонтально-слоистой среде, т.е. амплитуда и фаза импеданса должны быть связаны интегральным соотношением (3). Обращает на себя внимание практически полное совпадение фазовых кривых в высокочастотном диапазоне и их линейная вытянутость. При этом уровень расположения фазовых кривых лишь приближен к  $45^\circ$ , поскольку реальный геоэлектрический разрез все-таки отличается от горизонтально-слоистой среды [10]. Взаимосвязь амплитуда и фазы импеданса для двумерных сред и возможность амплитудно-фазовой коррекции кривых МТЗ рассмотрена в работе [11].

### Результаты

В качестве примера рассмотрим данные магнитотеллурического мониторинга стационарного пункта Чункурчак, обработанные с помощью программы МТ-Corrector на основе подхода АФК для двумерных сред. На рисунке 4, показано сравнение результатов обработки за 2003 год (начало) и за 2019 год мониторинговых наблюдений стационарного пункта Чункурчак. Очевидно, что качество данных полевых наблюдений значительно ухудшилось. Это может быть связано, прежде всего, с ростом промышленных и бытовых помех, вызванных развитием строительства разного рода сооружений, наличием новых трансформаторных подстанций, линий электропередач, движением транспорта и т.д. Использовать данные магнитотеллурического мониторинга в таком виде для построения частотно-временных рядов различных электромагнитных параметров не представляется возможным. Поэтому автором была выполнена амплитудно-фазовая коррекция кривых, представленных на рисунке 4. Фазовые кривые после сопоставления с аналогичными кривыми предыдущих мониторинговых серий, в соответствии с методикой [11], были приведены к соответствующей форме, представленной на рисунке 5, коррекцией кривых

на  $\pm 90^\circ$ ,  $\pm 180^\circ$ ,  $\pm 270^\circ$  и  $\pm 360^\circ$ . Наилучшее дисперсионное соотношение между амплитудной и фазовой кривой достигалось путем последовательного удаления и смещения неверных решений в программе MT-Corrector.

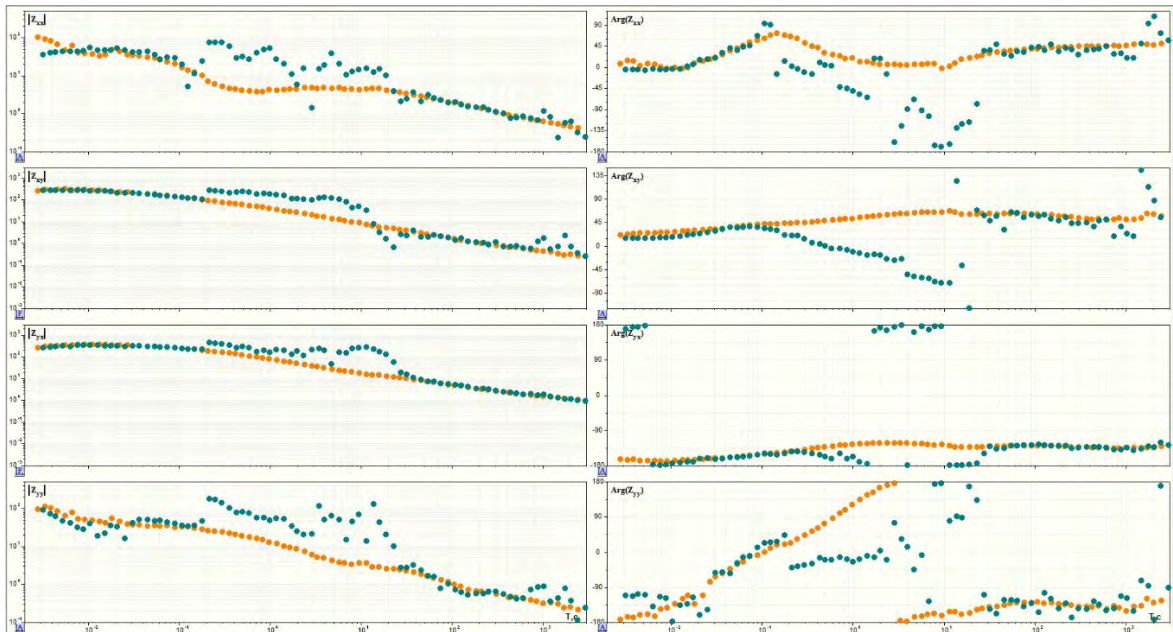


Рисунок 4 – В программе MT-Corrector, показаны МТН и МТЛ данные мониторинга за 23.10.2003 – оранжевым цветом и 15.10.2019 – голубым цветом

На рисунке 5 показаны результаты ручной обработки данных магнитотеллурического мониторинга за 15.10.19 г. с применением метода АФК.

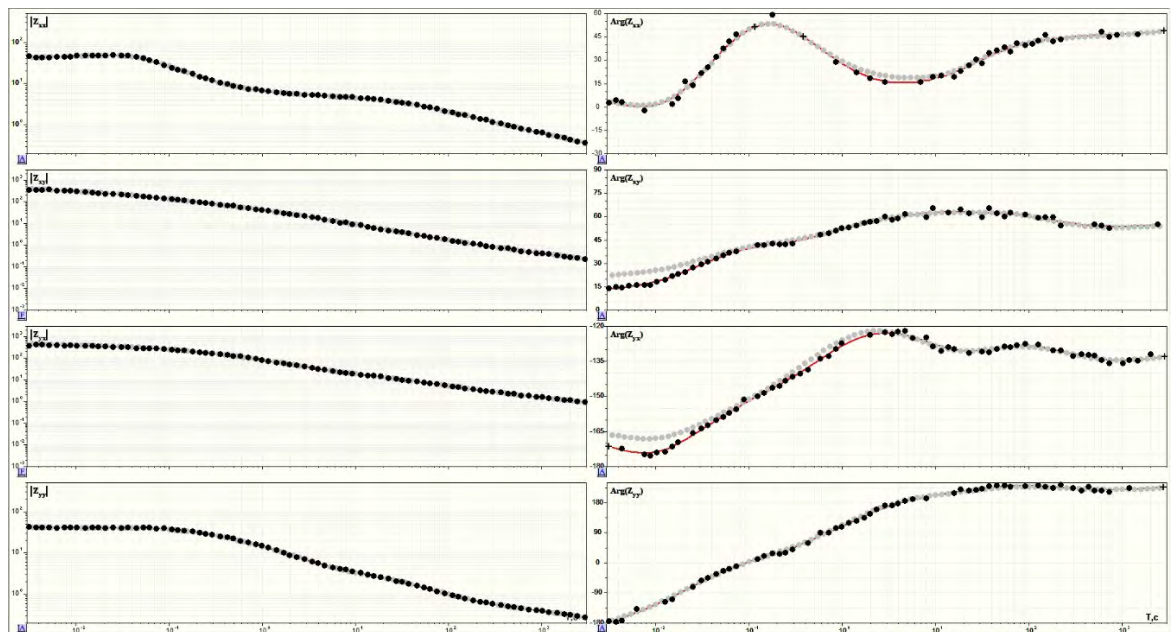


Рисунок 5 - Обработанная запись за 15.10.2019 г. стационарного пункта магнитотеллурического мониторинга Чункурчак

### Выводы

Результаты обработки мониторинговых магнитотеллурических наблюдений на стационарном пункте Чункурчак подтвердили возможность использования дисперсионного соотношения между амплитудной и фазовой кривой МТЗ как дополнительного фактора при решении задач обработки мониторинговых данных.

Адаптация методики амплитудно-фазовой коррекции для обработки наблюдаемых данных магнитотеллурического мониторинга на территории Бишкекского геодинамического полигона позволила повысить качество предварительной обработки полевых данных, что, в конечном итоге, ведет к повышению достоверности мониторинговых исследований.

*Автор выражает свою благодарность научному руководителю Баталевой Е.А. и научным сотрудникам ЛГМИ Матюкову В.Е., Непеиной К.С.*

*Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке “Изучение глубинного строения Тянь-Шаня и окружающих областей по комплексу геофизических методов для выяснения взаимосвязи переноса вещества-энергии в земной коре и верхней мантии с пространственно-временным распределением сейсмичности”, регистрационный номер АААА-А19-119020190063-2.*

### Литература

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 677 с.
2. Рыбин А.К., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Брагин В.Д., Морозов Ю.А., Щелочков Г.Г. Природа верхнекоровых электропроводящих горизонтов и инфраструктура гранитов Центрального Тянь-Шаня // Докл. АН. 2016. Т. 470. № 2. С. 215–218.
3. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Леонов М.Г., Пржиялговский Е.С., Кожогулов К.Ч., Никольская О.В., Мамыров Э.М. Современная геодинамическая активность земной коры Северного Тянь-Шаня и опасные геологические процессы // Вестник КРСУ. 2016. Т. 16. № 3. С. 157-163.
4. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга. Часть 1. Анализ данных магнитотеллурического мониторинга // Вестник КРСУ. 2014. Т. 14. № 7. С. 3-7.
5. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Разработка программ анализа данных азимутального магнитотеллурического мониторинга. Часть 2. Разработка программного обеспечения для анализа данных МТ мониторинга // Вестник КРСУ. 2014. Т. 14. № 7. С. 8-12.
6. Пржиялговский Е.С., Лаврушина Е.В. Складчатые деформации кровли палеозойского фундамента Чункурчакского прогиба, Киргизский хребет // Геотектоника. 2017. № 4. С. 31-50.
7. Рыбин А.К., Спичак В.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Площадные магнитотеллурические зондирования в сейсмоактивной зоне Северного Тянь-Шаня // Геология и геофизика. 2008. № 5. С. 445-460.
8. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. Проявление разломных структур в электромагнитных параметрах (для территории Центрального Тянь-Шаня) // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 9. С. 160-164.
9. Баталева Е.А., Мухамадеева В.А. Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский Геодинамический Полигон) // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9. № 2. С. 461-487.
10. Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Рыбин А.К. К вопросу о взаимосвязи вариаций электропроводности земной коры и геодинамических процессов // Физика Земли. 2013. № 3. С. 105-113.
11. Ермолин Е.Ю. Амплитудно-фазовая коррекция кривых МТЗ дополнительного импеданса для двумерных сред // Записки горного института. 2011. № 129. С. 23-26.
12. Алексеев Д.А., Пальшин Н.А., Варенцов Ив.М. Дисперсионные магнитотеллурические соотношения в двухмерной модели берегового эффекта // Физика Земли. 2009. № 2. С. 84-87.

## ЛОКАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ТЕХНОГЕННОЙ И СЕЙСМОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ В РАЙОНЕ ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Юсупов В.Р.

*valijon.yusupov@mail.ru*

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*В статье приведены данные анализа многолетних наблюдений геомагнитного поля на территории Чарвакского водохранилища, по которым выявлено, что локальные аномалии геомагнитного поля связаны с техногенными и сейсмогеодинамическими процессами в регионе. Рассмотрены вопросы использования этих результатов при прогнозировании землетрясений.*

*Ключевые слова: геомагнитное поле, геодинамические процессы, водохранилище, сейсмичность.*

Прогноз землетрясений в первую очередь обосновывался эмпирически – разрабатывались физические основы изменения магнитных свойств горных пород под действием нагрузок. Теоретические разработки проверялись при помощи лабораторных экспериментов. Лабораторные эксперименты проводились на отдельных образцах горных пород, результаты которых не в полной мере отражали изменения физических свойств в естественных условиях. Поэтому для решения этой проблемы были созданы геодинамические полигоны, где проводятся комплексные исследования по изучению особенностей пространственно-временного проявления предвестников землетрясений. В то же время эксперименты начали проводить в натуральных условиях, т.е. на природных моделях – на территориях техногенных объектов, где циклически создавались избыточные нагрузки на геологическую среду [1].

Чарвакское водохранилище расположено в районе со сложной тектоникой и высокой сейсмичностью. В пределах этой зоны произошли сильные землетрясения: Пскемское 1937 г.  $M=6.5$ , Бричмуллинское 1959 г.  $M=5.7$ . Высокая сейсмичность района объясняется наличием разломов разного ранга, как Каржантауский, Угамский, Пскемский, Кумбельский и Кенкольский [2].

Высота Чарвакской плотины 168 м, проектная вместимость резервуара  $2 \cdot 10^9$  м<sup>3</sup>. За годовой цикл эксплуатации водохранилища объем воды в резервуаре изменяется от 100 до 2000 млн м<sup>3</sup>, создавая переменные дополнительные сосредоточенные нагрузки на подстилающие горные породы. Это позволяет изучить локальные изменения геомагнитного поля, обусловленные динамикой упругих напряжений, создаваемых гравитационной нагрузкой за счет массы воды.

Первые пункты повторных геомагнитных наблюдений в районе Чарвакского водохранилища были заложены в декабре 1973 г. Количество пунктов в разные годы было разным, и менялось от 15 до 25. Также менялось количество циклов измерений в году - от 2 до 8. Всего за период 1973-2019 гг. проведено более 156 циклов измерений. К анализу результатов исследований за 1973-2019 гг. привлечены данные 36 пунктов повторных наблюдений, которые в течение этого периода не были испорчены [3].

Измерения на пунктах повторных наблюдений производились протонно-прецезионными магнитометрами Т-МП, МВ-01 синхронно с магнитометром МПП-1 магнитно-ионосферной обсерватории «Янгибазар» и МВ-01 «Чарвак». Точность единичного отсчета магнитометров 0,1 нТл. Результаты геомагнитных исследований классифицированы,



исключены систематические погрешности опорных станций и рассчитаны приращения поля относительно 1 цикла наблюдений по следующей формуле

$$\Delta\Delta T_a = \Delta T_{i \text{ цикл}} - \Delta T_{1 \text{ цикл}}$$

По результатам исследований построены графики месячных и среднегодовых изменений магнитного поля и объема накапливаемой воды в водохранилище. Усредненные значения геомагнитного поля на 22 пунктах повторных наблюдений полигона и сезонные изменения объема воды в водохранилище по месяцам приведены для 46-летнего цикла нагрузки-разгрузки.

Выявлено локальное изменение геомагнитного поля, связанное с режимом эксплуатации водохранилища. Амплитуда аномальных изменений составила от 1-2 нТл до 4-6 нТл, и они имеют обратимый характер, т.е. при увеличении объема воды значение геомагнитного поля уменьшается, а при уменьшении возвращается на свой первоначальный уровень. Совместный анализ результатов геомагнитных исследований с параметрами режима эксплуатации водохранилища и сейсмического режима региона показал, что на полигоне наблюдается совокупное проявление аномальных изменений техногенной и сейсмотектонической природы [4].

Исследован характер связи результатов геомагнитных наблюдений на Чарвакском полигоне с изменением локальной и региональной сейсмичности. Для этого произведена выборка землетрясений (таблица), произошедших на территории в радиусе  $R=20R$  км [5] от него (рис.1), т.е. произошедшие на расстоянии 20 кратного размера очага землетрясения.

Таблица – Каталог землетрясений, произошедших в радиусе  $R=20R$  км от Чарвакского полигона

№ пп	Дата	Координаты		Глубина Н, км	М, магнитуда	Примечание
		φ	λ			
1.	31.01.1977	40.03	70.52	20	5.7	Исфара-Баткенское
2.	06.12.1977	41.34	69.40	15	5.3	Таваксайское
3.	01.11.1978	39.20	72.36		6.8	Алайское
4	11.12.1980	41.19	69.03	10	5.5	Назарбекское
5.	06.05.1982	40.13	71.30	10	5.8	Чимионское
6.	17.02.1984	40.51	71.00	15	5.6	Папское
7.	13.10.1985	40.19	69.50	5	5.5	Кайраккумское
8.	26.03.1987	41.48	69.57	5	5.0	Алтынтепинское
9.	15.05.1992	41.06	72.25	30	6.0	Избаскенское
10.	18.08.1992	42.07	73.36	17	7.3	Суусамырское
11	22.08.2008	41.18	69.24	10	4.7	Ташкентское
12	19.07.2011	40.16	71.42	20	6.2	Кан

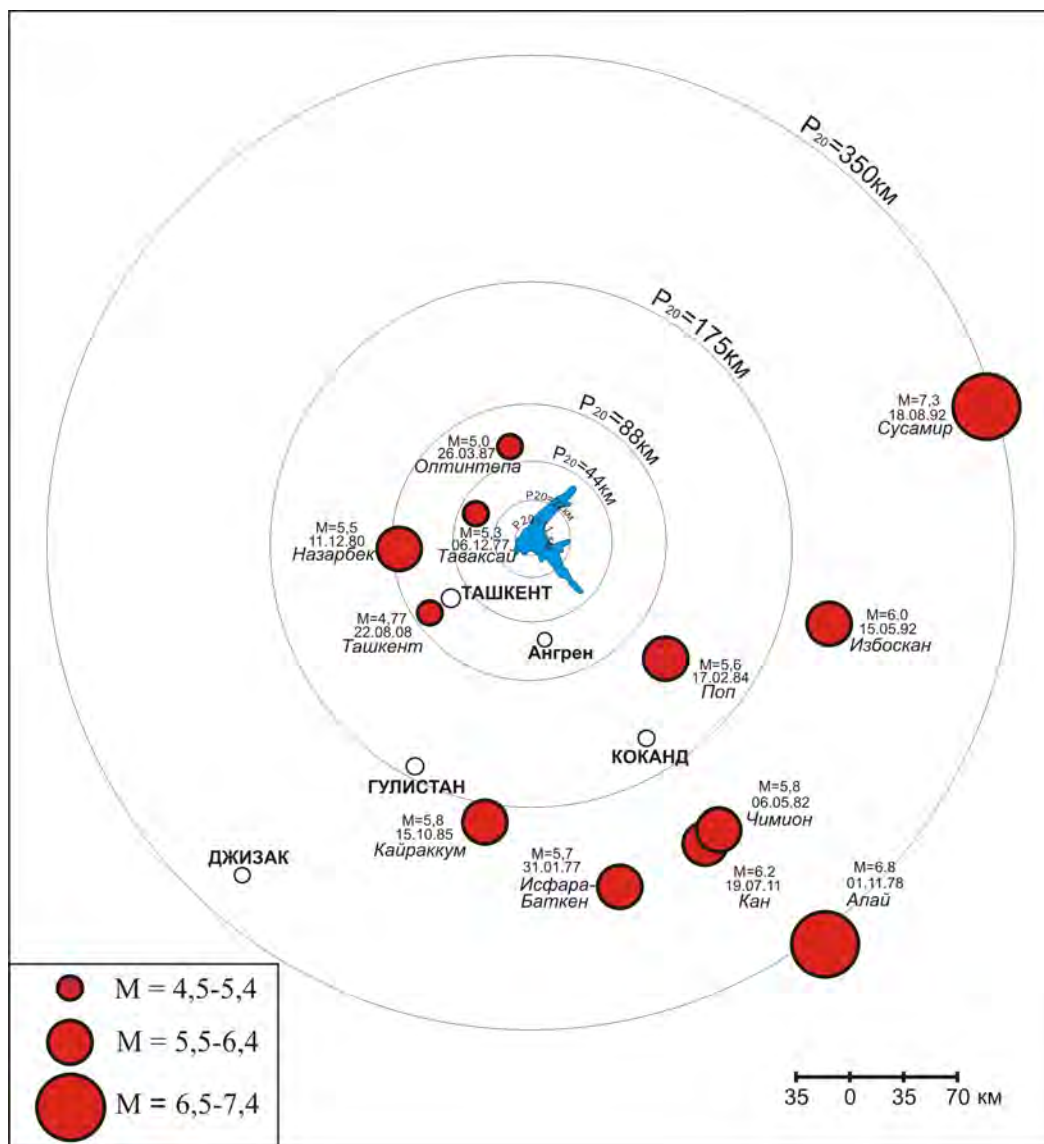


Рисунок 1 – Схема расположения эпицентров землетрясений, произошедших в радиусе  $R=20R$  км от Чарвакского полигона

Например, Таваксайское землетрясение 1977 г. с  $M=5.3$  сопровождалось локальным изменением геомагнитного поля на +5 нТл, Назарбекское землетрясение 1980 г. с  $M=5.5$  на +3 нТл, Чимионское землетрясение 1982 г. с  $M=5.8$  на +3.5 нТл. В периоды сейсмической активизации региона на локальных вариациях магнитного поля совместно проявлялись изменения техногенной и сейсмотектонической природы.

Достоверность связи аномальных изменений геомагнитного поля на Чарвакском полигоне, связанных с процессами подготовки землетрясений подтверждают и результаты исследований на Ташкентском полигоне. Исследование аномальных изменений геомагнитного поля с 1968 г. проводились помимо Чарвакского полигона и на трех маршрутах (Западный, Восточный, Секущий) Ташкентского полигона. Локальных изменений геомагнитного поля на пункте Секущий 9 Ташкентского полигона и на пунктах повторных наблюдений Чарвакского полигона, связанное с Таваксайским землетрясением 6.12.1977 г. с  $M=5.3$  [6].

Аномальные изменения геомагнитного поля в пункте Секущий 9 Ташкентского полигона начался в начале 1975 г. и в 1976 г. его амплитуда составила +19 нТл, а к середине 1977 г. - 18 нТл. Пункт наблюдения аномальных изменений расположен на расстоянии всего 20 км от эпицентра землетрясения. Аномальные изменения поля, зарегистрированные на

пунктах Чарвакского полигона по времени и форме проявления почти одинаковы с изменениями на пункте Секущий-9, но амплитуда изменений в 3-4 раза больше на Чарваке. Разность в амплитудах аномальных изменений объясняется отличиями их относительного расположения. Чарвакский полигон расположен в 30-40 км от эпицентра и амплитуда аномалий там меньше, чем на Таваксае. Это показывает корреляционную связь геомагнитных аномалий с процессами подготовки Таваксайского землетрясения. Однотипность форм проявления аномальных изменений показывает, что их единый источник находится в одной структуре – Каржантауском разломе.

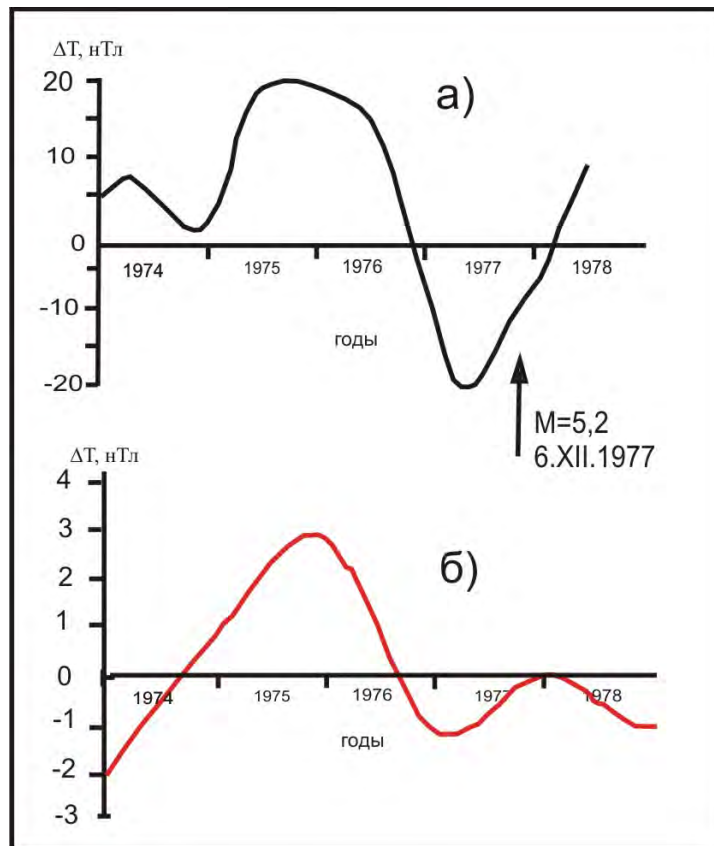


Рисунок 2 – Аномальные изменения геомагнитного поля в 1974-1978 гг., связанные с Таваксайским землетрясением 1977 г. а) изменения на пункте Секущий 9, б) среднее изменения на пунктах Чарвакского полигона

Для выявления пространственных локальных аномальных изменений геомагнитного поля, связанных с Таваксайским землетрясением 1977 г., был проложен условный профиль по маршруту Дарваза-Гишткуприк-Чирчик-Чарвак, состоящий из пунктов повторных наблюдений Ташкентского полигона. Профиль начинается с пункта Дарваза, проходит через г.Чирчик, пересекает эпицентральною зону землетрясения и заканчивается в пункте Чарвак-17, расположенном на правом берегу водохранилища. Составлены два графика изменений геомагнитного поля по профилю - а – изменения поля в 1975 году относительно 1973 года, б – изменения поля в 1977 году относительно 1975 года.

Как видно из графиков изменения геомагнитного поля по профилю, изменения поля в 1975 году имели положительные значения. Аномальные изменения по профилю с интенсивностью +12 нТл наблюдаются в зоне подготовки Таваксайского землетрясения (пункт 9), по мере удаления от этой зоны аномальные изменения поля имеют фонный характер. Аномальные изменения геомагнитного поля в 1977 году относительно 1975 года имеют отрицательные значения с интенсивностью -17 нТл, наблюдаются в зоне подготовки Таваксайского землетрясения (пункт 9). За два года суммарное аномальное изменение поля

составило 29 нТл. Эти данные подтверждают факт аномальных изменений геомагнитного поля во времени, наблюдавшиеся на пункте Секущий 9 (рис.2). Получена полная пространственно-временная картина локальных аномальных изменений геомагнитного поля, связанного с процессами подготовки Таваксайского землетрясения 1977 г. [7, 8].

Таким образом, локальные аномальные изменения геомагнитного поля на Чарвакском полигоне происходят под воздействием объема накапливаемой воды в водохранилище, но и процессами подготовки землетрясений региона или изменениями фаз сейсмической активности. Если учесть, что на данной территории произошли несколько сильных землетрясений – Пскемское 1937 г. ( $M=6.5$ ), Бричмуллинское 1959 г. ( $M=5.7$ ), Таваксайское 1977 г. ( $M=5.3$ ), то эти аномальные изменения могут быть среднесрочными предвестниками готовящегося сильного ( $M \geq 5$ ) землетрясения в данном регионе. Необходимо отметить, что локальные вариации геомагнитного поля на полигоне отражают наряду с изменениями от объема воды и процессов подготовки землетрясений, и других геодинамических процессов региона. Мониторинг геомагнитного поля на территории Чарвакского полигона продолжается.

По результатам анализа многолетних наблюдений геомагнитного поля на территории Чарвакского полигона выявлено, что локальные аномалии отражают совместное и одновременное проявление процессов изменения объема воды и изменений локальной сейсмической активности региона. Результаты исследований на территории Чарвакского водохранилища могут быть широко применены не только при моделировании процессов подготовки землетрясений, но и при прогнозировании землетрясений, при оценке сейсмической активности Каржантауского разлома, при контроле сейсмической ситуации Приташкентского региона.

#### Литература

1. Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е., Пушков А.Н., Шапиро В.А. Локальные изменения геомагнитного поля при заполнении водохранилища // Геомагнетизм и аэрономия. 1979. № 2. С. 317-322.
2. Бердалиев Е.Б., Пушков А.Н., Цветков Ю.П. Результаты регистрации локальных изменений геомагнитного поля с помощью автономной станции. Геомагнетизм и аэрономия. 1980. Т. 19. № 2. С. 311-314.
3. Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е., Максудов С.Х. и др. Электрические и магнитные предвестники землетрясений. Ташкент: ФАН. 1983. 134 с.
4. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И., Юсупов В.Р. Аномальные вариации геомагнитного поля на Чарвакском полигоне сейсмической природы // ДАН РУз. 2012. № 4. С. 45-48.
5. Уломов В.И. Методика поиска прогностических признаков землетрясений. Информ. сообщение АН РУз. 1977. № 186. 11 с.
6. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И., Юсупов В.Р. Исследование локальных вариаций геомагнитного поля техногенной и геодинамической природы в районе водохранилища Чарвак // Экологический вестник. Ташкент. 2012. № 4. С. 11-14.
7. Yusupov V.R. Anomalous variations of geomagnetic field in the Charvak polygon // International journal of geology earth and environmental sciences. - India, 2018. vol. 8, №1. - P. 23-30.
8. Yusupov V.R. Anomalies of geomagnetic field related to natural and technogenic events in Charvak area // Geodesy and Geodynamics, 9 (2018), pp. 367-361.

## РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА УЗУНКУДУК

Ядигаров Э.М.<sup>1</sup>, Юсупов В.Р.<sup>1</sup>, Шукуров З.Ф.<sup>1</sup>, Смирнов А.Н.<sup>2</sup>  
yadigarov1987@mail.ru; valijon.yusupov@mail.ru; zukhriddin85@yandex.com

<sup>1</sup>Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Узбекистан

<sup>2</sup>Государственный комитет Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам, г. Ташкент, Узбекистан

*В статье приводятся первые результаты высокоточной магниторазведочной съемки на территории Узункудукского рудного района. Точность выделения аномального поля составляет 0,3-0,5 нТл. Проводилась профильная съемка, расстояние между пунктами наблюдений от 10 до 50 метров. В результате получена карта аномального магнитного поля в ГИС формате. По 5 профилям аномального поля Узункудукского рудопроявления проведена геологическая интерпретация. Указаны конкретные точки для заложения скважин.*

*Ключевые слова: магниторазведка, аномальное магнитное поле, магнитометр, магнитная съемка, карта аномального поля, рудный район.*

### Введение

Сегодня на территории Узбекистана большая часть месторождений, выходящих на дневную поверхность уже разведаны. Поэтому на данном этапе весьма актуально изучение рудоносных горизонтов и флангов, перекрытых осадочным чехлом и их перспективность на глубину. В этом плане магниторазведка является наиболее оперативным, эффективным и информативным методом картирования поверхности фундамента под осадочным чехлом, выделения магматических комплексов, установления пространственного положения геологических структур, поиска рудных зон и месторождений [1].

В последнее время при проведении магнитометрических и геолого-съёмочных исследований, было выявлено рудопроявление Узункудук, расположенное в Фаришском районе Джизакской области, в погружённом на северо-запад отрезке передовой гряды хребта Писталитау.

Рудопроявление характеризуется сходными чертами геологического строения и условиями залегания руд с месторождением Темиркан, расположенном в северо-западной части Передовой гряды хр. Писталитау. Оно перекрыто чехлом четвертичных отложений мощностью от 85 до 110 м и ограничено с юга зоной Южно-Писталитауского субширотного глубинного разлома, с севера - северной границей распространения отложений чимкурганской свиты, с запада обрывается зоной сочленения Южно-Писталитауского и субмеридионального Кельвасайского глубинных разломов. Восточная граница проведена условно по зоне распространения железорудных тел. Площадь рудопроявления около 3,5 км<sup>2</sup>.

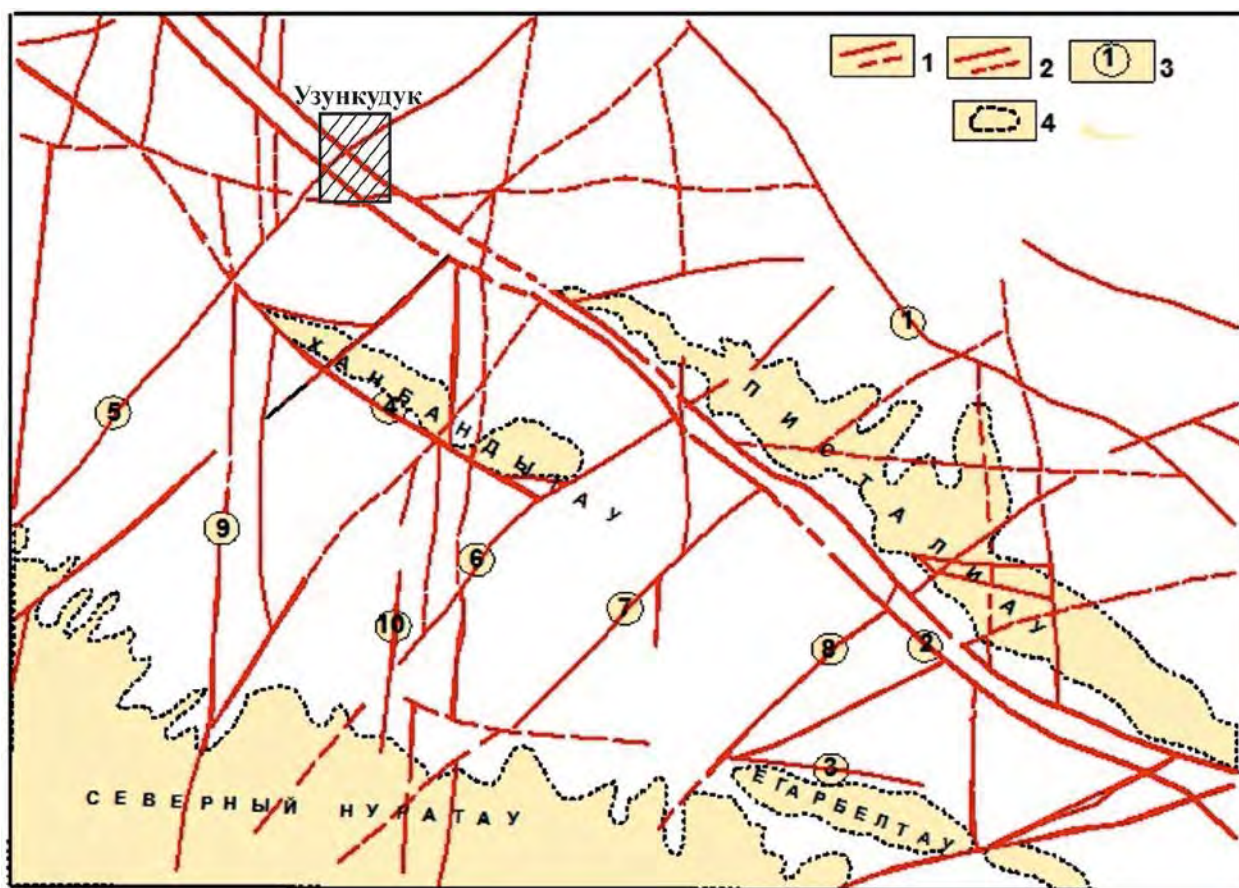


Рисунок 1 – Обзорная карта рудопроявления железа Узункудук

Как самостоятельный геолого-промышленный тип магнетит-гематитовое оруденение вулканогенно-осадочной (стратиформной) генетической группы вошел в железорудную классификацию сравнительно недавно (20-25 лет назад), в связи с пересмотром представлений об условиях формирования ряда довольно крупных железорудных месторождений контактово-метасоматического и метаморфогенного типа. Для них на основании новых данных установлена не только пространственная, но и генетическая связь формирования железного оруденения с вулканогенно-осадочными процессами. Железорудные тела локализуются только в осадочно-вулканогенных фациях чимкурганской свиты, которые, в виде тектонического блока зажаты в грабенообразном прогибе между субширотными Южно-Писталитауским и Железным разломами, слагая северное крыло и ядерную часть Писталитауской антиклинали. Свита имеет неоднородный состав и является рудовмещающей толщей [3].

Отложения чимкурганской свиты, с которыми связано магнетит-гематитовое оруденение, являются самыми древними с фаунистически обоснованными результатами Ващенко В.П. (1980) и развиваются вдоль передовой гряды хр. Писталитау в виде узких, вытянутых в субширотном направлении линзообразных выходов, обнажающихся в крайне восточной части района (Чимкурганская площадь). Контакты свиты с вышележащими толщами тектонические, и по простиранию с юго-востока на северо-запад она контактирует с учкулачской, ханбандытауской и кольсуюкской свитами, на юге – с предгорнонуратинской по линии Южно-Писталитауского разлома.

По данным Ващенко В.П. (1980), лишь в двух точках района наблюдается стратиграфический контакт с нижележащей нижнеучкулачской подсвитой. Стратиграфический разрез свиты, даже в пределах месторождений Темиркан и Чимкурган, характеризуется изменчивостью фациального состава слагающих пород как по простиранию, так и на глубину, что определяется фациальными условиями развития района в этот период,

обусловленными его приуроченностью к тектонически активной зоне на стыке срединного массива и геосинклинали Южного Тянь-Шаня. Отдельные фрагменты разреза свиты в Передовой гряде и хр. Писталитау настолько различны, что их корреляция зачастую весьма затруднительна [3].

Наиболее полно стратиграфический разрез чимкурганской свиты представлен на площади месторождения Темиркан, где его вскрытая бурением мощность составляет более 800 м и в обобщенном виде он может быть охарактеризован следующим образом (снизу-вверх). Нижняя, существенно вулканогенная, часть сложена преимущественно диабазами, спилито-диабазами, диабазовыми порфиритами, реже габбро-диабазами с линзами трахиандезитов, дацитов, риолитов и их туфов с маломощными прослоями аргиллитов и известняков. Мощность нижней части свиты от 200 до 600 м.

Верхняя, вулканогенно-осадочная, часть разреза представлена чередованием аргиллитов, известняковых аргиллитов, глинистых известняков, доломитов, мергелей, алевролитов, яшм и маломощных пластообразных покровов спилито-диабазов, диабазовых порфиритов, миндалекаменных базальтов. Мощность верхней части свиты составляет от 200 до 400 м.

В последнее время в магнитометрии в аппаратурном и методическом плане достигнуты значительные успехи, которые связаны с разработкой и внедрением в научно-производственную сферу протонных и квантовых магнитометров с чувствительностью 0,1-0,001 нТл, новых более совершенных методик обработки полевых данных.

Магниторазведка не требует больших затрат, сил и средств, обеспечивает качественный информативный материал и поэтому широко используется на всех этапах геологосъемочных и геологоразведочных работ.

Цель статьи - по результатам опережающих магниторазведочных работ разработать рекомендации по оптимизации поисково-разведочных исследований на примере площади рудопроявления Узункудук.

### **Методика магнитометрических съемок**

Магнитометрическая съемка в районе исследований проводилась по методике, состоящей из комбинации маршрутной съемки и стационарных режимных измерений на отдельно взятом пункте (опорная станция) для регистрации суточных вариаций геомагнитного поля. Применялась методика высокоточных магнитных съемок, разработанная в Институте сейсмологии АН РУз, состоящая из комбинации стационарных режимных измерений и повторных площадных съемок [1]. Данная методика является высокоточной благодаря применению высокочувствительных абсолютных магнитометров и комбинации отмеченных выше методик измерений. Данная методика успешно прошла апробацию при геомагнитных исследованиях на территориях техногенных объектов – водохранилища Чарвак, в районах газоконденсатного месторождения Шуртан, Памук-Зевардинской группы нефтегазоносных структур. Измерялся модуль полного вектора напряженности магнитного поля (Т).

Аномальное поле вычислялось относительно опорной станции «Учкулач», расположенной на северо-восточной окраине одноименного поселка. При выборе места для установки стационарной станции учитывались отсутствие помехосоздающих объектов, величина градиента геомагнитного поля. Дискретность измерений геомагнитного поля на опорной станции «Учкулач» была обычно 10 минут, во время проведения профильных съемок дискретность устанавливалась - 2 минуты.

Маршрутные измерения геомагнитного поля проводились на пунктах через 10-50 метров. Расстояние между профилями изменялось от 200 до 1000 метров. Оно зависело от интенсивности проявления аномального магнитного поля на исследуемой площади. Расположение маршрутов и пунктов наблюдений определялись с помощью GPS приемников.

### **Магнитометрическая аппаратура и точность наблюдений**

Измерение модуля полного вектора напряженности геомагнитного поля осуществлялось протонно-прецизионными магнитометрами МВ-01 и «Geometrics – G-856». Паспортная точность этих приборов 0,1 нТл.

Эталонировка приборов производится регулярно (1-2 раза в год). В частности, весной 2017 и 2018 гг. были проведены сверочные работы магнитометров МВ-01 и G-856 на эталонном магнитном полигоне «Чимган» Госкомгеологии РУз.

По результатам этих сверок оценивались приборные погрешности каждого магнитометра независимо от паспортных данных. Фактическая точность применяемой аппаратуры оценена как:

$$\sigma_{np} = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{n}}$$

где  $\Delta T$  - отклонение от среднего показания нескольких приборов,  $n$  - количество разностей.

Среднеквадратичная аппаратурная погрешность составила для магнитометров G-856 и МВ-0,1 - 0,2 нТл.

Расстояние между маршрутами в начальном этапе составляло 1 км, шаг измерений 50 м. Протяженность маршрутов варьировалась от 2 до 10 км.

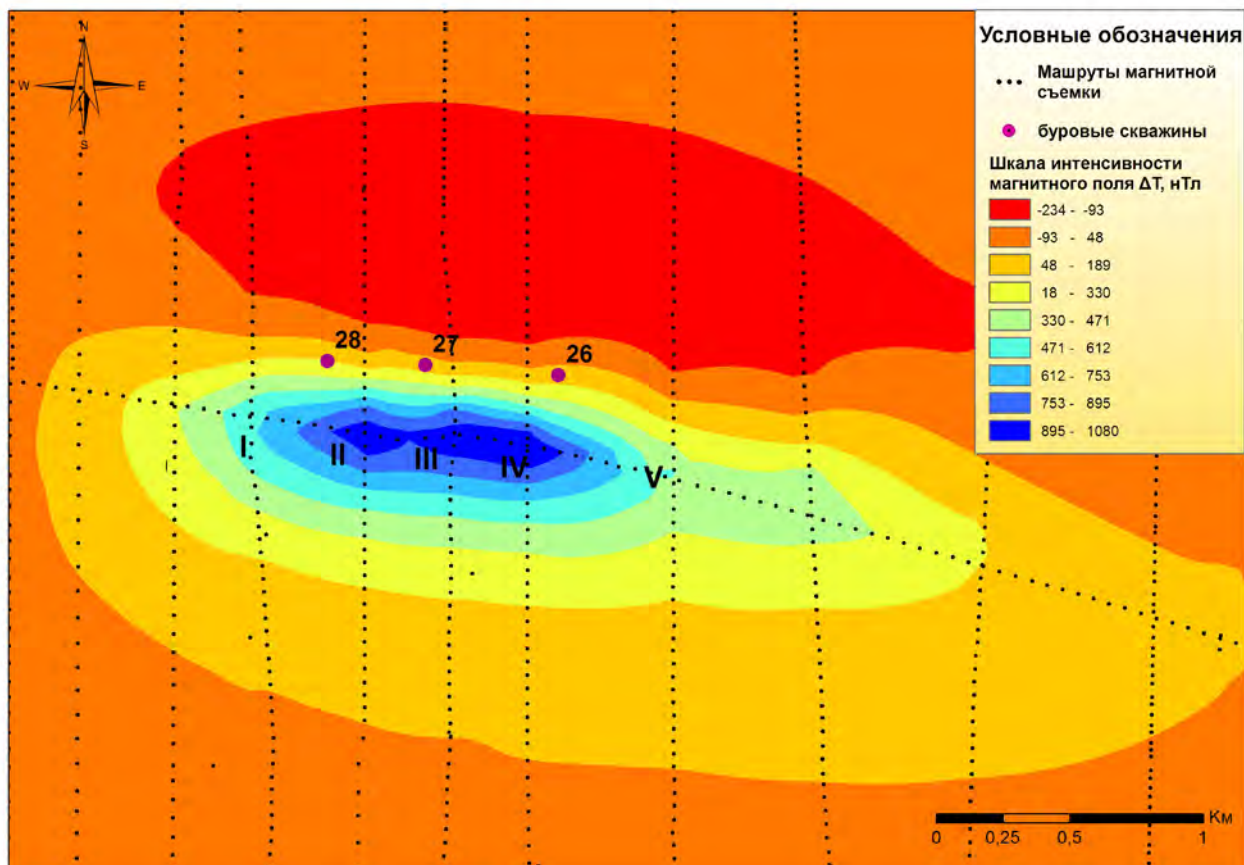


Рисунок 2 – Карта аномального поля территории рудопроявления Узункудук

### Результаты

По мере выявления площади проявления аномального магнитного поля расстояние между профилями сокращалось, т.е. закладывались дополнительные маршруты между заложенными. Протяженность детализационных маршрутов ограничивалась выходом аномального поля на нормальное, фоновое значение. Был проложен маршрут субширотного направления по экстремальной части положительной магнитной аномалии.



В результате проведенных магнитных съемок определен контур площади проявления магнитной аномалий (рис. 2.). Аномальная зона имеет субширотное простирание, длина зоны порядка 4,5 км, ширина-около 2,2 км с учетом зоны проявления отрицательной аномалии по площади Узункудук. Отрицательное поле имеет значение порядка -230 нТл. А максимальное положительное значение составляет более 1050 нТл, максимальный градиент поля составляет более 1280 нТл.

По пяти профилям интерпретированы кривые аномального магнитного поля. Результаты приведены в таблице. Из таблицы видно, что кровля рудных тел на интерпретированных участках располагается на глубине от 186 до 260 метров. Ширина изменяется от 343 до 445 метров. На всех интерпретированных участках рудоносное тело круто падает на север под углом 72°-73° (таблица).

Таблица – Результаты интерпретации магнитных аномалий по профилям на территории рудопроявления Узункудук

№ пп	Номера магнитных профилей	Номер пункта (макс ΔT <sub>a</sub> )	Параметры магнитовозмущающих тел			
			Глубина кровли, м	Ширина, м	Угол падения (на север)	Эффективная намагниченность J (10 <sup>-6</sup> СГС)
1	1	402	260	445	72°	156
2	2	5	216	401	72°	265
3	3	449	204	347	72°	258
4	4	59	186	343	73°	284
5	5	95	241	407	72°	122

Результаты магнитных съемок на территории рудопроявления железа Узункудук показали оперативность и высокую эффективность этого метода на исследованной территории.

### Заключение

На территории рудопроявления Узункудук проведена наземная высокоточная магнитная съемка. Аномальное магнитное поле было определено относительно опорного пункта, установленного на северо-восточной окраине поселка Уччулач.

Магнитная съемка проводилась по маршрутам, проложенным в северо - западном, северном, северо-восточном и субширотном направлениях. Преобладающее количество маршрутов имеет северное направление. Расстояние между маршрутами изменялось в зависимости от изменения интенсивности магнитного поля и составляло от 200 до 1000 м. Расстояние между пунктами измерений изменялось в зависимости от изменения градиента поля и варьировалось от 10 до 50 м. Густота заложенных маршрутов и шаг измерения позволяют оценить данную съемку как площадную.

По результатам съемки составлена карта аномального магнитного поля исследованной территории. Общее фоновое значение поля составляет порядка 50±5 нТл. На этом фоне выявлена и оконтурена зона проявления аномального магнитного поля (рис 2). Зона имеет субширотное простирание, протяженность около 4,5 км, ширина 2,2 км. Ширина определена с учетом зоны отрицательной аномалии, которая расположена к северу от положительной. В данном случае площадь аномальной зоны составляет 9,9 км<sup>2</sup>. Ширина зоны положительной аномалии составляет в среднем 0,7 км. В этом случае площадь составляет порядка 3,2 км<sup>2</sup>. Максимальное значение аномалии доходит до 1080 нТл, а минимальное значение до -258 нТл. По 5 маршрутам на территории аномальной зоны решена обратная задача магниторазведки. Определены параметры магнитовозмущающих тел.

Полученная глубина магнитовозмущающих тел составляет от 186 до 260 метров. Ширина тела меняется от 343 до 445 метров. Значение эффективной намагниченности изменяется в пределах  $122-284 \cdot 10^{-6}$  СГС. Как видно из таблицы, самая приповерхностная часть рудного тела находится в пункте 4, где оно обладает минимальной шириной.

Итак, определены предварительные пространственные параметры рудных тел на площади проявления магнитной аномалии. Пробуренными скважинами на заданных точках пересечены рудные тела. По данным высокоточной магнитной съемки на территории рудопроявления Узункудук определена площадь аномального магнитного поля, обусловленного железорудными телами. Выбраны точки для проведения буровых работ на положительной части аномального поля. Рудные зоны подтверждены пробуренными скважинами. Эти факты позволяют пересмотреть объемы и места проведения предстоящих поисково-разведочных работ на территории рудопроявления Узункудук.

### Литература

1. Максудов С.Х., Смирнов А.Н., Юсупов В.Р., Ядигаров Э.М., Шукуров З.Ф. Первые результаты магнитной съемки на территории Чимкурганского месторождения // Актуальные проблемы геологии, геофизики и металлогении. Материалы науч.-практ. конф., г. Ташкент, 11-12 сентября 2017 г. Ташкент: ГП «ИМР». 2017. С. 247-249.
2. Максудов С.Х., Юсупов В.Р., Ядигаров Э.М., Шукуров З.Ф., Смирнов А.Н. Магниторазведочные работы на территории Чимкурганского железорудного месторождения // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан. Материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Ташкент, 17 августа 2018 г. Ташкент: ГП «Институт минеральных ресурсов». 2018. С. 248-250.
3. Крикунова Л.М., Захидов А.Р., Гафурбеков А.А. Геолого-промышленные типы железных руд Узбекистана. Ташкент: ГП «НИИМР». 2012. 100 с.

---

# **Природные и техногенные опасности**

---

## REMOTE SENSING FOR NATURAL HAZARDS ASSESSMENT OF THE PLANNED HYDRO POWER STATION IN KULANAK VILLAGE, NARYN

Begmetov A., Orunbaev S.

*Begmetov\_a@auca.kg*

American University of Central Asia, Bishkek, Kyrgyz Republic

*An important problem at the moment is hydropower and a growing number of systems, the importance of which is to generate energy for human consumption. Harvesting energy from alternative sources, ongoing research in the hydropower sector is becoming increasingly important. Since the energy generated by the power of water remains the leading alternative source of green energy production, which has a certain capitalization in the study of many factors in the development of energy potential. Therefore, the advantages of the hydropower system have an important feature that can create new open spaces for studying energy production based on the study of the location of the hydroelectric power station, which is of socio-economic importance in the construction of hydroelectric structures. Despite the fact that the importance of this study lies in the potential consideration of all possible ways of building a hydroelectric power station in the territory of Kulanak village, Naryn, which has an important historical geological history of the area. The data we received provides a wide range of information that includes morphological analysis, visualized 3D map that gives many information of this area, the calculating map of the topographic slope, and the performed profile along the river, thereby data obtained using 4 different maps discovered us this area through the prism of safety and new horizons opportunities.*

*Key words: hydro power, power plant, renewable resources, water, engineering project, Generic Mapping Tool, Geoinformation System, Seismological, Geomorphology, Kulanak village, Naryn river.*

### Introduction

According to the article “Small Hydro Power Plant in the Kyrgyz Republic: Assessment of Potential and Development Challenges” [1]: “The main objective of this research is a detailed distribution of seismicity according to the local area Kulanak village along the Naryn river, where planned construction of Hydro Power Station (HPS). In Naryn district, they plan to build a 100-megawatt hydroelectric power station. This was reported in the authorized representative of the government in the region”. To implement such an intensive project, it is necessary to take into account all the main risks, and first of all consider all possible options for construction, having a more detailed idea of the area [2].

According to geological data, in the past the seismicity of the Naryn region was moderate seismic events, and probably large events can also happen in the future [3]. Therefore, an accurate assessment of earthquakes is required. In the area of the village of Kulanak there is a section of the Naryn river. It is planned to attract from 500 to 1,000 people for the construction, and after that about 200 citizens will work at the facility. Hydroelectric power plants are planned to be built in 3-4 years. Kutubay Murzabaev is an investor in this project. To improve the implementation of the project, it is necessary to carefully calculate all the geological data that will minimize the risks of this facility, the risks may include, earthquakes, safety control, various natural hazards, etc [4]. Today, technologies that have geological exploration allow us to calculate which plate structure, take control of the object in more detail using the satellite images using Generic Mapping Tool (GMT) program, also if the project will be approved in the future, we can include seismotectonic data. Geoinformation System (GIS) and Remote sensing methods today can provide important information about seismic hazard.

According to the Rabus [5] “The research procedure includes, choosing a location, investigating with the help of satellite images of Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)” ([5],

data from International Seismological Center (ISC) [5] and studying new data of employees to ensure complete safety from various natural disasters like landslides, snowfall and flooding. It is assumed that the hydroelectric station will be 2.5 times larger than the At-Bashinskaya hydroelectric station. In addition, it will also have an irrigation purpose - it will make it possible to develop an additional 2,100 hectares of land. As previously written using GMT, we use satellite images and calculate topography slope. Additionally, geomorphological isolines built for the area. Moreover, seismicity of the region will be investigated on 3D objects of the region.

The hydroelectric power station is huge and serves as a large amount of work, in case of earthquakes, this can cause serious disaster, which in the first place can affect people's lives, and then on the economic split. We will be able to observe the object of HPS, more informatively and safely.

### **Methodology**

Working with object data may include several methods, and the first one and main instrument is a GMT based in an open source geographic information system (GIS) that is a computer-based tool for mapping and analyzing feature events on earth. GMT technology integrates common database operations, such as query and statistical analysis, with maps. Remote sensing is the art and science of taking Earth measurements using sensors on airplanes or satellites. That is, satellite images are used to create this or that object, Remote sensed imagery is integrated within a GIS. The GMT program was used for processing object data in most cases; isolines, 3D map with seismic, slope calculation, etc.

Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) [6] is an international research effort that allows to get digital terrain models on an almost global scale to create the most complete digital topographic database of the Earth with high resolution.

Building of isolines from topographic data which build from satellite images. Evaluated all risks associated with human safety, that determined all possible natural hazards including other important data, therefore specialized in "SRTM" we can take control of all-important objects with a high-quality resolution

Calculation of topographic slope using high resolution satellite images. Shows the accuracy of the faults of angle, which is important for information on rockfall and other possible problem transmitted in a pictorial image of the object, that models the object in more detailed and accurately thereby facilitated the analysis of the terrain

Construction of 3D model using srtm-data. This type of map is visualized with highest tectonic accumulation, that it gives us reviewed on all possible earthquakes. Building a 3D model using srtm data. This type of map visualized with the highest tectonic accumulation, which gives 3D visualization which we can examine the object from a different angle that shows the accumulation of tectonic clusters, this information makes it possible to consider all possible earthquakes that may occur in a particular area, in this case under the object of a HPS.

### **Results**

Morphological analyses deal with the features of the Earth's relief and seeks their interpretation based on their origin and development. In our study also was processed data received from using SRTM data. We were able to obtain morphological partition of the Kulanak region in the city of Naryn area where the construction of the HPS is planned, where located above sea level between the terrace of 2300 meters and 2400 meters, the circle indicates the approximate location HPS (Fig. 1).

Natural Hazard risks also will play an important role in the exploitation of HPS. Therefore, the morphological map in figure 2 might be helpful to clarified future natural hazards in this region.

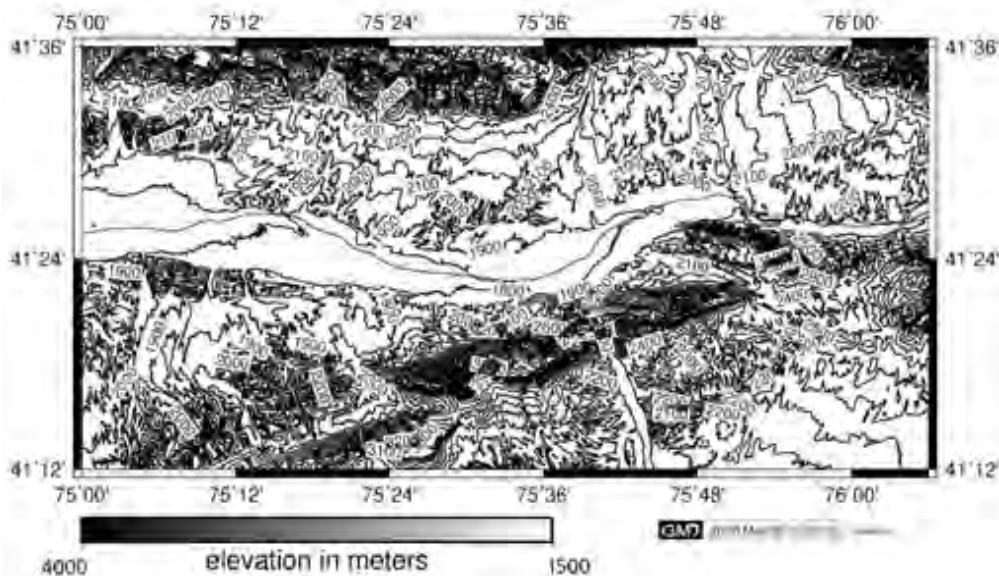


Figure 1 – Morphological study of the area using satellite image srtm1arcsec

The seismicity of the Kulanak area assessed as moderate seismicity (Fig. 2). We build the seismicity of the region in a 3D model, which clearly might be defined active tectonic faults in the area. The active tectonic faults as well-known constructed by existing earthquakes in the region. It's very easy to detect the geometry of the fault using 3D-model seismicity.

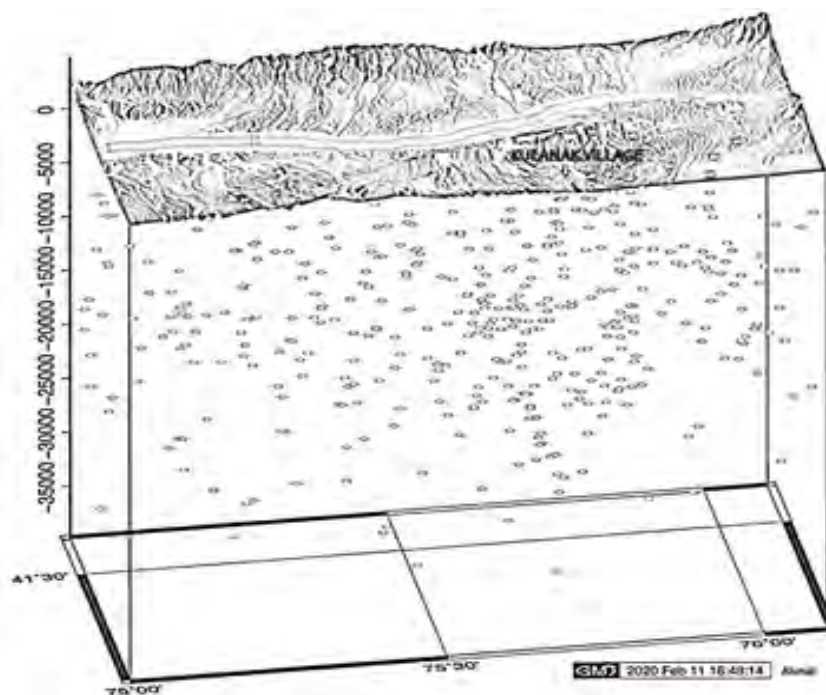


Figure 2 – Seismicity of the region in 3D model

In addition, a seismicity of the region was carried out using the obtained seismic data from the ISC catalog, earthquakes with magnitude  $2.6 < M < 5.4$ . Figure 2 shows that this area is quite earthquake-prone, seismic effects have already occurred around this area.

The calculated map of the topographic slope shows that the terrain has rather sharp slopes, which is dangerous for landslide occurrence. We can see dangerous slope angles in the grayscale colors; these ties are useful for finding out different slope areas, the white arrow indicates the village of Kulanak the alleged location of the HPS (Figure 3).

The area where planned to build a dam of the HPS characterized as a stable slope with low corner angle. Maximum rated of slope angle is 180.

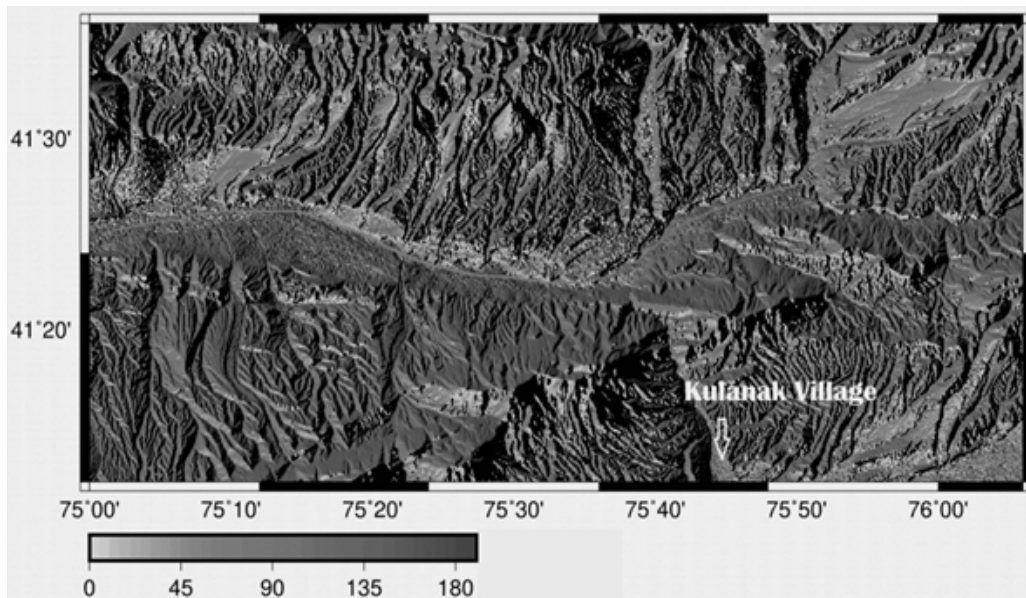


Figure 3 – Calculated topographic slope of the Naryn Region using srtm1 satellite data

The performed profile along the river shows that there is a sufficient slope along this river. According to the sharpness of the slope, we can determine the safety of the dam in the area, the black line shows profile running along the river (Figure 4). Received AB-profile altitude shows that the area is very flexible for designation of building different infrastructure for dam purpose.

Therefore, in the area where planned builds of dam, a good pressure can be run through located the dam, this type of information solved us various potential problems [7, 8].

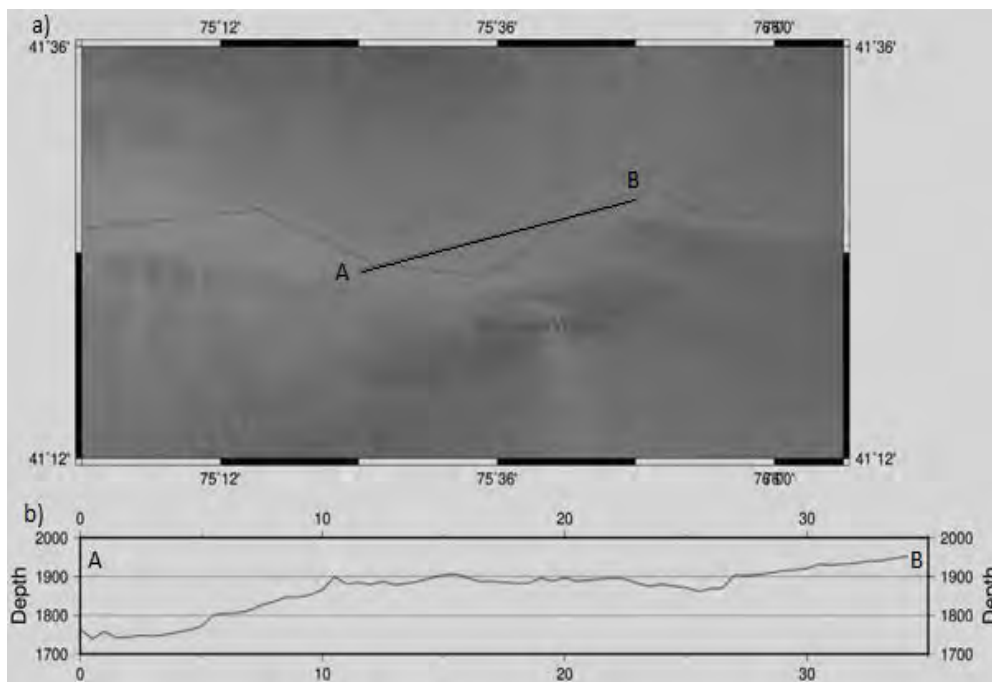


Figure 4 – a) The map of the region with the profile along the Naryn river; b) Altitude of the profile in the area Kulanak, where they planned to build a dam

### Conclusion

When conducting a detailed geomorphological analysis, where it is planned to build an HPS in Kulanak village, where creating 4 different maps: morphological, seismicity, topographical slope and altitude profiling along the river.

Isolines are lines drawn to connect different places that have a common value. An isoline should be a line connecting equal points. For example, the lines that we see on the map are needed to

connect all the places that have the same height, called the outline of the morphological properties of the region (Figure 1).

Using 3D visualization, we can observe the seismicity of the object in such an extensive view, and also add other useful information (Figure 2). The 3D-model seismicity is very helpful for recognizing active faults.

We also examined the angles of the calculated slope, which made it possible to identify the feeding angles for a given object, using this data we can understand the level of safety in different places in the area (Figure 3).

Also carried out a profile on the river, revealed to us what is the level of the slope in the direction of the river, thereby revealing the safety of buildings of HPS (Figure 4).

Briefly resuming conclusion, we might give a few recommendations:

1. On the basis of the data obtained, the information with the first map obtained, we found out that the geomorphological topography of the area is really complex, although the construction of the HPS is recommended since our results show the safety of this territory
2. Seismicity is high, and satisfactory for construction, during further work, and a more detail inspection of the area using special equipment, seismology can be detected more detail, but even with data it can be said that the territory is seismically safe
3. According to the map, the slope analysis showed that there are quite sharp slopes where the risk of landslides is high, it is recommended to protect the area with protective nets from sudden attacks of stones and etc.
4. There is an abundant slope along the river, and this slope tells us about a stable course, on this basis we can understand that the building will be in a safe place, the structure on this site is positive.

### References

1. Orozoev Ulan Esenbaevich , 2018. Каскад Токтогульских ГЭС. // Пресс-служба Deputy CEO, Retrieved from <http://www.energo-es.kg/ru/o-kompanii/filialy/kaskad-toktogulskikh-ges/>
2. Vitaliy Rigulin, HPS Naryn river, Sputnik, <https://ru.sputnik.kg/economy/20190329/1043799264/kyrgyzstan-gehs-modernizaciya.html>
3. Orunbaev S. and Rodkin M., Assessing Earthquake Hazard Near Dams in Kyrgyzstan's Upper Naryn Region // CAARF Project. Policy Brief. June 2017.
4. David Trilling. The Naryn river flows through Kyrgyzstan 2018 June. Retrieved from <https://www.hydropower.org/country-profiles/kyrgyzstan>
5. Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., & Bamler, R. The shuttle radar topography mission-a new class of digital elevation models acquired by space borne radar. 2002. October 15. Retrieved from <http://documents.worldbank.org/curated/en/274331513353253592/pdf/116656-REVISED-WP-PUBLIC-FinalreportSHPPDevelopmentinKYREngSept.pdf>
6. Zyl J. The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): a breakthrough in remote sensing of topography 2002. May 13. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0094576501000200><https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924271602001247>
7. Pannier B. Analysis: Kyrgyzstan's Hard-Luck Hydropower Project 2017. July 19. Retrieved from <https://www.rferl.org/a/qishloq-ovozi-kyrgyzstan-hydropower-project-liglass-naryn-cascade/28627251.html>
8. John W. McEwen. GIS Technology Applications in Environmental and Earth Sciences. P. 271-273.



## ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ г. ДЖИЗАКА ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Авазов Ш.Б., Аллаев Ш.Б., Бахтиёрова Р.Д.

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье детально рассмотрены инженерно-геологические условия территории г. Джизак и их влияние на изменение сейсмической интенсивности. На основе разработанных критерий типизации инженерно-геологических условий для целей оценки сейсмической интенсивности на территории г. Джизак выделены 5 типов. Выявленные типы отличаются геолого-литологическим строением, геоморфологическими особенностями рельефа, уровнем залегания грунтовых вод и средними значениями физико-механических и сейсмических свойств. Каждый тип инженерно-геологических условий характеризуется приращением сейсмической интенсивности + 1, 0 и - 1 балла.*

*Ключевые слова: сейсмические колебания, инженерная геология, сейсморазведочные данные.*

Одним из факторов, определяющих интенсивность сейсмических колебаний, являются особенности инженерно-геологических условий территории. Еще в 60-е годы прошлого столетия многие исследователи, такие как С.В. Медведев, В.В. Попов, Н.В. Шебалин, А.Н. Вахтанова, Н.И. Кригер, А.С. Алешин, А.Т. Турдыкулов, Э.М. Эсенов, С.М. Касымов и др., обратили внимание на изменение сейсмической интенсивности за счет грунтовых условий. При оценке сейсмической интенсивности строительных площадок, в строительных нормах было введено требование различать грунты по сейсмическим свойствам [1,2]. Однако в нормах не учитывается слоистость грунтовой среды на исследуемой точке. В связи с этим возникает вопрос, как оценивать интенсивность при наличии двух типов грунтов с мощностью 5 м. Для решения многих задач планирования, проектирования и рационального использования природных ресурсов требуется с высокой точностью изучить инженерно-геологические условия.

На территории города по инженерно-геологическим характеристикам выделены 5 инженерно-геологических типов [3]:

**1. Тип 1 (на карте обозначен символом Д).** Территория характеризуется близким залеганием верхнесилурийских известняков, которые покрыты маломощными пролювиальными супесчаными отложениями. Известняки имеют выходы в западной части города в сторону Койташ предгорных равнин, также в центре г. Джизака около детского парка в виде известнякового останца. Останец представляет собой возвышенность с абсолютной отметкой вершины 500 м, площадью возвышенности у подножья примерно 2000-2500 м<sup>2</sup>. Приподнятая над конусом выноса р. Санзар часть вытянута с юго-востока на северо-запад. Известняки представлены в основном серым цветом, но имеются места, где они имеют зеленоватые цвета. Они с поверхности до глубины 5 м очень трещиноватые. В связи с этим предел прочности на сжатие в воздушно сухом состоянии колеблется от 7,17 до 8,81 МПа, в среднем 8,36 МПа. Плотность известняков меняется в пределах 2,57-2,64 г /см<sup>3</sup>. Приращение сейсмической интенсивности по инженерно-геологическим данным – 1 балл.

**2. Тип 2 (обозначен символом Г)** имеет до глубины 30м однослойное строение. Территория этого типа охватывает пойму и высокие террасы реки Санзар, которые протянуты узкой полосой в юго-западной части города. Грунты этого типа представлены мощной толщей гравийно-галечниковых отложений с песчано-глинистыми заполнителями. Мощность гравийно-галечниковых отложений изменяется в пределах 40-60 м. Поверхность



вскрываются на глубинах 5-10 м. Приращение сейсмической интенсивности составляет +1 балл.

**5. Тип 5 (обозначен как А).** Данный тип инженерно-геологических условий распространен в северной части города и имеет трехслойное строение. Инженерно-геологический разрез до глубины 10-20 м от поверхности земли сложен лессовидными суглинками и супесями с прослойками песка, древесно-щебнистых и (местами) гравийно-галечниковых отложений, далее вскрывается толща лессовидных суглинков с включением крупнообломочных материалов, типа дресвы, гравия, щеба и галечника. Мощность этой толщи изменяется в пределах 5 – 10 м. Крупнообломочные грунты, представленные древесно-щебнистыми отложениями, вскрываются разведочными выработками на глубинах 15-27 м. Грунтовые воды на данной территории имеются и вскрываются на глубинах 0-5. Приращение сейсмической интенсивности +1 балл.

Выполненная инженерно-геологическая характеристика позволяет нам охарактеризовать и существенно упростить наши представления о геологических условиях в Джизакской области. Эти показатели обеспечивают основу для более точного картирования региона на основе инженерно-сейсмологических особенностей. [4]

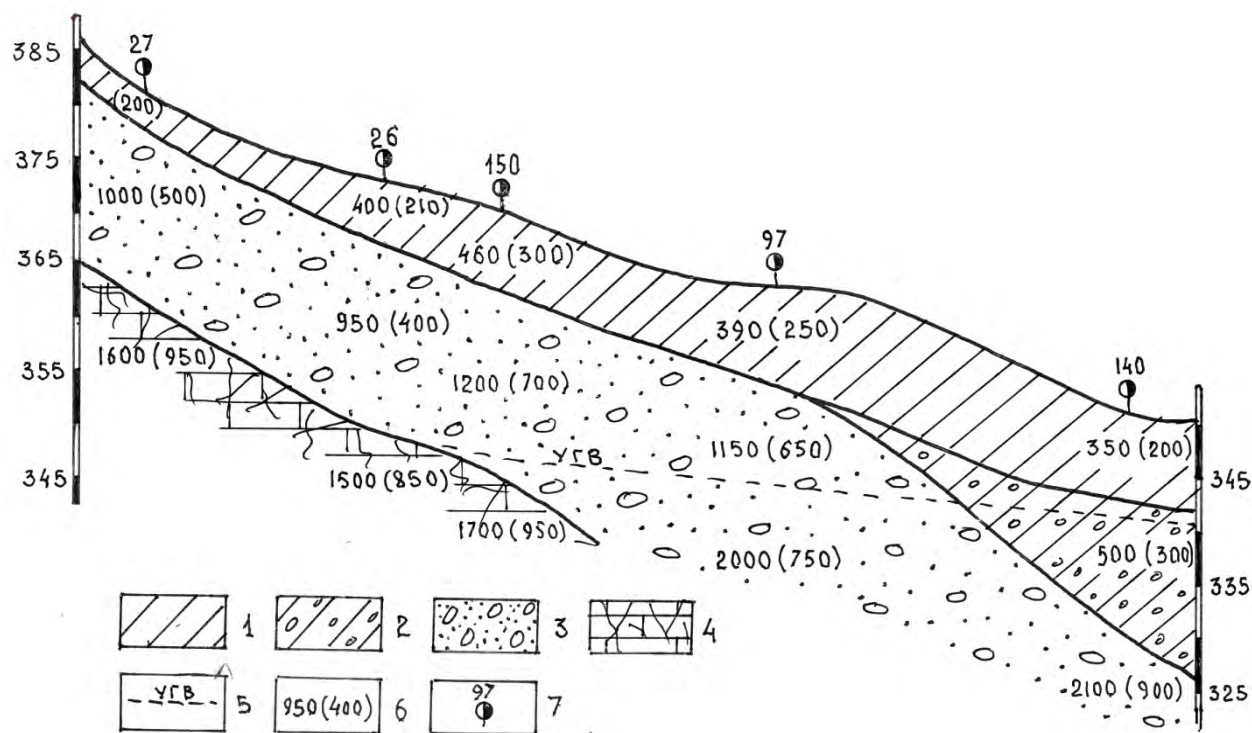


Рисунок 2 – Сейсмогеологический разрез по линии I-I: 1-лессовидные суглинки и супесяи с прослойками и линзами песка и дресвы; 2-лессовидные суглинки с включением дресвы, щебня, гравия и галечника; 3-крупнообломочные грунты конусов выноса; 4-верхнесилурийские известняки, сильнотрещиноватые; 5-уровень грунтовых вод; 6-скорость распространения сейсмических волн: продольные волны в скобке поперечные; 7-пункт сейморазведочных и инженерно-геологических наблюдений

Для характеристики сейсмических свойств грунтов, слагающих территории г. Джизака, использованы результаты сейморазведочных исследований, проведенных на территории города в 1978-80 гг. и 2012-13 гг., при выполнении работ по сейсмическому микрорайонированию города. Пространственные изменения значений скорости распространения продольных и поперечных волн показаны на сейсмогеологическом разрезе (рис.2), где показаны сейсмические свойства различных типов грунтов. При СМР г. Джизака за средние грунтовые условия были приняты лессовидные грунты с незначительными прослойками обломочных грунтов с мощностью 11м, в которых скорость распространения

продольных и поперечных сейсмических волн имеет значение соответственно  $V_p=700$  м/с и  $V_s=400$  м/с, с плотностью (в среднем)  $1,70$  г/см<sup>3</sup>. При составлении карты приращений сейсмической интенсивности по методу сейсмических жесткостей использовались значения как  $V_p$ , так и  $V_s$ .

По результатам метода сейсмических жесткостей и метода HVSP выделяются зоны с приращением сейсмической интенсивности -1; 0 и +1 балл, что подтверждает инженерно-геологические данные.

В табл.1. приведена характеристика сейсмических свойств типовых грунтовых условий на территории г. Джизака. Согласно этим данным на территории города в основном распространены лессовидные грунты, подстилаемые гравийно-галечниковыми толщами. Скоростные характеристики грунтов изменяются  $V_p=400-700$ ;  $V_s=250-350$  м/сек.

Таблица 1 – Характеристика типовых грунтов на территории г. Джизак

№ пп	НАИМЕНОВАНИЕ ГРУНТОВ	СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИТИКИ, км/сек	
		Продольные волны	Поперечные волны
1	Насыпные грунты	0,2-0,3	0,1-0,19
2	Суглинки	0,3-0,45	0,2-0,3
3	Лессовидные грунты и лессы выше УГВ	0,4-0,7	0,3-0,4
4	Лессовидные грунты и лессы ниже УГВ	1,2-1,6	0,25-0,4
5	Дресвяно-щебнистые и гравийно-галечниковые грунты выше УГВ	0,8-1,2	0,4-0,7
6	Дресвяно-щебнистые и гравийно-галечниковые грунты ниже УГВ	1,7-2,5	0,5-0,7
7	Известняки выветрившиеся	3,0-3,4	1,7-2,2
8	Известняки плотные	5,0-6,4	2,8-3,6

Таким образом, по инженерно-геологическим и сейсморазведочным данным на территории г. Джизака выделяются территории с приращением сейсмической балльности – 1, 0 и +1 баллов, что соответствует 6, 7 и 8 баллам сейсмической интенсивности.

### Литература

1. Рекомендации по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях для строительства. М.: Госстрой СССР, 1985. 72 с.
2. КМК 2.01.03-96 Строительство в сейсмических районах. Строительные нормы и правила. Ташкент: ИВЦ «АҚАТМ» Госархитектстрой РУз. 1998. 121 с.
3. Исмаилов В.А., Авазов Ш.Б. О результатах инженерно-сейсмологических исследований на территории г. Джизака для целей оценки сейсмического риска // Материалы Республ. науч.-практ. конф. «Наука о Земле: перспективы и проблемы», г. Ташкент, 7-8 апреля 2017 г. Ташкент: НУУз. 2017. С. 162-166.
4. Исмаилов В.А., Исламова Н.Ф., Авазов Ш.Б. К вопросу оценки сейсмического риска городских территории (на примере г. Джизака) // Прогноз землетрясений, оценка сейсмической опасности и сейсмического риска. Сб. материалов 9-го Казахстанско-Китайского Междунар. Симп., г. Алматы, 25-27 октября 2017 г. Алматы. 2017. С. 282.

## К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

Актамов Б.У.

*cartograf100@mail.ru*

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*В статье рассмотрены вопросы оценки повреждаемости зданий и сооружений при сильных землетрясениях при заданных возможных максимальных сейсмических воздействиях разной повторяемости с учетом грунтовых условий. На основе детерминистического и вероятного подходов оценена сейсмическая опасность территории Джизакской области. Определена вероятность максимальных сейсмических воздействий в периоды 50, 500, 5000, 50000, 500 000 и 1 000 000 лет. С использованием программы «GESI\_Program» рассчитана повреждаемость различных конструктивных типов зданий. На основании данных оценки сейсмической опасности с учетом грунтовых условий и сейсмической уязвимости подсчитан сейсмический риск на территории Джизакской области.*

*Ключевые слова: сейсмическая уязвимость, повреждаемость зданий.*

Проблемы оценки и управления природными и природно-техногенными рисками, в том числе сейсмическими, требуют от научного сообщества и органов по чрезвычайным ситуациям дальнейшей разработки научных основ для оценки опасности сейсмического события, опираясь на данные мониторинга, моделирования и прогнозирования, и сейсмической уязвимости, основываясь на данных комплексной паспортизации зданий и сооружений, об их дефиците сейсмостойкости и создание базы данных их повреждаемости при различных уровнях воздействий. На территории Узбекистана более 90% зданий и сооружений расположены в зонах повышенной сейсмичности, где имеется вероятность возникновения землетрясений 7 и более баллов. В тоже время весьма важной проблемой является обеспечение сейсмоустойчивости зданий и сооружений вследствие ликвидации дефицита сейсмостойкости.

Необходимо отметить, что основной жилой фонд республики обеспечен индивидуальными домостроениями, которые в очень редких случаях соответствуют нормам сейсмостойкости. В связи с этим сейсмостойкость индивидуальных и частных зданий с использованием местных строительных материалов находится под особым вниманием в Узбекистане, особенно в сельской местности. Примечательно, что в Джизакской области при строительстве жилых и социальных зданий использованы кирпич-сырец, дерево, жженный кирпич, бетон и железобетон.

Сегодня в качестве исходных данных для оценки сейсмической опасности используются долговременные характеристики сейсмических процессов в каждом очаге ( $A10$  – сейсмическая активность,  $\gamma$  – сейсмическое распределение,  $M_{max}$  – сейсмический потенциал,  $H = f(M)$  – распределение землетрясений на различных глубинах в очаге, учитывается самый распространенный тип подвижки) [1].

В первом этапе чтобы записать сейсмическую интенсивностью с параметрами  $I = 5-10$  баллов ( $a_{max} = 1-900$  см/с<sup>2</sup>,  $v_{max} = 1-300$  см/с) с дискретностью ( $\Delta I = 0,01$  балла,  $\Delta a_{max} = 0, 1$  см / с<sup>2</sup>,  $\Delta v_{max} = 0,1$  см/с) от любого сейсмического источника рассчитывали повторяемость колебания в каждом узле сетки. На основании расчета частоты колебания заданной интенсивности  $I \geq I_0$  ( $a_{max} \geq a_0$ ,  $v_{max} \geq v_0$ ) лежат следующие интегралы:

$$B_I = \int_v N_{\Sigma} dv$$

где  $N_{\Sigma}$  - количество землетрясений за единицу времени и  $dv$  объема, очаги которых способны генерировать не менее 1 балла ( $a_{max} \geq a_0$ ,  $v_{max} \geq v_0$ ) в точке наблюдения [2].

Таблица 1 – Параметры пикового ускорения в точках исследования с учетом категории грунтов для периодов  $T=50$ ,  $T=500$ ,  $T=5000$ ,  $T=50000$ ,  $T=500000$  и  $T=1000000$  лет (на основе программы «SEISMHAZARD UZ»).

Точка №	50		500		5000		50000		500000		1000000	
	II	III	II	III	II	III	II	III	II	III	II	III
1	20	25	40	50	65	80	140	165	205	240	220	260
2	75	90	175	205	265	315	325	385	340	405	345	405
3	35	40	75	90	115	140	150	180	170	205	175	205
4	185	215	305	365	365	435	395	470	400	475	400	475
5	45	50	105	125	220	260	300	360	340	405	345	410
6	35	40	75	90	160	190	250	300	310	365	315	375
7	35	45	80	95	150	175	225	265	285	340	295	350
8	25	25	45	55	70	80	140	165	215	250	230	275
9	35	40	70	85	110	130	145	170	210	250	225	265
10	40	45	80	95	120	145	155	180	215	255	230	275

На втором этапе отделяется максимальная вероятность сейсмической опасности выраженных пиковых ускорениях с периодом повторения землетрясения  $T = 50$ ,  $T = 500$ ,  $T = 5000$ ,  $T = 50000$ ,  $T = 500000$  и  $T = 1000000$  лет, что соответствуют вероятности  $P=0,7$ ,  $P=0,8$ ,  $P=0,9$ ,  $P=0,95$ ,  $P=0,99$  и  $P=0,995$  не превышения в период  $\tau= 50$  лет [3,1,2].

На третьем этапе рассчитывались максимальные значения ускорения для грунтов II и III категории при вероятности возникновения сейсмического воздействия  $P=0,7$ ,  $P=0,8$ ,  $P=0,9$ ,  $P=0,95$ ,  $P=0,99$  и  $P=0,995$  (табл. 1).

Кроме этого, сейсмическая опасность территории оценивается на основе детерминистского подхода, который означает оценку максимальных потенциалов сейсмического воздействия на всех участках в сейсмогенных зонах без учета временного фактора максимальной величины частоты землетрясений [3].

Таким образом, на основе детерминистического и вероятностного подхода определены возможные сейсмические воздействия в рассматриваемых точках исследования с учетом грунтовых условий.

В дальнейшем проведены расчеты по оценке сейсмической уязвимости конструктивных типов зданий имеющих распространенные на территории Джизакской области. При этом использована программа «GESI\_Program», которая разработана на основе макросейсмических данных сильных землетрясений. Используя данную программу, были построены функции уязвимости наиболее распространенных зданий в Джизакской области (рис.1). Используя данную программу все здания, сведения о которых, имеются в кадастровой службе Джизакской области, проанализированы с позиции возможной повреждаемости и по полученным значениям создана база данных на платформе ГИС.

На основании установленных значений сейсмического воздействия на здания при вероятности возникновения в периоды  $T = 50$ ,  $T = 500$ ,  $T = 5000$ ,  $T = 50000$ ,  $T = 500000$  и  $T = 1000000$  лет, выраженных в макросейсмических баллах и пиковых ускорениях, и повреждаемости выделенных конструктивных типов зданий при заданных величинах сейсмического воздействия из расчета 5,6,7,8 и 9 баллов, был рассчитан возможный ущерб в процентах от первоначальной стоимости здания [4].

Для оценки сейсмического риска в Джизакской области выбраны 61 населенные пункта. На рисунке 2 приведены фрагменты оценки сейсмического риска для населенного

пункта Бахмал, где показано количество возможного ущерба (в % от общей площади застройки по типам зданий) при вероятности возникновения сейсмического воздействия  $P=0,7, P=0,8, P=0,9, P=0,95, P=0,99$  и  $P=0,995$ .

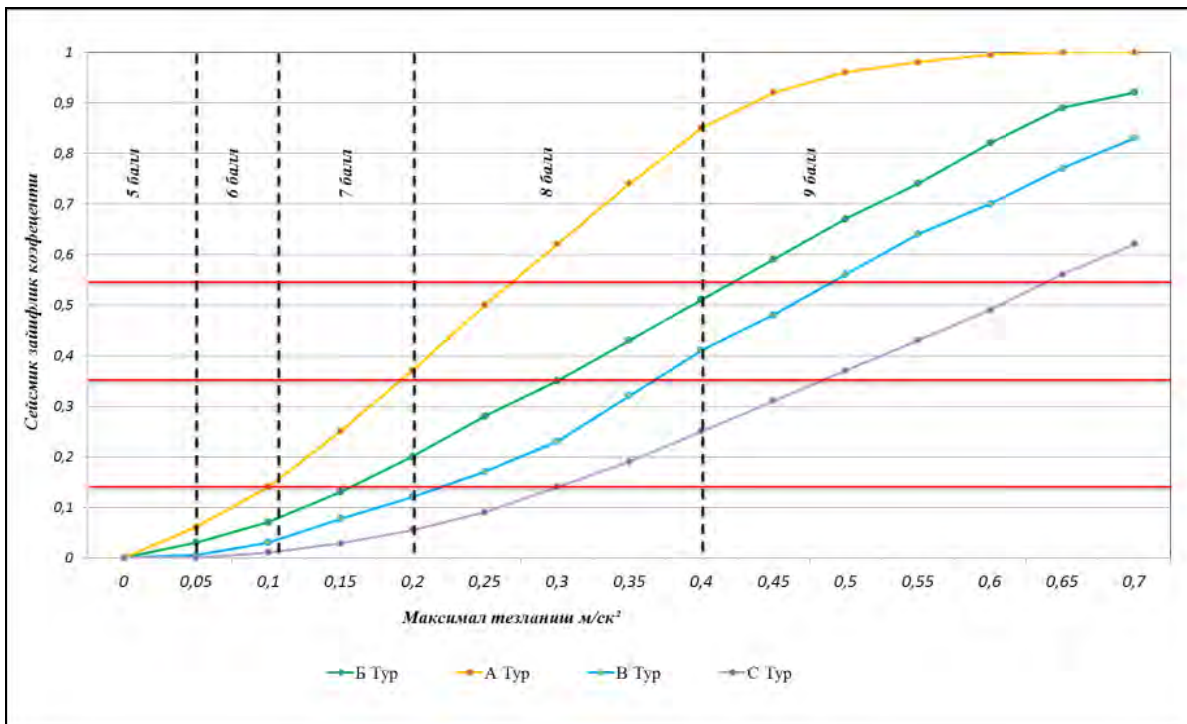


Рисунок 1 – Функции уязвимости конструктивных типов зданий (степень повреждаемости при различных значениях пикового ускорения)

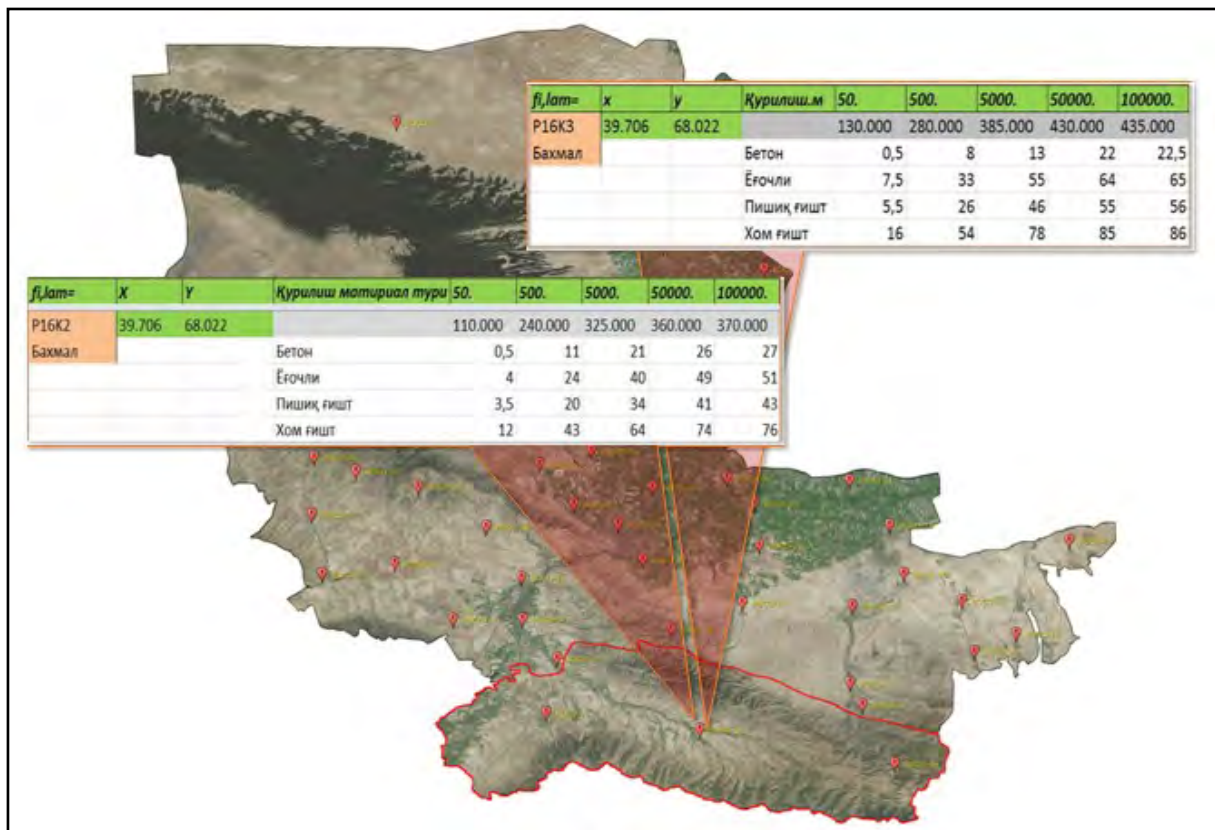


Рисунок 2 – База данных потенциального ущерба от возможных сейсмических воздействий на территории распространения грунтов II и III категории по сейсмическим свойствам

Все проведенные анализы показывают, что возможный ущерб в населенных пунктах зависит от уровня сейсмического воздействия, характеристики грунтовых условий, типа и общей площади застройки, повреждаемости конструктивных типов зданий и кадастровой стоимости.

Таким образом, по расчетным данным на территории грунтов II категории по сейсмическим свойствам ущерб при  $T=50$  лет для железобетонных зданий составит 0,5%, для зданий из жжённого кирпича – 3,5%, для деревянного здания – 4%, для здания из сырцового кирпича – 12%; при  $T=500$  для зданий из железобетона – 11%, жжённого кирпича – 20%, деревянного – 24%, сырцового кирпича – 43%; при  $T=5000$  для здания из железобетона – 21%, жжённого кирпича – 34%, деревянного – 40%, сырцового кирпича – 64%; при  $T=50000$  для здания из железобетона – 26%, жжённого кирпича – 41%, деревянного – 49%, сырцового кирпича – 74%; при  $T=1000000$  здания из железобетона – 27%, жжённого кирпича – 43%, деревянного – 51%, сырцового кирпича – 76%.

Для грунтов III категории по сейсмическим свойствам ущерб при  $T=50$  для железобетонных зданий составит 0,5%, для зданий из жжённого кирпича – 5,5%, для деревянного здания – 7,5%, для здания из сырцового кирпича – 16%; при  $T=500$  для зданий из железобетона – 8%, жжённого кирпича – 26%, деревянного – 33%, сырцового кирпича – 54%; при  $T=5000$  для здания из железобетона – 13 %, жжённого кирпича – 46%, деревянного – 55%, сырцового кирпича – 78%; при  $T=50000$  для здания из железобетон – 22%, жжённого кирпича – 55%, деревянного – 64%, сырцового кирпича – 85%; при  $T=1000000$  здания из железобетон – 22,5%, жжённого кирпича – 56%, деревянного – 65%, сырцового кирпича – 86%.

#### Литература

1. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Ташкент. 2012. 251 с.
2. Исмаилов В.А., Актамов Б.У. Методика оценка повреждаемости и уязвимости индивидуальных домов при сейсмических воздействиях с различной интенсивностью // Архитектура. Строительство. Дизайн. Ташкент. 2018. № 1-2. С. 72-78.
3. О последствиях Бахмальского землетрясения 29 сентября 2017 года / Исмаилов В.А., Нурматов У.А., Ибрагимов А.Х., Хусомиддинов А.С. // Геология и минеральные ресурсы. 2018. № 1. С. 35-38.
4. Ёдгоров Ш.И. Оценка сейсмического риска территории г. Бухары с учетом особенностей инженерно-геологических условий. Автореф. дис. 2020. 44 с.



## **ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ ВАРИАЦИИ НАГРУЗКИ ОТ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА МЕСТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ**

Артиков Ф.Р., Хамидов Л.А.

*hamidov\_l@mail.ru*

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*Рассматриваются возможности изучения влияния эксплуатационного режима водохранилищ на состояние локальной сейсмичности. Показаны возможные колебания бортов резервуара и усредненные режимы, возможно управляющие изменением внутренних геодинамических сил. Анализ полученных результатов в ближней зоне водохранилищ показал, что при эксплуатации крупных водохранилищ, их основание и чаши находятся в постоянно действующих нагрузках сжатия и растяжения с соответствующей интенсивностью амплитуд пригибания основания от вариации объема. Предположено, что деформации основания могут соответствовать предельным тектоническим очаговым деформациям, непосредственно влияющим на регулярность напряжено-деформированного состояния и фоновых геодинамических движений в близлежащем сейсмогенном слое земной коры в пределах зоны активного влияния водохранилищ.*

*Ключевые слова: напряжение, режим, водохранилище, эксплуатация, сейсмичность, смещения основания, береговые склоны.*

### **Введение**

Традиционно считалось, что происходящие в земной коре многообразные деформационные процессы различного пространственно-временного масштаба, в том числе землетрясения, аномальные деформации в разломных зонах, просадки, оползни, сели и др., происходят исключительно в орогенических областях и смежных с ними районах. Однако в последнее время представления о современном сейсмоэкологическом состоянии недр радикально изменились. Многолетними работами на геодинамических полигонах показано, что деформационные процессы наблюдаются повсеместно и даже на древних платформах и в сейсмически спокойных регионах. В рядах случаев они происходят в результате техногенных влияний человека на сейсмоэкологическое состояние природы, существенно изменяя сейсмичность и вызывая возбужденные землетрясения. Поэтому выявление возможного влияния эксплуатационного режима водохранилищ на состояние локальной сейсмичности является достаточно востребованным.

### **Состояние вопроса, методология и представление данных**

Количественная оценка механизмов возникновения подобных экологически опасных возбужденных землетрясений в периоды эксплуатации водохранилищ и оценка силовых полей для зон расположения техногенных объектов, создающих эти условия в земной коре, является весьма важной задачей. Известны случаи, когда инженерная деятельность человека и возникающие деформационные процессы, включая техногенные землетрясения, приводили к последствиям катастрофического характера, принося огромный материальный ущерб и сопровождаясь человеческими жертвами. Такие ситуации возникновения «плотинных» землетрясений с магнитудой до 6,0 – 6,3 наблюдались в Китае, Замбии, Греции, Индии. Задokumentированы землетрясения на разрабатываемых месторождениях углеводородов в США, Франции, Канаде, России и в других регионах [1,2,3,4].

Одно из крупнейших в мире водохранилищ Кариба емкостью около 170 млрд. м<sup>3</sup> расположено на р. Замбези, на границе между Замбией и Зимбабве. Его заполнение началось

в конце 1958 г., а с середины следующего года здесь появились сейсмические толчки. В августе 1963 г. водохранилище было заполнено, и, начиная с этого времени по ноябрь 1963г., последовала серия сильных (магнитудой до  $M=6$ ) сейсмолетчиков [2,3,4].

Водоохранилище Кремаста (Греция) начало заполняться 21 июля 1965 г. Начиная с августа, в близлежащих селениях уже ощущались слабые сейсмолетчики, участвовавшие к концу года, и особенно в январе 1966г. 5 февраля 1966 г. произошло землетрясение магнитудой  $M=6,3$ . Его эпицентр находился вблизи северного берега водохранилища. Землетрясение вызвало большие разрушения, оползни и обвалы [3,4].

Заполнение водохранилища оз. Мид (США), образованное при перекрытии р. Колорадо, началось в 1935 г. Сейсмические толчки здесь начали ощущаться уже с сентября 1936 г., когда уровень воды поднялся более чем на 100м. В последующие годы, по мере повышения уровня воды, сейсмоактивность нарастала. Всего за 10 лет было зафиксировано около 6000 толчков (наибольшее количество отмечалось в радиусе до 25 км от водохранилища). Землетрясение магнитудой  $M=5$  произошло 5 мая 1939 г. К этому времени заполнение водохранилища объемом 35 млрд. м<sup>3</sup> закончилось [4].

При исследовании локальной сейсмичности в зонах крупных водохранилищ Узбекистана мы обратили внимание на то обстоятельство, что частота толчков увеличивалась в периоды сезонных повышений уровня воды [5].

Подобная серия техногенных землетрясений, которые определенно были вызваны заполнением водохранилища, была отмечена в Китае к северу от Гуанчжоу. Строительство плотины на реке Синьфын высотой 105м было закончено в 1959 г., после чего стало отмечаться возрастающее число местных землетрясений, причем в 1972 г. их произошло более 250 тысяч. Конечно, в основном это были очень слабые толчки, но 19 марта 1962 г. произошло сильное землетрясение с магнитудой  $M=6,1$ . Выделившейся энергии оказалось достаточным, чтобы повредить бетонную плотину [4].

Как отмечено в работах Н. Gupta, В. Rastorgy, И.Ш. Идирмачева, В.Ю. Тимофеева, Л.А. Хамидова и других (1996-2016гг), результаты антропогенного влияния в особо крупных масштабах могут привести к нарушениям уровней равновесия внутренних напряжений в приповерхностной части земной коры. В определенных ситуациях они приводят к обострению экологической ситуации зон активного влияния водохранилищ [1,6,7,8]. По мнению В.Ю.Тимофеева и др., заполнение крупных водохранилищ ведет к изменению локальных геодинамических условий ландшафтов территорий, климата, к деформациям земной коры, увеличению сейсмичности, а в отдельных случаях - к возникновению сильных землетрясений с магнитудами  $M$  более 6 даже на асейсмичных платформенных территориях [6]. Как отмечено в них, «...механизм возникновения таких землетрясений пока не определен, но имеется несколько предположений на этот счет...».

Например, вес водохранилища может создать дополнительную нагрузку на земную кору. Она может привести к подвижкам блоков по разломам в тех местах, где упругие напряжения близки к пределу прочности материала [6,8]. Так же рост порово-трещинного давления от напора воды в водохранилище может вести к снижению эффективного давления пород и их прочности на сдвиг [8,9,10].

Система «плотина-основание-водохранилище» – это сложная, но единая взаимовлияющая структура [6,9,10,11,12]. Как отмечено А.И. Савичем и Э.Г. Газиевым [13] «...моделирование, связанное с определением механизмов плотинных землетрясений и оценки НДС состояния их основания, из геодинамических процессов может дать возможность определить те физические силы, которые ответственны за образования наведенных дополнительных нагрузок в земную кору. При заполнении водохранилища построенной высокой плотиной в ее скальном основании начинают происходить сложные деформационные процессы. Вначале под тяжестью уложенного бетона и аккумулируемой в водохранилище воды происходит осадка ложа водохранилища и примыканий плотины и одновременно, по мере проникновения воды в трещины массива, происходит его насыщение водой и взвешивание, что сопровождается изменением напряженного состояния

вмещающего массива, подъемом основания и примыканий [10]. Происходит разуплотнение массива за счет раскрытия трещин и ухудшение его прочностных показателей...» Авторы подтверждают это комплексом геофизических исследований, проведенных при заполнении водохранилища плотины Ингури [14] и плотины Саяно-Шушенской ГЭС при различных глубинах водохранилища [15]. Как показано в [9,10,14,15], одновременно происходит снижение вертикального сжимающего напряжения в теле плотины. Оно способствует проникновению воды в горизонтальные разрывные зоны тела плотины. При этом местное давление возрастает с увеличением высоты плотины. Исследования, проведенные специалистами на плотинах (арочная плотина Ингури (Грузия), арочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС и гравитационная плотина Капанда (Ангола)) показали, что после заполнения водохранилища и при сезонных колебаниях его объема происходит синфазный подъем береговых массивов в верхнем и нижнем бьефах. Подобное с симметричным увеличением поперечных деформаций береговых склонов наблюдалось в рядах крупных водохранилищ Узбекистана [5,9]. При этом за счет сжатия происходит удлинение высоты плотины, сопровождаемое трещинообразованием и раскрытием разрывных зон на напорной грани, появлением новых путей фильтрации и ростом фильтрационных расходов [5,10].

Впервые это явление было зафиксировано при первом заполнении водохранилища арочной плотины Ингури высотой 271 м в Грузии [10,15]. Основание плотины сложено слоистыми известняками и доломитами. В процессе наполнения водохранилища велось наблюдение за осадками плотины и основания по поверхностным топографическим реперам, по реперам, установленным в дренажной галерее, а также на режимной геофизической сети [10]. Рассмотрение полученных результатов осадков реперов в основании плотины показало, что в процессе строительства регистрировались осадки от ее возрастающего веса. После начала заполнения водохранилища эти осадки продолжались под действием веса воды. Эти процессы сопровождалось ростом скоростей упругих волн в массиве пород основания. Однако, по мере того как вода проникала в трещины скального массива и создавала всё возрастающее противодавление, стало отмечаться поднятие основания практически во всех точках измерения, включая и репер, расположенный в нижнем бьефе плотины на удалении 400 м [10,16]. При этом скорости упругих волн в массиве начали резко уменьшаться [16]. Вычитание из зарегистрированных вертикальных смещений реперов в теле плотины осадок основания под весом строящейся плотины и веса воды в водохранилище позволило получить диаграммы подъема этих реперов, которые практически повторяли график заполнения водохранилища с отставанием примерно на один год [10]. Как утверждает авторами [10], это то время, которое потребовалось для насыщения и взвешивания скального массива в основании плотины. После начала укладки бетона в 1977 г. наблюдались осадки основания плотины, которые продолжались и после начала наполнения водохранилища для пуска первой очереди станции. Эти осадки составили 29 мм [10].

Подобное явление наблюдалось и при заполнении водохранилища арочно-гравитационной плотины Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) высотой 242 м, построенной на высокопрочных орто- и пара- сланцах. Исследователи показали, что «...после достижения водохранилищем глубины 140 м (при отметке 465 м) начался медленный подъем основания, который к 2001 г. при уровне мертвого объема составил 12 мм, а при нормальном подпорном уровне подъем увеличился еще на 5 мм.

Таким образом, первоначальная осадка в 29 мм сократилась за счет подъема основания до 11 мм. В то же время гребень плотины при нормальном подпорном уровне поднимался в том же центральном сечении на 25 мм. Это свидетельствовало об удлинении консоли плотины примерно на 35 мм, что могло быть одной из причин появления в 1989 г. (через год после заполнения водохранилища) на напорной грани плотины горизонтальных трещин. Проведенные в 2010 г. исследования динамики воздействия фильтрационной воды на вертикальные перемещения плотины СШГЭС показали, что подъем основания плотины (на отметке 308 м) происходит через 18 суток после подъема уровня верхнего бьефа до

своего максимального значения; на отметку 344 м (т.е. на высоте 36 м от основания) это запаздывание составляет 26 суток, а на отметке 359 м – 33 суток...» [17].

Можно отметить, что происходит как бы медленное растяжение плотины в вертикальном направлении.

А.И. Савичем и Э.Г. Газиевым в исследованиях [17,18] аналогичная картина была получена при заполнении водохранилища гравитационной плотины Капанда в Анголе, построенной на горизонтально-слоистых песчаниках с прослоями аргиллитов. Авторами отмечается, что вертикальные перемещения плотины на всех отметках с некоторым отставанием следуют за изменением уровня воды в водохранилище [10,18]. Причем при заполненном водохранилище наблюдается заметный подъем верхних горизонтов плотины при одновременной осадке нижерасположенных горизонтов, что также свидетельствует о происходящем удлинении высоты тела плотины. «...Первый резкий подъем гребня был зафиксирован в апреле 2004г, через год после первого заполнения водохранилища до нормального подпорного уровня. Деформации удлинения плотины в вертикальном направлении к 2007г составили в центральной части плотины почти 15 мм. Анализ данных натурных наблюдений за поведением плотины СШГЭС в процессе наполнения водохранилища показал, что максимальный подъем основания центральной секции (№ 33 на отметке 308 м) происходит через 18 суток после максимального подъема уровня верхнего бьефа. На отметке 344 м этот подъем происходит через 26 суток, а на гребне плотины на отметке 359 метров – в течение 33 суток...» [17,18].

Проанализировав результаты по определению подъема правого берега реки Ингури (в нижнем бьефе плотины, на протяжении около 150м) при каждом сезонном подъеме уровня воды в водохранилище (и это спустя почти 25 лет после первого его наполнения), исследователи отметили, что «...вертикальные подъемы испытывают не только створы плотин, но и вся территория скальных массивов, находящихся в зоне подъема уровня грунтовых вод, при росте уровня верхнего бьефа...» [10,17,18].

### **Обсуждение и анализ**

Для наблюдений за возможными подвижками расположенного в верхнем бьефе плотины Капанда геологического разлома по обе стороны от него были заложены геодезические реперы [10]. За период с октября 2002 г. по апрель 2007 г. было выполнено 8 циклов нивелирования. Рассмотрение данных наблюдений свидетельствует о том, что смещений по разлому не наблюдалось, но наполнение водохранилища вызвало подъем почти всех геодезических реперов. Наибольшие подъемы зафиксированы у реперов, наиболее удаленных от русла реки. При этом, чем ближе к водохранилищу находится знак, тем меньше его подъем при том же уровне верхнего бьефа за счет влияния осадки ложа водохранилища [10]. В дальнейшем, по мере развития процесса осадки ложа водохранилища, этот подъем берега прекратился, и началось его понижение. Это свидетельствует о том, что наиболее ощутимые изменения напряженно-деформируемого состояния скального массива случаются в период первого заполнения водохранилища (примерно в течение первого года после заполнения), когда происходит первое насыщение трещин вмещающего скального массива водой из водохранилища [5,9,10,11,17]. Чем выше плотина, тем под большим напором в трещины проникает вода, и когда взвешивающее давление становится равным прочности трещинообразования массива, начинается рост длины трещин, приводящий в свою очередь к росту, взвешивающего давления [9,10].

Выше проведенный анализ показал, что параметры каждого водохранилища, будучи достаточно отличительными, влияют на земную кору одной силой - практически при ускоренной вариации давления на подстилающие породные массивы [5]. В результате сбора данных из литературных источников и личных исследований по водохранилищам нами составлена таблица 1, где при эксплуатации наблюдаются существенные изменения фоновой сейсмичности в их ближней зоне.

На основе анализа полученных данных нами составлены графики зависимости между разными показателями для всех водохранилищ по таблице 1. На рисунке 1 показана зависимость между  $N_{fon}$  (средний локальный фон количества землетрясений в радиусе 50 км от объекта в год),  $N$  (многолетнее средне фоновое количество землетрясений на 10 летний удел) и  $\Delta n$  (разность количества землетрясений) в период эксплуатации одиннадцати высоконапорных водохранилищ. Она показывает, что водохранилища с умеренным давлением на основания до 11,5 бар эксплуатируются более высокочастотно, чем водохранилища с давлением на основание от 14,0 до 30,0 бар.

Таблица 1 – Изменения параметров давления и сейсмичности зон водохранилищ

№	А	$\Delta H$	$\Delta P$	$\Delta T$	n	$N_{fon}$	N	$\Delta n$
1	Синьфын (Китай)	30	0,304	2	12	54	3,5	19
2	Капанда (Ангола)	32	0,324	2	3	18	3,2	-14
3	Кариба (Замбия, Зимбабве)	35	0,355	2	12	58	4,3	15
4	Тупаланг (Узбекистан)	38	0,365	2	5	24	2,9	- 5
5	Гиссарак (Узбекистан)	40	0,405	3	3	11	0,9	2
6	Андижан (Узбекистан)	43	0,426	2	8	18	1,3	5
7	Кремаста (Греция)	45	0,456	2	3	8	0,6	2
8	Чарвак (Узбекистан)	50	0,537	2	8	16	0,9	7
9	Саяно-Шушенское (Россия)	58	0,588	3	11	38	2,6	12
10	Мид (Колорадо)	60	0,608	3	18	63	4,6	17
11	Ингурская ГЭС (Грузия)	80	0,811	4	6	11	2,4	-13

Условные обозначения в таблице 1:  $\Delta H$  (м) - усредненная вариация уровня воды за  $\Delta t$  (месяц);  $\Delta P$  (бар) – вариация давления на основании;  $\Delta T$  - среднее кол-во вариация давления;  $n$  - среднее количество землетрясений с энергетическим классом  $9 \leq K \leq 15$  до следующей вариации объема где  $K=LgE$  ( $E$ -энергия землетрясения);  $N_{fon}$  - средний локальный фон количества землетрясений в радиусе 50 км от объекта в год;  $N$  - многолетний средне фоновое количество землетрясений на 10 летний удел;  $\Delta n$  - разность количества землетрясений.

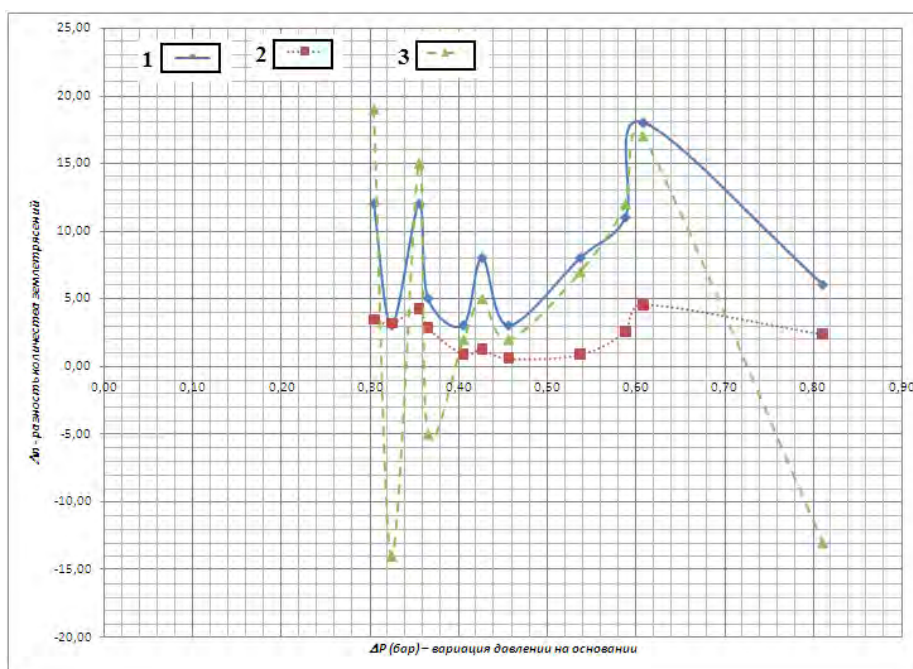


Рисунок 1 – Зависимость от общего давления  $N_{fon}$ , N и  $\Delta n$ , где 1-средний локальный фон количества землетрясений в радиусе 50 км от объекта в год; 2-многолетний средне фоновое количество землетрясений на 10 летний удел; 3- разность количества землетрясений

Изменения этих давлений на основания создают те смещения или напряжения, которые практически создают дополнительное поле деформаций (более подробная информация о дополнительных напряжениях имеется в [11,19]). Большинство землетрясений возникали на глубине менее 10 км; очаги были приурочены к тому участку, где глубина водохранилища была наибольшей, а некоторые гипоцентры совпали с пересечениями сейсмоактивных разломов этого района

В эти анализы включены и усиления сейсмической активности, отмеченные также при заполнении водохранилищ гидроэлектростанций Синфынь в Китае, Монтинар во Французских Альпах, Марафон в Греции, Талбинго в Австралии, Куробе в Японии, Бенмор в Новой Зеландии, Канелль в Испании, Вайонт в Италии.

### Выводы

Исследования показали, что постепенное увеличение нагрузки-разгрузки от водохранилищ в процентном отношении к общему объему в среднем при 5% уменьшении объема соответствует понижению давления на 0,05 баров, 6% соответствует понижению на 0,1 бара; 7% – понижению на 0,15 бара. В реальности оно соответствует динамике вариации давления воды. Количество землетрясений в ближней зоне, например, водохранилища Чарвак за 2014 год, при 5%, 6% и 7% варьировании объема воды по отношению к общему объему за весь цикл активной эксплуатации, а также изменение энергетических классов за этот же период, показали существенный сброс напряжений сопровождаемыми 43 землетрясениями с энергетическим классом  $7 \leq K \leq 9$  в зоне радиусом до  $R=50$  км. Изменение их количества наблюдается в основном при изменении столба воды (или давления на основания чаши) от 0,1 по 0,15 баров. Это зона 6% и 7%-ных варьирований [20].

Основным механизмом проявления этих землетрясений при докритических и критических деформациях коррелируется возможным пригибанием основания. Давление на основание водохранилищ при максимальном эксплуатационном пределе можно выбрать как соотношение  $P = F/S^2$ , где  $F$ - сила гравитационного веса и  $S$  ( $m^2$ ) площадь основания куда действует эта сила. Деформационное пригибание основания -  $\zeta_i$ , при действующем давлении  $P$ , нами выбрано частично из литературных данных и частично из эмпирической связи [5,20]. Вариации деформации  $\Delta \varepsilon_\zeta(\zeta_i) 10^{-5}$  рассчитаны по отношению к глубине 5-15 км земной коры основания водохранилищ (в осредненных величинах). Именно на этих глубинах в указанном выше радиусе выделяется сейсмогенный слой, где находятся основные очаги локальных землетрясений. Эти расчеты проведены для 21 водохранилищ мира, данные для 11 из которых показаны в таблице 1.

Анализ полученных результатов в ближней зоне водохранилищ показал, что при эксплуатации крупных водохранилищ, их основания и чаши находятся в постоянно действующих нагрузках сжатия и растяжения соответствующей интенсивности амплитуд пригибания основания от вариации объема. Деформации основания могут соответствовать предельным тектоническим очаговым деформациям, непосредственно влияющим на регулярность напряженно-деформированного состояния и фоновых геодинамических движений близлежащего сейсмогенного слоя земной коры (в пределах зоны активного влияния водохранилищ). По-видимому, они и являются основным возбудителем не фоновых сейсмических событий в тектонических структурах, по крайней мере, в полосе малых энергетических классов.

Исследования проведены при финансовой поддержке Министерства Инновационного развития Узбекистана грантами № ФА-Ф-8-008 и № ПЗ-2017091115.

### Литература

1. Гупта К., Растоги Б. Плотины и землетрясения. М: Мир. 1979. 251 с.
2. Адушкии В.В., Турунтаев С.Б. Техногенные процессы в земной коре (опасности и катастрофы). М.: ИНЭК. 2005. 250 с.

3. Rao T.M. Koyna earthquake of 11th Dec. 1967 challenge to the seismicity of the Peninsular India // *Rec. Geol. Surv. India*, 1985. V. 114, N 6. P. 23-30.
4. Trzhtsinskii Yu.B., Levi K.G., 2009. Natural and human-induced processes water reservoirs at the coordinated hydroelectric system on the Angara River and the problem of induced seismicity. *Geoekologiya* 1, 71–79.
5. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Связь между смещением береговых склонов водохранилищ с вариацией ее объема // *ДАН РУз*. 2019. № 4. С. 61-66.
6. Идармачев Ш.Г., Черкашин В.И., Мусаев М.А., Идармачев И.Ш. Оценка деформаций земной коры в районе Чирекской ГЭС в результате сезонных нагрузок от водохранилищ // *Инженерная геология*. 2015. № 2. С. 52-57.
7. Хамидов Л.А. Линейная модель концентрации напряжений в разломах земной коры, находящихся в ближней зоне деформационного влияния крупных водохранилищ // *Проблемы сейсмологии*. Ташкент. 2019. № 1. С. 41-51.
8. Тимофеев В.Ю., Арнаутов Г.П., Талиев С.Д., Сарычева Ю.К., Калиш Е.Н., Стусь Ю.Ф., Анисимова Л.В., Жданов А.А. Изучение современных движений земной коры в районах крупных водоемов юга Сибири методом регистрации водного уровня // *Геология и геофизика*. 1997. Т. 38. № 12. С. 1993-2000.
9. Хамидов Л.А. Поля напряжений на основаниях водохранилищ // *Проблемы сейсмологии в Узбекистане*. Ташкент: ИС АН РУз. 2015. № 12. С. 14-19.
10. Rothe J.P. Seismic artificials // *Tectonophysics*. 1970. V. 9. № 2. P. 215–238.
11. Chopra Satinder and Marfurt Kurt Seismic Attributes – a promising aid for geologic prediction // *REC@RDER Canadian Society of Exploration Geoph.* 2006. Vol. 31. P. 132-145.
12. Интервью акад. К. Леви: «Связаны ли колебания уровня Байкала с сейсмичностью?» // "Восточно-Сибирская правда", № 26760 от 11 февраля 2015 г. [http://www.crust.irk.ru/newssmi\\_21.html](http://www.crust.irk.ru/newssmi_21.html)
13. Савич А.И., Газиев Э.Г. Влияние трещинной воды в скальных основаниях на их напряженно-деформированное состояние // *Геомеханика в горном деле. Докл. Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, г. Екатеринбург, 1-3 октября 2013 г.* Екатеринбург. 2014. С. 25-35.
14. Особенности развития деформационных процессов в основании арочной плотины Ингури ГЭС. Сборник научных трудов / А.И. Савич и др. Гидропроект. Вып. 103. М., 1985. 180 с.
15. Савич А.И. и др. Особенности влияния водохранилищ на скальные основания больших плотин // *Гидротехническое строительство*. 2003. № 3. С. 34-41.
16. Vertical displacement of rock foundation at Ingouri arch dam during 1st stage filling of reservoir / E. Gaziev et al // «Field Measurements in Geomechanics»: International Symposium: Vol. 2 / Swiss Federal Institute of Technology. – Zürich, 1983.-P.23-34.
17. Савич А.И., Газиев Э.Г. Влияние водохранилищ на поведение скальных массивов оснований высоких плотин // *Гидротехническое строительство*. 2005. № 11. С. 42-48.
18. Газиев Э.Г. Скальные основания бетонных плотин. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов. 2005. С. 47-56.
19. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Эмпирическая связь между амплитудой смещений береговых склонов с уровнем заполнения водохранилищ // *Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Десятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича. Всерос. конф. с междунар. участием, г. Екатеринбург, 23–27 сентября 2019 г.* С. 262-266.
20. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Возможный механизм возникновения землетрясений в зонах активного влияния водохранилищ // *Экологический вестник Узбекистана*. 2017. № 1(189). С. 20-21.

## РАЗВИТИЕ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БООМСКОМ УЩЕЛЬЕ

Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек у. Н., Чонтоев Д.Т.  
zagivit@mail.ru

Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук  
Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Среди всех экзогенных геологических процессов наибольшую опасность для авто и железнодорожного транспорта в Боомском ущелье, представляют камнепады и обвалы скальных горных пород с бортовых склонов, а также селевые потоки с боковых долин. Существует опасность разрушения присклоновых инженерных сооружений, авто и ж/д дороги, а также линий коммуникаций от этих опасных процессов. Опасность представляют как падения отдельных обломков, так и обрушения больших (тысячи кубических метров) массивов горных пород, селевые потоки ливневого генезиса. Для полного понимания природы, а также предупреждения опасных экзогенных геологических процессов в Боомском ущелье, необходим постоянный мониторинг за их развитием. В данной работе приводятся данные многолетнего мониторинга за развитием опасных процессов в Боомском ущелье.*

*Ключевые слова: экзогенные процессы, камнепады, селевые потоки, оползни, Боомское ущелье.*

### Введение

Опасные экзогенные геологические процессы (ЭГП) в Боомском ущелье по характеру своего формирования и развития делятся на несколько групп:

- процессы горных склонов: обвалы, камнепады, осыпи, оползни, оплывины;
- русловые процессы: селевые и наносоводные потоки, паводки, эрозия.

Опасные склоновые процессы воздействуют на присклоновые участки горных долин и предгорных равнин.

Основной движущей силой склоновых процессов является гравитация. Также оказывает значительное влияние водная составляющая. Обвалы характеризуются быстрым смещением вниз по склону скальных трещиноватых и раздробленных массивов горных пород. Обвалы в Боомском ущелье угрожают автомобильной и железной дороге, а также препятствуют возведению новых сооружений. В случае с камнепадами, скорость движения обломков составляет несколько десятков метров в секунду. Объем обломков – от долей кубического метра до нескольких кубических метров. Как и в случае с обвалами, камнепады угрожают авто и железной дороге в Боомском ущелье.

Селевые потоки также являются опасными ЭГП в Боомском ущелье, наряду с обвально-осыпными процессами. Боковые долины и саи представляют собой селевые очаги, которые активизируются во время прохождения ливней. На днищах этих врезом скапливается рыхлообломочный материал, поставляемый обвально-осыпными процессами со стороны склонов, разрушенных выветриванием.

### Место исследования

Боомское ущелье пересекает два хребта: западное окончание хребта Кунгей-Алатоо и юго-западное окончание Таса-Кеминского хребта, которое называется здесь Терек-Джоку или горы Окторкой (рис.1). Между хребтами Кунгей и Терек-Джоку протягивается с северо-востока на юго-запад Сулутерек-Кокджарсуйская впадина, выполненная, красноцветными отложениями киргизской свиты палеоген-неогена. Боомское ущелье с геоморфологических



позиций является средне приподнятым неотектоникой горно-ущелистым районом с господством водно-эрозионных и гравитационных процессов в условиях сухого климата [1].



Рисунок 1 - Местоположение Боомского ущелья

Расположение ущелья на стыке трех тектонических зон (с востока - хребтов Кеминского и Кунгей-Алатао, а с запада - Киргизского хребта), определило его сложную современную структуру. Морфология Боомского ущелья отличается, во-первых, сильной раздробленностью структуры, тектоническими разломами, по которым расположены межгорные впадины, типа Сулутерек, Кекджарсуйской и других депрессий, выполненные палеоген-неогеновыми отложениями, и некоторые крупные речные ущелья, типа Коморчек, Кургактерек, Сулутерек; во-вторых, в современном рельефообразовании из всех экзогенных факторов доминирующее значение имеют именно гравитационные склоновые процессы.

### **Влияние климата на развитие ЭГП**

Район характеризуется отсутствием устойчивого снежного покрова и частой повторяемостью ветров [2]. На развитие ЭГП в Боомском ущелье значительное влияние оказывают температура воздуха и атмосферные осадки. Горные породы, раздробленные тектоническими процессами, еще более растрескиваются под влиянием температурного режима. В результате выходы таких твердых, но неоднородных по строению или составу пород, как граниты, сланцы, песчаники, превращаются постепенно в россыпи более или менее мелкого щебня.

Разрушение и растрескивание горных пород проходит на значительную глубину, главным образом, под влиянием замерзающей в трещинах воды. В результате большие скалы становятся настолько раздробленными и непрочными, что под действием самых незначительных причин, а особенно под влиянием частых здесь землетрясений и тектонических движений, обрушиваются вниз, постепенно накапливаясь и образуя огромные осыпи у подножий склонов.

Атмосферные осадки в основном влияют на развитие селевых потоков, но также оказывают влияние на формирование камнепадов и оползней. Значительная раздробленность горных пород, слагающих крутые борта Боомского ущелья, обусловила их неустойчивость. Достаточно малейшего ослабления сил сцепления между обломками, чтобы произошло их

обрушение вниз по склону. Причинами такого ослабления являются атмосферные осадки, выпадающие либо в виде дождя, либо в виде снега, который тает. Дождевые и талые воды проникают в трещины, насыщают поры, тем самым, ослабляя связь между частицами и вызывая камнепады. Активность камнепадов, зависит от интенсивности и продолжительности выпадения дождей и от интенсивности снеготаяния.

### **Материалы и методы**

Работа по выявлению участков опасного развития гравитационных процессов была проведена в несколько этапов. На первом этапе была изучена фондовая и опубликованная литература. Первые литературные данные о характере проявлений опасных ЭГП, в том числе гравитационных процессов в Боомском ущелье связаны с описанием последствий крупных землетрясений в Центральной Азии [3-5]. Сейсмотолчки провоцируют массовые движения пород на горных склонах: камнепады (осыпание), обваливание, оползание. Развитие этих процессов обуславливается наличием мощной толщи трещиноватых горных пород, слагающих кору выветривания, раздробленных как под действием тектонических дислокаций, так и под действием механического выветривания. Если к этому прибавить чрезвычайную крутизну рельефа на всем протяжении ущелья, то станет ясным, что гравитационные процессы являются самыми опасными для авто- и железной дорог, проходящих здесь.

Дешифрирование космо- и фотоснимков за разные годы позволило оценить динамику процессов, только для крупных участков. В ходе рекогносцировочных маршрутов, были выделены наиболее опасные участки развития гравитационных процессов. Дана характеристика и оценка степени угрозы наиболее опасных типов гравитационных процессов. На наиболее важном этапе работ было проведено детальное обследование участков мониторинга с размещением на них реперов и марок, а также наземной фотосъемкой и съемкой с дрона (модель дрона DJI Phantom 3 professional). На более опасных участках для более детального изучения были построены 3D модели в программе Agisoft®. Заключительный этап мониторинга заключался в повторных обследованиях участков с проявлением опасных гравитационных процессов в период их активизации.

### **Результаты**

Развитие опасных ЭГП происходит в определенной геологической среде и интенсивность этого развития во многом зависит от состава горных пород. По своему составу и инженерно-геологическим свойствам в Боомском ущелье горные породы делятся на скальные, полускальные, крупнообломочные, песчаные и глинистые типы.

Скальные породы отличаются в Боомском ущелье сильной раздробленностью вследствие действия тектонических (складкообразование, сейсмодислокации, сейсмотолчки) процессов и процессов выветривания. Поэтому скальные выходы на склонах и днище ущелья разбиты многочисленными трещинами на более или менее крупные обломки. Наибольшая трещиноватость и раздробленность характерна для протерозойских эффузивов, представленных плагиоклазовыми и диабазовыми порфиритами, диабазами и их туфами. На площади распространения этих пород широко развиты осыпные шлейфы, образованные камнепадами и осыпанием скальных обломков. Такими осыпными шлейфами выполнены нижние части склонов Боомского ущелья, между боковыми притоками Кара-Джилга и Кургактерек.

Менее раздроблены скальные породы из девонских и пермских эффузивов. На склонах ущелья между боковыми долинами Кургактерек и Сулутерек осыпных шлейфов не наблюдается. Здесь большее развитие получили селевые потоки.

Наименьшей раздробленностью и большей устойчивостью по сравнению со скальными породами, слагающими борта Боомского ущелья, обладают осадочные породы карбона, представленные песчаниками, конгломератами, алевролитами, линзами известняков. Этими породами сложены мощные скальные массивы южнее и севернее

станции Кыз-Куйе. На горных склонах, выполненных этими породами, часто происходят камнепады и обвалы, однако здесь нет сплошного осыпного шлейфа, подобного тому, что наблюдается на склонах в «Прорывном» сае (рис.2).



Рисунок 2 – Прорывной сай, с защитными стенками от осыпей и камнепадов

На участке Кыз-Куйе (рис.3) над полотном железной дороги нависают скальные уступы высотой до 50-70 м. Камни с этих уступов падают непосредственно на железную дорогу. Осыпных шлейфов на этом участке горных склонов нет.



Рисунок 3 – Мощные скальные массивы Кыз-Куйе выполненные песчаниками, конгломератами, алевролитами, линзами известняков

В зависимости от морфологии склона и состава слагающих его пород действие процессов протекает более или менее активно и проявляется в различных формах: обвалов, камнепадов, обрушения, оплывания. Из них самыми катастрофическими являются камнепады. Зона их действия распространяется не только на подножие склона, но и на прилегающие к нему участки днищ горных долин и межгорных впадин. Поэтому для избежания угрозы обвалов и камнепадов жилые дома и хозяйственные объекты необходимо размещать подальше от склонов за пределами зоны их действия. Камнепады широко развиты на площади, выполненной скальными породами палеозоя и протерозоя. Обвал на 139 километре автодороги Бишкек-Нарын-Торугарт (Боомское ущелье) произошел 12 августа 2015 года в процессе инженерных работ по укреплению склона, объем составил до 2 тыс.м<sup>3</sup>. Автотрасса была перекрыта завалом высотой до 7м и длиной вдоль полотна дороги до 50м.

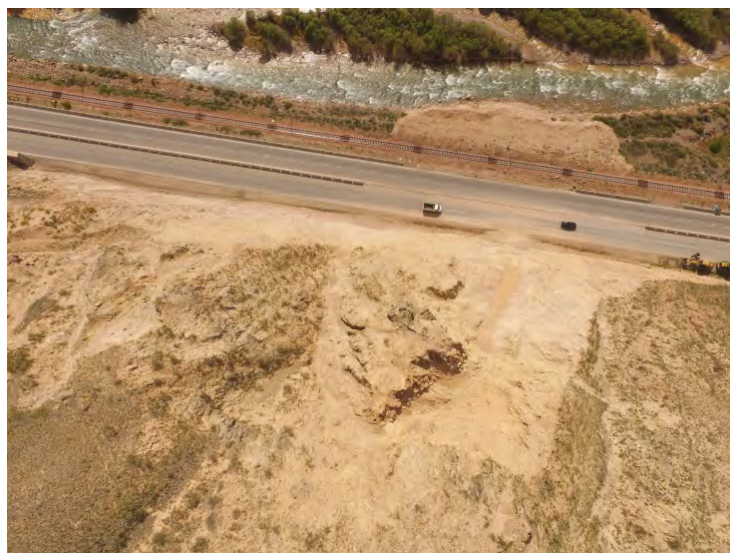


Рисунок 4 – Участок обвала, 139 км автомобильной дороги Бишкек – Торугарт

Повторный мониторинг наиболее опасных участков позволяет судить о динамике развития процесса. На рисунке 5 изображены снимки обвального участка на 139 км с дрона, за разные промежутки времени, горизонталы построены через 20 см. С помощью дрона выявлены наиболее критические места, отмечены на рисунке белыми кругами, направление движения – красными стрелками. Основные процессы обваливания сосредоточены в центральной части обвального тела. Процесс очень динамичный. Данный мониторинг с целью повышения его эффективности необходимо проводить как можно чаще.

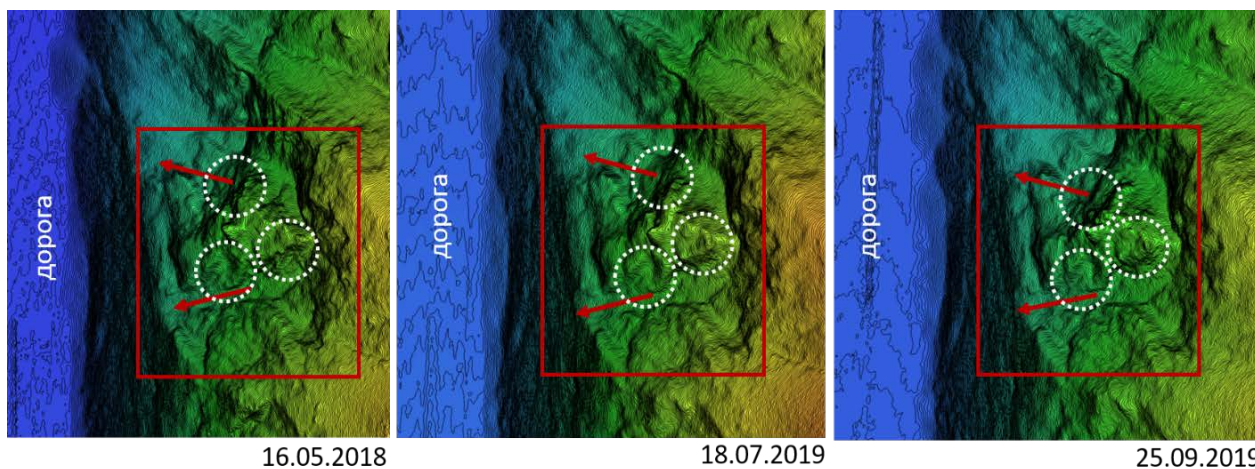


Рисунок 5 – Модели рельефа на основе снимков с дрона

Оползни на горных склонах Боомского ущелья представлены в настоящее время лишь одним оползневым очагом, расположенным над галереей (рис. 6). Здесь оползанию подвержены относительно водоупорные красноцветные отложения палеоген-неогена. Это наименее устойчивые породы горных склонов, особенно после их замачивания. На данный момент на данном оползне ведутся работы по террасированию, которые затруднены крутизной склона и наличием трещин, что затрудняет продвижение техники.



Рисунок 6 – Оползень над защитной галереей

По всему Боомскому ущелью широко распространены следы древних селевых потоков, хорошо сохранившиеся в устьях многих ущелий и на конусе выноса.

Так селевые потоки реки Коморчек (рис. 7а) не только сформировали обширный конус выноса, но перекрывали временными плотинами реку Чу. Об этом свидетельствуют останцы отложений яркого ржаво-бурого цвета на правом берегу этой реки. Обширные площади бассейна реки Кургактерек выполнены красноцветными отложениями киргизской свиты палеоген-неогена (рис. 7б), которые легко насыщают временно-действующие водотоки грязекаменным материалом. В таблице 1 приведены данные зафиксированных в прошлом селевых потоков в Боомском ущелье. Большинство потоков приходится на июнь месяц и связано с прохождением интенсивных ливней.

Таблица 1 – Значимые селевые потоки зафиксированные в Боомском ущелье

Название реки	Месяц/Год прохождения селея
Коморчек	август 1960, июнь 1968, июнь 1972
Кургактерек	июль 1960, июнь 1972, июнь 1999
Кызкуйе	июнь 1999
Джиль-Арык	июнь 1978

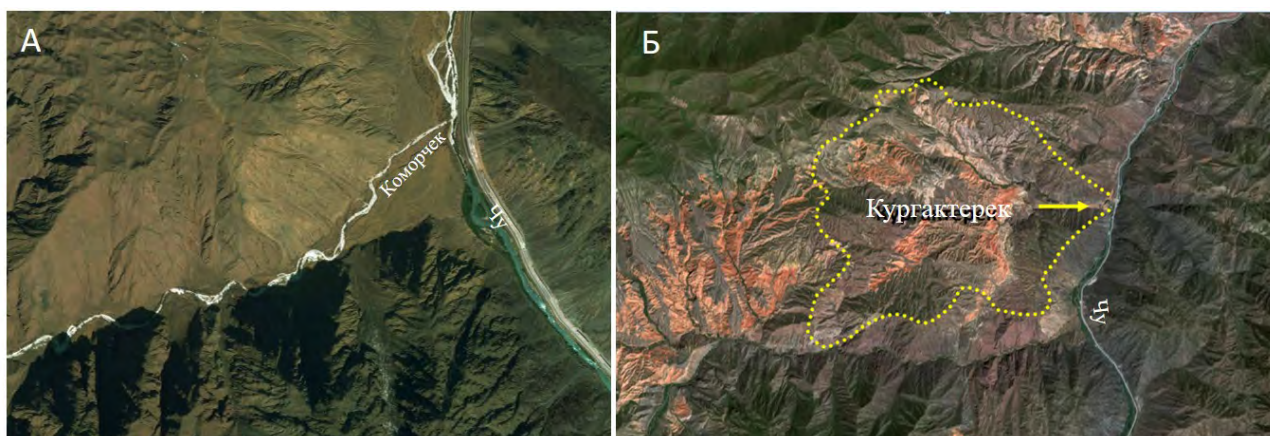


Рисунок 7 – Селевые участки: а) Коморчек и б) Кургактерек

### **Заключение**

Результаты работы, изложенные в данной статье, дают наглядное представление о том, что проезжающий через Боомское ущелье авто- и железнодорожный транспорт, расположенные в ущелье линии коммуникаций, инженерные сооружения находится под постоянной угрозой действия опасных ЭГП, в особенности обвалов и камнепадов. Площадь безопасных участков весьма ограничена и составляет всего 20-30% от общей его площади.

Активизация же селевых потоков в Боомском ущелье в будущем, будет зависеть от нескольких факторов: метеорологического (осадки, преимущественно продолжительные ливни) и литологического – наличия селевого материала на днищах долин.

Достоверный прогноз развития опасных ЭГП в Боомском ущелье сильно затруднен отсутствием метеорологической информации. Но для решения задач по своевременному прогнозу развития опасных ЭГП необходим постоянный мониторинг за опасными процессами, особенно в весенние и летние месяцы.

### **Литература**

1. Токомбаев Ш. Геоморфология Чон-Кемин-Боомского района Северного Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1969. 114 с.
2. Подрезов О.А. Горная климатология и высотная климатическая зональность Кыргызстана. Бишкек: Изд-во КРСУ. 2014. 170 с.
3. Мушкетов И.В. Верненское землетрясение 28 мая 1887 года. СПб.: Геоком. 1890. 154 с. (Труды Геол. ком-та; Т. 10, № 1).
4. Богданович К.И. Землетрясение 22 декабря 1910 г. в северных цепях Тянь-Шаня между Верным и Иссык-Кулем // Изв. Геол. ком. 1911. Т. 30. № 189. С. 329-419.
5. Федорович Б.А. Послетретичные тектонические процессы в северных предгорьях Тянь-Шаня. Материалы по геологии и геохимии Тянь-Шаня. Ч. 2. Л.: Изд. СОПС АН СССР. 1931. 225 с.

## ДИНАМИКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОКРУГ ГОРОДА БИШКЕК

Калысова Ж., Омуралиева А.

*zhibek\_kalysova@mail.ru, omuraika@mail.ru*

Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В статье приведена динамика последовательности проявления землетрясений вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Динамика последовательности проявления землетрясений предопределена динамикой иерархии активных разломов и блоков [1-3]. Последовательность землетрясений выражена иерархией сейсмических циклов, которая является универсальным параметром сейсмических процессов [4]. В каждом цикле выделяется период активизации, пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации и период сейсмического затишья. Крупные землетрясения появляются в цикле первого порядка с длинным периодом, значительные и малые землетрясения – в циклах с соответствующими короткими периодами. В связи с этим изучение повторяемости землетрясений является актуальной проблемой для оценки сейсмической опасности и главной целью сейсмологии на современном уровне.*

*Ключевые слова: динамика последовательности, номер очерёдности землетрясений, промежуток времени между землетрясениями, средняя годовая частота землетрясений, период повторения, закон повторяемости Гутенберга-Рихтера, синхронизация динамики последовательности землетрясений*

На основании методики Канамори [5] определена связь между энергетическим классом землетрясения  $K=lgE$  (Дж) и моментной магнитудой  $M_w$  в виде соотношения:

$$M_w=0.6667K-3.166. \quad (1)$$

Нами рассмотрена динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=3,5\pm 0,17$  (по данным Института сейсмологии НАН КР) в квадрате  $\varphi=42^\circ 20'-43^\circ 20'$ ,  $\lambda=73^\circ 30'-76^\circ 00'$  в интервале времени 1960-2019 гг. приведен на рисунке 1. Он имеет линейный тренд, который характеризуется уравнением:

$$t=2.0502x+1953.6, R^2=0.81, \quad (2)$$

где  $t$  - время землетрясения,  $x$  – номер очерёдности события, коэффициент со значением 0,0239 - время, приходящее на очередное событие,  $R^2$  - достоверность аппроксимации. Пологие «плечики» на графике выражают сейсмическую активизацию. Они проявляются периодически.

На рисунке 2 показано изменение промежутка времени землетрясений с моментной магнитудой  $M_w=3.50$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления землетрясений с  $M_w=3.50$  составляет  $TD=2.474$  лет при максимальном значении 11.2 лет. Стандартное отклонение  $S=2.871$ . По методу Гутенберга-Рихтера средняя годовая частота  $NGR=25/20=1.25$ , период повторения  $TGR=1/1.25=0.08$  лет.

На рисунке 3 показан график динамики последовательности проявления землетрясений с  $M_w=3.83\pm 0,17$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Он имеет линейный тренд:

$$t=5.0059x+1951.2, R^2=0.95, \quad (3)$$

где  $t$  - время землетрясения,  $x$  – номер очерёдности события, коэффициент со значением 5,0059 - время, приходящее на очередное событие,  $R^2$  - достоверность аппроксимации

линейным трендом. Пологие «плечики» на графике выражают сейсмическую активизацию. Они проявляются периодически.

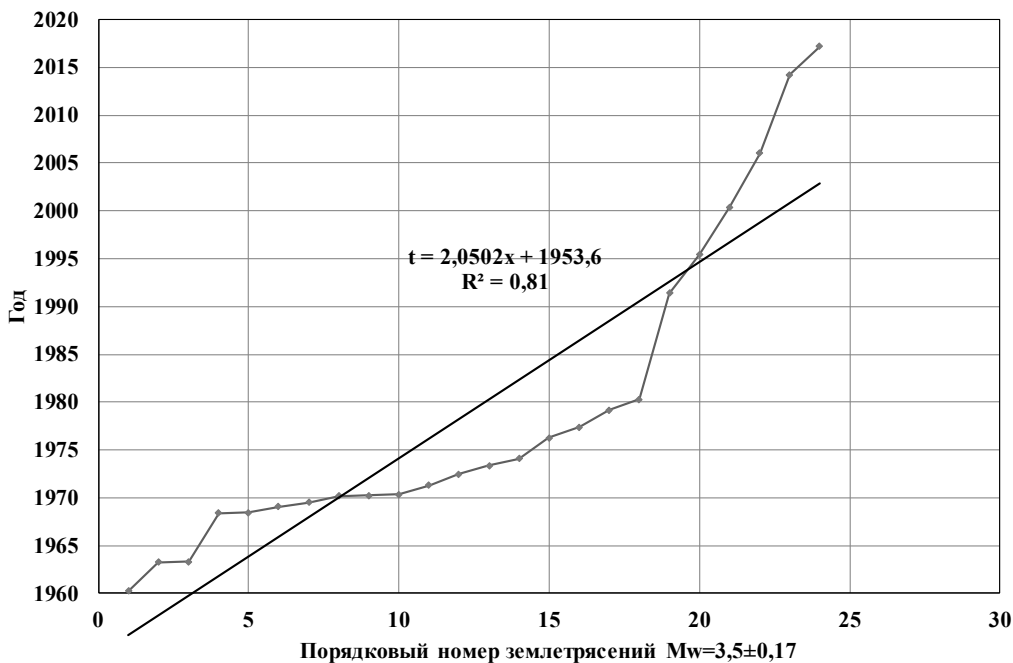


Рисунок 1 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=3.50$  вокруг города Бишкек за 1960-2019 гг.

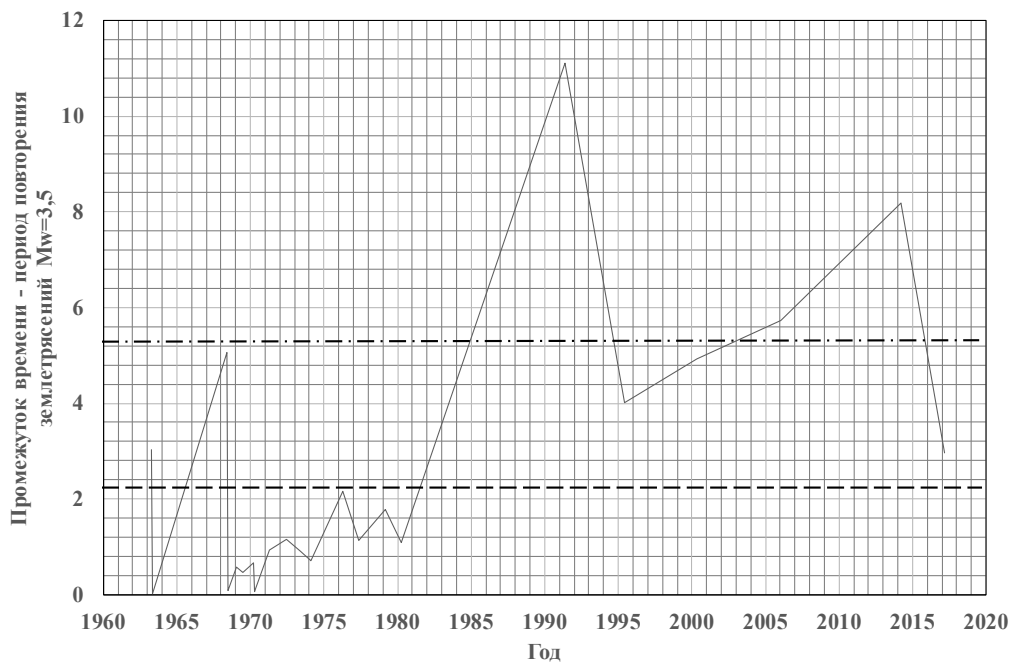


Рисунок 2 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=3.50$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Пунктирная линия - среднее значение  $TD=2.474$  лет, штрихпунктирная линия –  $S$  стандартное отклонение 2.871 лет



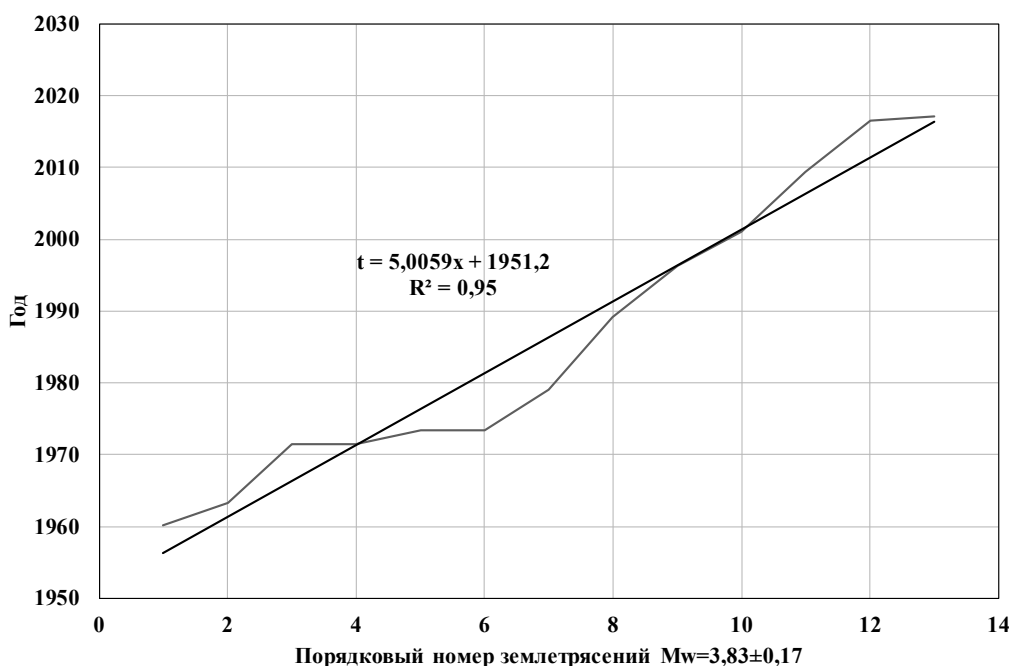


Рисунок 3 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=3.83$  вокруг города Бишкек за 1960-2019 гг.

На рисунке 4 показано изменение промежутка времени землетрясений с моментной магнитудой  $M_w=3.83$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления таких землетрясений составляет  $TD=4.754$  лет при максимальном значении 10 лет. Стандартное отклонение  $S=3.529$ . По методу Гутенберга-Рихтера средняя годовая частота  $NGR=14/20=0.7$ , период повторения  $TGR=1/0.7=1.428$  лет.

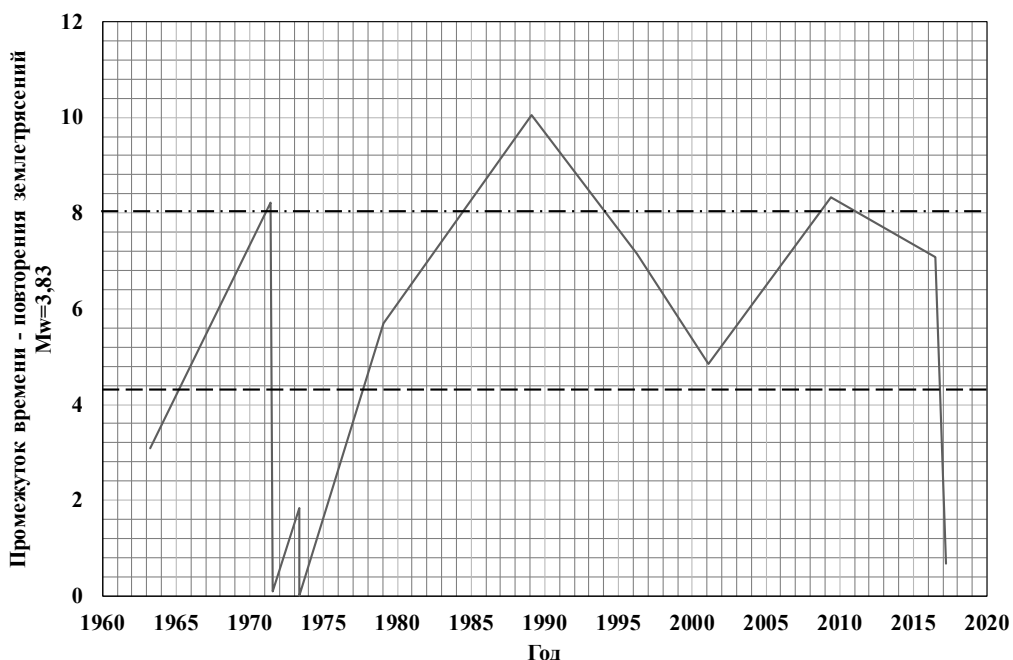


Рисунок 4 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=3.83$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Пунктирная линия - среднее значение  $TD=4.754$  лет, штрихпунктирная линия –  $S$  стандартное отклонение 3.529 лет

Далее на рисунке 5 приведен график для динамики последовательности проявления землетрясений с  $M_w=4.16\pm 0,17$  вокруг города Бишкек за тот же период. Он имеет линейный тренд:

$$t=14,952x+1943,1, R^2=0.92, \quad (4)$$

где  $t$  и  $x$  - время землетрясения и номер очередности события соответственно, коэффициент при  $x$  со значением 14,952 - это время, приходящее на очередное событие,  $R^2$  - достоверность аппроксимации. Пологие «плечики» на графике выражают сейсмическую активизацию. Они проявляются периодически.

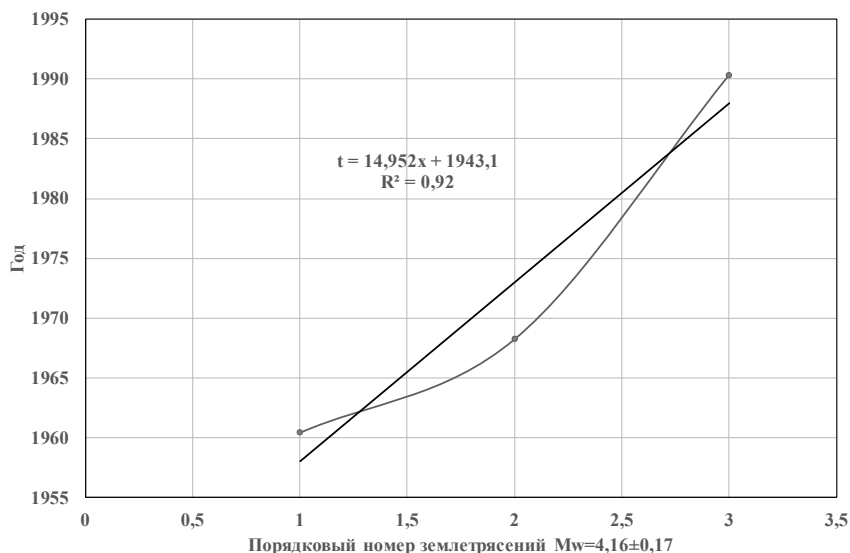


Рисунок 5 – Динамика последовательность проявления землетрясений с  $M_w=4.16$  вокруг города Бишкек за 1960-2019 гг.

На рисунке 6 показано изменение промежутка времени землетрясений с  $M_w=4.16$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления землетрясений составляет  $TD=14.952$  года при максимальном в 22.1 года. Стандартное отклонение  $S=10.085$ . По методу Гутенберга-Рихтера средняя годовая частота  $NGR=4/20=0.2$ , период повторения  $TGR=1/0.2=5$  лет.

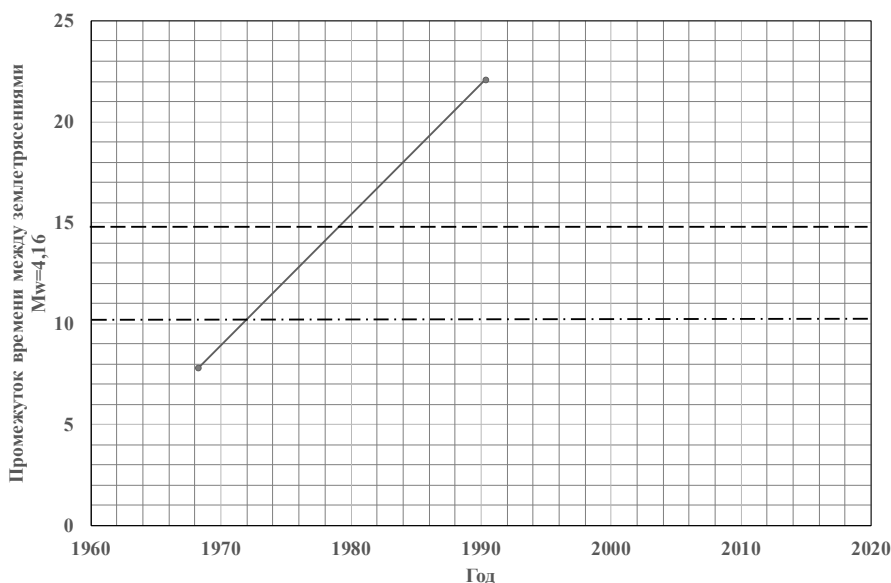


Рисунок 6 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=4.16$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Пунктирная линия - среднее значение  $TD=14.952$  лет, штрихпунктирная линия –  $S$  стандартное отклонение 10,855 лет

Теперь рассмотрим динамики последовательности проявления землетрясений с  $M_w=4.50\pm 0,17$  вокруг города Бишкек за 1960-2019 гг., график которой приведен на рисунке 7. Он имеет линейный тренд с достоверностью аппроксимации  $R^2$ :

$$t=5.6118x+1956.7, R^2=0.97, \quad (5)$$

где  $t$  - время землетрясения,  $x$  – номер очередности события, коэффициент 5,6118- время, приходящее на очередное событие. Пологие «плечики» на графике выражают сейсмическую активизацию. Они проявляются периодически и сменяются сейсмическими затишьями (подъемами отрезка графика).

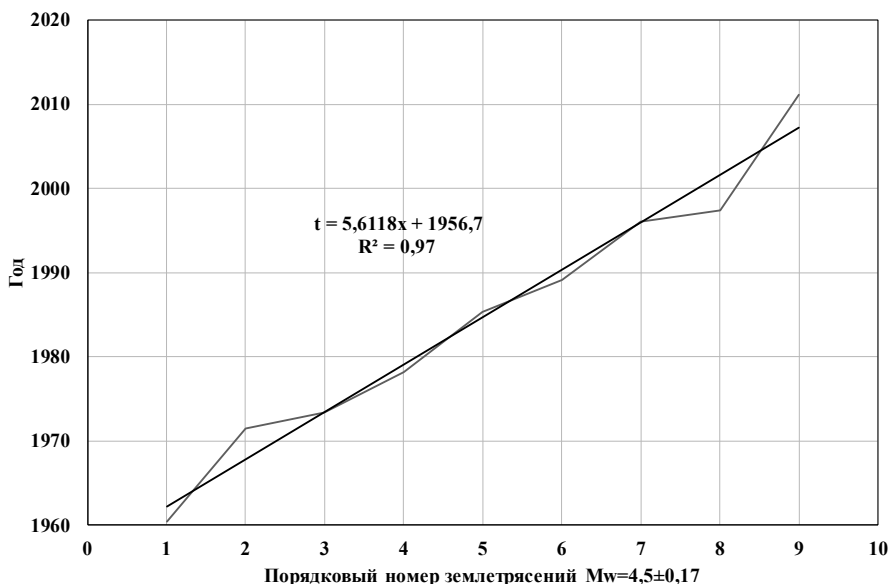


Рисунок 7 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=4.50$  вокруг города Бишкек за 1960-2019 гг.

На рисунке 8 показано изменение промежутка времени землетрясений с  $M_w=4.50$  вокруг города Бишкек за 1960-2019 гг. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления землетрясений  $TD=6.338$  лет при максимуме в 13.7 лет. Стандартное отклонение  $S=4.346$ . По методу Гутенберга-Рихтера средняя годовая частота  $NGR=10/20=0.5$ , период повторения  $TGR=1/0.5=2$  года.

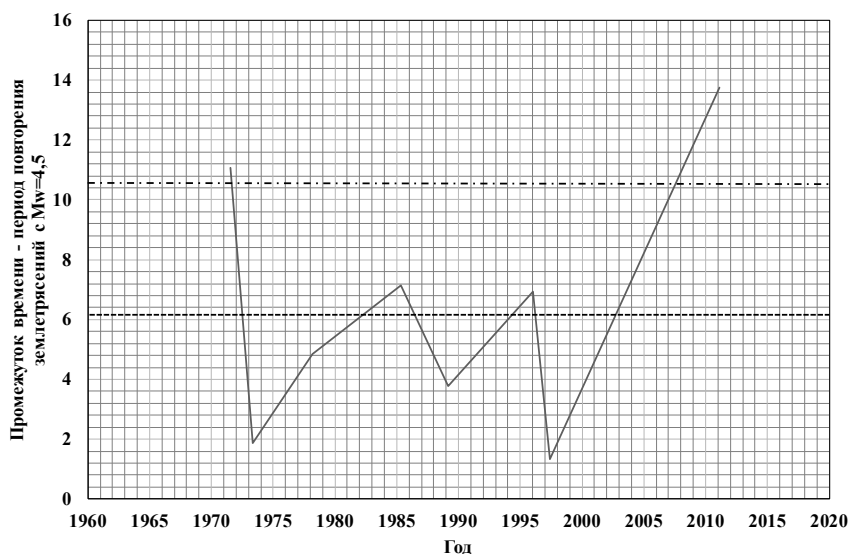


Рисунок 8 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=4.50$  вокруг города Бишкек за 1960-2019 гг. Пунктирная линия - среднее значение  $TD=6.338$  лет, штрихпунктирная линия - стандартное отклонение 4.346 лет

Совокупность последовательности появления каждого класса землетрясений позволяет определить основную закономерность сейсмических процессов [4]. Значительные землетрясения перед и после пика сейсмической активизации повторяются аномально короткими промежутками времени (табл.1). Например, 09.04.1972 проявился пик сейсмической активизации - произошло землетрясение с магнитудой около  $M_w=4.83$ . После наступил спад сейсмической активизации. С 03.04.1960 по 31.12.2019 проявились десять землетрясений с  $M_w=4.5$ .

Таблица 1 – Синхронизация последовательности проявления классов значительных землетрясений с  $M_w=3.5 - 4.83$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. (здесь представлена часть последовательности)

Год	Моментная магнитуда				
	$M_w=3.50$	$M_w=3.83$	$M_w=4.16$	$M_w=4.5$	$M_w=4.83$
1960		03 янв.			
	06 фев.				
			03 апр.	03 апр.	
1963	09 фев.				
		09 фев.			
1968			05 фев.		
	07 мар.				
	07 апр.				
1969	04 янв.				
	01 май				
1970	08 янв.				
	05 фев.				
	07 мар.				
1971	02 мар.				
		24 апр.			
		14 май		14 май	
1972		04 мар.			
	06 апр.				
		05 май			09 апр.
1973	07 мар.			07 мар.	
1974	09 янв.				
1975	05 фев.				
1977	09 мар.				
1978				18 фев.	
1979		06 янв.			
	07 янв.				
1980	06 янв.				

### Заключение

1. Изучена динамика последовательности проявления каждого класса землетрясений с моментной магнитудой  $M_w \pm \Delta M_w$  и отмечено, что промежутки времени между землетрясениями определённого класса неравные, изменчивые.
2. На основании изучения динамики последовательности проявления землетрясений отмечено, что повторяемость событий определяется иерархией сейсмических циклов.
3. Составлена таблица синхронизации динамики последовательности ряда класса землетрясений с  $M_w \pm \Delta M_w = 3.16 - 4.83$  вокруг города Бишкек за 1960-2019гг. Слежение

за динамикой последовательности проявления комплекса классов землетрясений позволит повысить точность и достоверность оценки повторяемости землетрясений и сейсмической опасности.

### Литература

1. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Central Asia. Bishkek: Pim. 2004. 166 p.
2. Омуралиев М., Омуралиева А. Средне – и краткосрочная сейсмическая опасность Тянь-Шаня и иерархия динамики сейсмических процессов (на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран). Бишкек: Триада Принт. 2016. 116 с.
3. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир. 1985. 264 с.
4. Омуралиев М., Омуралиева А. Естественная размерность сейсмических процессов и сейсмической среды на примере Тянь-Шаня // Вестник ИС НАН КР. 2015. № 6. С. 96-107.
5. Kanamori H. The energy release in great earthquakes // J. Geophys. Res., 1977. 82. 2981-7.

## ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА

Тажибаев Д.К., Качкынов Э.Т.

*dantaji@mail.ru*

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В данной статье рассматривается широкий спектр задач, стоящих перед геотехнической службой горного предприятия, занимающегося добычей полезных ископаемых открытым способом, а так же указывается безусловная необходимость комплексного подхода к решению вопросов геотехнического мониторинга при ведении горных работ с целью прогноза и предотвращения аварийных ситуаций.*

*Ключевые слова: геотехнический, мониторинг, массив, открытая разработка, устойчивость, безопасность, обрушение.*

В настоящее время горнодобывающая промышленность является приоритетной и бюджет образующей отраслью республики. Для рациональной и безопасной отработки месторождений Кыргызстана на всех горных предприятиях должен осуществляться геотехнический мониторинг для управления устойчивостью горных выработок при ведении горных работ. Геотехнический мониторинг и контроль поведения массива горных пород необходим в первую очередь для решения задач по: 1) обеспечению безопасности горняков посредством эффективного мониторинга и управления состоянием массива и 2) повышению экономической эффективности горного производства посредством оптимизации горных работ с точки зрения управления горным давлением.

Геотехнические службы горных предприятий для обеспечения безопасной отработки месторождений Кыргызстана должны проводить следующие основные работы:

- мониторинг деформационных процессов в массиве горных пород;
- выявление и документирование ослабленных участков и их границ;
- прогноз обрушений, оползней и других деформационных процессов на базе мониторинга и инженерных расчетов;
- разработка и поддержание карт геотехнических источников опасности;
- выполнение инженерных расчетов и численного моделирования устойчивости выработок;
- разработка мероприятий по предотвращению вывалов и обрушений;
- проведение лабораторных исследований физико-механических свойств пород;
- оценка решений по развитию горных работ с точки зрения устойчивости горных выработок;
- контроль устойчивости отвалов и дамб хвостохранилищ [1].

Одной из важных задач перед геотехнической службой горного предприятия является определение физико-механических свойств горных пород, слагающих разрабатываемое месторождение, необходимо исследовать физические, прочностные, деформационные свойства горных пород в лабораторных условиях для дальнейших инженерных расчетов и моделирования устойчивости горных выработок, отвалов и других геотехнических сооружений карьера.

Предотвращение оползней и обрушений откосов на карьерах, а так же разработка мероприятий, снижающих вредное воздействие деформаций уступов, бортов, отвалов и территорий, прилегающих к карьере, является необходимым условием бесперебойной работы горного предприятия. Возникающие аварии в процессе разработки месторождения

приводят к человеческим жертвам, остановке работы рудника и большому экономическому ущербу. В качестве примера хотелось бы привести крупные аварии, произошедшие на руднике Кумтор: первая произошла 8 июля 2002 года около трех часов дня. Начиная с верхнего уступа карьера (4298 м над у. м.) с основанием в 250 метров до нижнего (4018 м) обрушилась огромная масса горной породы объемом свыше 2 700 000 м<sup>3</sup> или 7,3 млн тонн (рис.1) и вторая, произошедшая 1 декабря 2019 года на участке в долине ручья Лысый рудника «Кумтор», когда произошел оползень отвалов пустой породы, размер сошедшего оползня составил в длину 450 метров, в ширину - 570 метров, высота - 50 метров, общий объем – 12 825000 м<sup>3</sup>, при этом погибли два горняка, и остановился процесс добычи золота на руднике (рис.2) [2].

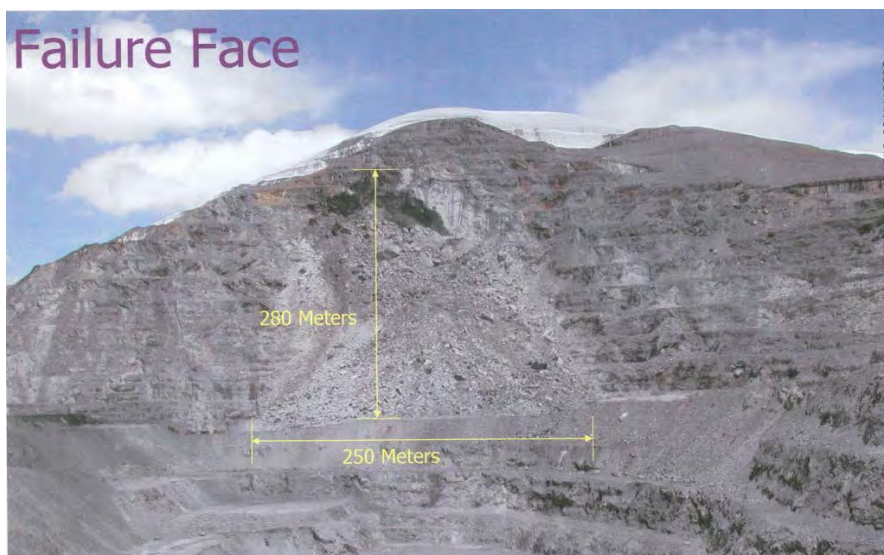


Рисунок 1 – Обрушение на руднике Кумтор (2002 г.)



Рисунок 2 – Вид оползня отвалов вскрышных пород на руднике Кумтор (2019 г.)

В настоящее время существует много методов наблюдения за состоянием выработок и отвалов при открытой разработке месторождений, которые делятся на следующие виды:

- Наземные методы – это традиционные способы инструментального обследования с помощью тахеометров, включающие камеральные и полевые работы.
- Дистанционные, включающие беспилотную съемку (БПЛА), которые характеризуется высокой производительностью и точностью.

Одним из перспективных современных методов геотехнического мониторинга, который может быть применен на карьерах Кыргызстана, является лазерное сканирование

приборного массива с дневной поверхности карьера. Что может стать основой для расчетов устойчивости откосов на карьерах, своевременного прогноза и предупреждения возникающих деформаций откосов в зависимости от изменяющейся в процессе горных работ горно-геологической обстановки. Эффективный контроль над указанными деформационными проявлениями возможен с помощью прибора дистанционного типа системы HDS 8800, которая отличается высокой скоростью сканирования, простая в управлении, удобная в использовании (рис.3).



Рисунок 3 – Импульсная лазерная система сканера Leica HDS8800

Импульсная лазерная система сканера Leica HDS8800 позволяет работать на расстоянии до 2000 метров, что является одним из лучших показателей в отрасли. Частота сканирования может достигать 8800 точек в секунду, что позволяет вам получать детальные изображения с углом развертки 80° по вертикали и 360° по горизонтали. В таблице 1 приведены основные технические характеристики данной системы [3].

Таблица 1 – Основные технические характеристики импульсной лазерной системы сканера Leica HDS8800

	<b>HDS8800</b>
Тип сканера	Импульсный со встроенным двухосевым компенсатором наклона
Дальность	2000 м
Точность измерения расстояния	10 мм на 200 м; 20 мм на 1000 м
Точность угловая	$\pm 0,010^\circ / \pm 0,010^\circ$
Размер лазерного пятна	24 мм на 50 м
Скорость сканирования	до 8800 точек/сек
Поле зрения	80° / 360° (по вертикали/по горизонтали)
Видоискатель	встроенная цифровая камера



Размеры	492 x 250 x 377 мм
Масса	13,9 кг
Рабочая температура	-40° - +50°C
Температура хранения	-20° - +70°C
Время работы	до 3 часов

Отличительной особенностью сканера Leica HDS8800 является наличие встроенной 70-ти мегапиксельной панорамной фотокамеры, с которой на свое облако отснятых точек без труда можно накладывать реальные изображения. Таким образом нет необходимости использовать постороннюю камеру, ее настройки и калибровки для корректной работы со сканером. Система лазерного сканирования Leica HDS 8800 осуществляет выполнение следующих операций:

- измерение горизонтальных и вертикальных углов;
- измерение расстояний;
- определение объемов выработанных пространств и отвалов;
- картографирование объектов открытых горных работ;
- геологическое картирование различных породных обнажений.

При проведении подготовительных работ по периметру наблюдаемого карьера на дневной поверхности и его уступах оборудуются стационарные точки (пункты) с закрепленными за ними координатами, с которых отчетливо просматривается карьер и с которых будут производиться планируемые исследования с использованием лазерного сканера. Установка, доставленная к стационарному пункту карьера, из транспортного состояния переводится в рабочее состояние. Затем последовательно выполняются следующие операции:

- сканер подключается к ППК;
- производится ввод следующих данных: дата, время, точка стояния, температура и давление атмосферного воздуха, тип аккумулятора;
- производится настройка освещенности;
- производится выбор области сканирования;
- осуществляется настройка прибора на объект сканирования;
- осуществляется предварительный осмотр объекта сканирования;
- осуществляется производство сканирования и фотографирования выбранных объектов;
- просмотр записанных на планшет сканов.

Обработка результатов наблюдений производится с использованием прилагаемой программы I– Site Studio версии 3.5, которая позволяет производить выполнение следующих операций:

- измерение расстояний;
- определение объемов выработанных пространств и отвалов
- измерение горизонтальных и вертикальных углов;
- картографирование объектов открытых горных работ;
- геологическое картирование различных породных обнажений.
- измерение расстояний;
- определение объемов выработанных пространств и отвалов;
- измерение горизонтальных и вертикальных углов;
- картографирование объектов открытых горных работ;
- геологическое картирование различных породных обнажений;
- построение стереодиаграмм любых объектов карьера;

- распознавание структурных нарушений породных массивов берм, откосов уступов карьеров;
- расчёт параметров падения и простирания породных слоёв;
- анализ динамики сдвижения склонов во времени;
- идентификация геологических нарушений, трещин и т.д. в структуре склонов;
- оценку скорости и величин перемещений склонов во времени.

Полученные с одних и тех же точек в разные промежутки времени сканы сопоставляются друг с другом, на основании чего делаются выводы о динамике происходящих деформационных процессах [4].

Геотехнический мониторинг открытых горных работ на карьерах Кыргызстана необходимо осуществлять комплексно, с привлечением широкого круга специалистов и научно-исследовательских учреждений республики для достижения эффективной и безопасной работы горного предприятия.

Также при инженерных расчетах и моделировании устойчивости бортов карьеров необходимо использовать современные специализированные программы, такие как PHASE 2, Plaxis, Slide и другие. В качестве примера на рисунке 4 приведен расчет коэффициента, характеризующего запас устойчивости борта для карьера Сары-Тор с помощью программы PHASE 2 (рис.4) [5].

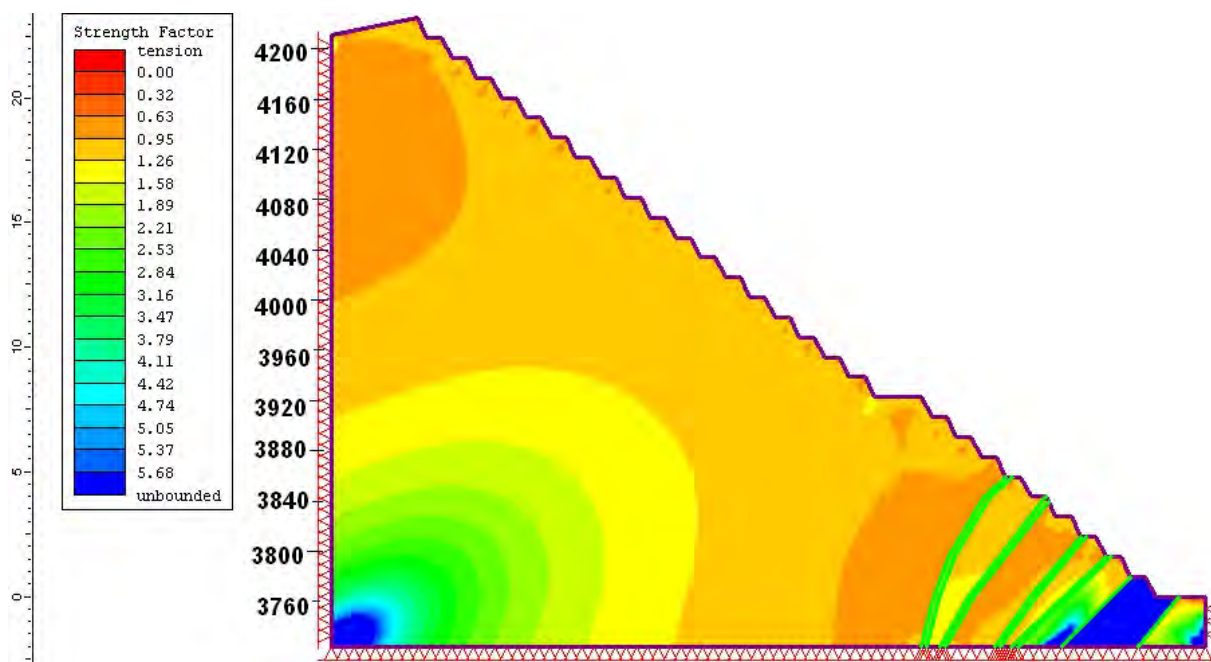


Рисунок 4 – Распределение коэффициента запаса прочности (генеральный угол откоса 37-38 градуса, высота сдвоенного уступа 16 м, глубина карьера 460 м)

## Литература

1. Мясков А.В., Еременко В.А., Лушников В.Н., Мансуров В.А., Бабкин Е.А. Актуальность и пути подготовки инженеров-геотехников для горных предприятий Российской Федерации // Горный журнал. 2019. №. С. 85-88.
2. <https://eco.akipress.org/news:1582985>
3. <https://www.rusgeocom.ru/products/nazemnyj-lazernyj-skaner-leica-hds8800>
4. Заровняев Б.Н., Шубин Г.В., Васильев И.В. Использование лазерного сканирования для исследования геомеханического состояния бортов карьеров // Международный научно-технический журнал. 2012. Вып. 5. С. 76-77.
5. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К. и др. Отчет по анализу и расчету устойчивости бортов рабочей зоны № 2 карьера Сарытор. Бишкек. 2020. 202 с.

## ОПАСНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АЛА-АРЧА

Кубанычбек у. Н., Загинаев В.В., Ерохин С.А., Чонтоев Д.Т.  
zagivit@mail.ru

Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук  
Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Из всех горных долин Северного Тянь-Шаня долина реки Ала-Арча является самой населенной. Здесь расположен Государственный природный парк «Ала-Арча», живописная природа которого привлекает многочисленных туристов. Долина реки Ала-Арча является любимым местом отдыха жителей города Бишкек. На территории парка расположен гостевой дом Президента Кыргызской Республики, который неоднократно посещали главы иностранных государств. Однако для долины реки Ала-Арча характерна не только природная красота, но и активное развитие здесь опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП): камнепадов, обвалов, селевых потоков, прорывов горных озер. Многочисленные посетители Ала-Арчинского природного парка находятся в опасной зоне действия этих процессов. Поэтому очень остро стоит вопрос об обеспечении их безопасности. Для этого необходимо вести непрерывный мониторинг развития опасных ЭГП, чтобы предупредить людей в долине Ала-Арча о возможной угрозе их проявлений.*

*Ключевые слова: экзогенные геологические процессы (ЭГП), обвалы, селевые потоки, высокогорные озера, долина реки Ала-Арча.*

### Введение

В ущелье Ала-Арча, опасные экзогенные геологические процессы (ЭГП) по характеру своего формирования и развития, делятся на несколько типов:

- 1) русловые процессы: селевые потоки, паводки;
- 2) склоновые процессы: камнепады, осыпи, обвалы, снежные лавины.

Зоны действия опасных ЭГП ограничены определенными участками горных склонов и днищ главной и боковых долин. В местоположении таких участков по площади долины Ала-Арча прослеживается определенная закономерность: в нижней части долины преобладают русловые процессы, а по мере подъема по главной и боковой долинам количество участков опасного развития склоновых процессов значительно превышает количество процессов русловых (рис.1).

### Селевые потоки

Действию селевых потоков подвержены практически все боковые долины реки Ала-Арча. Это долины, Бойрок, Кадырберды, Карагай-Булак, Муратсай, Адыгене, Аксай, Текетор, Топкарагай, Джельдисуу. Наиболее селеактивными за последние пять лет были долины Карагай-Булак, Муратсай, Адыгене, Аксай.

В долинах Аксай и Адыгене возможно формирование селевых потоков особенно большой мощности, так как их образование обусловлено прорывами высокогорных озер, которые располагаются в верховьях этих долин (рис.2.).

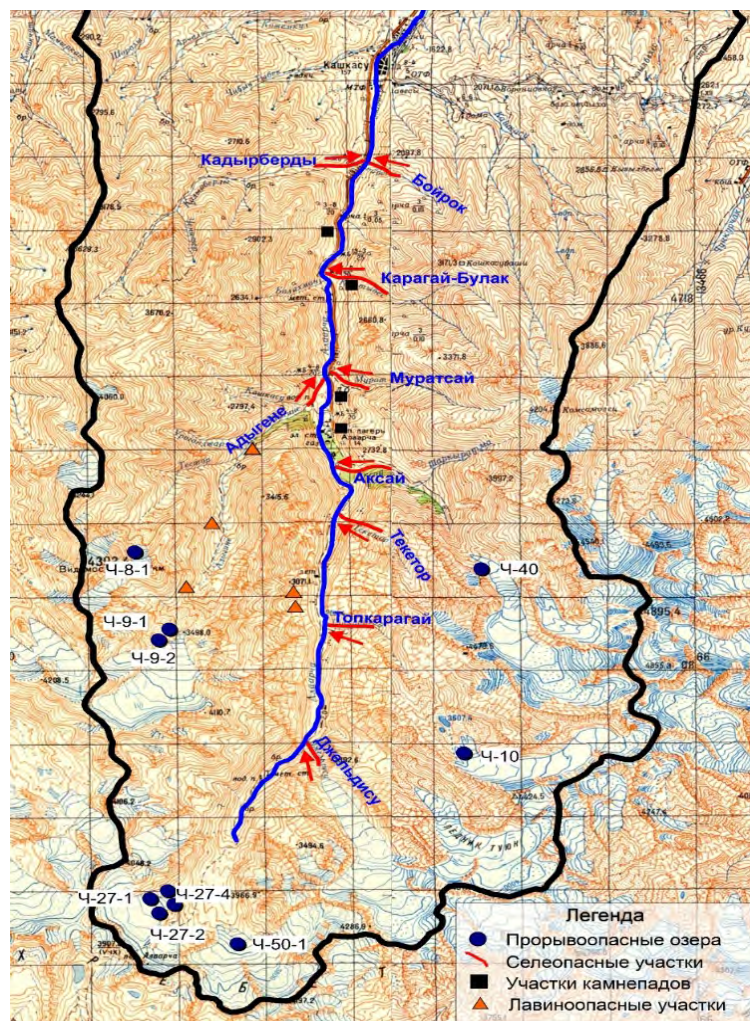


Рисунок 1 – Карта-схема расположения опасных участков



Рисунок 2 – Аксайский ледопад и прорывоопасное озеро Аксай

Озеро Аксай расположено в верховьях долины Аксай на высоте 3700 метров над уровнем моря. Аксайский ледопад и озеро Аксай являются источником мощных прорывных потоков, которые ниже по долине попадают в селевой очаг и трансформируются в нем в селевые потоки.

На знаменитом ледопаде ледника Аксай талые воды скапливаются в замкнутых ледниковых трещинах, которые под действием термокарстовых процессов, раскрываются

вглубь ледника, во внутриледниковые каналы стока и выводятся по ним на поверхность ниже по долине. При этом расход внутриледниковых потоков талых вод зависит от сечения каналов стока. Если сечение достаточно большое, то поверхностный сток превращается в катастрофический сброс воды в виде бурного потока расходом в десятки метров куб. в сек. Ниже по долине такой поток трансформируется в селевой поток и выходит в долину Ала-Арча, охватывая обширную зону селевого поражения на конусе выноса реки Аксай [1]. Подобные селевые потоки, различной мощности, были зарегистрированы здесь 5 июля 1960 г., 29 июля 1961 г., 21 августа 1965 г., 18 июня 1966 г., 13, 24 и 25 июля 1968 г., 24 июля 1969 г., 18 июля и 2 августа 1970 г., 18 июля и 3 августа 1980 г, в июне 1999 г. [2]. В зону селевого поражения попадает значительная часть территории Ала-Арчинского природного парка.

Прорывы внутриледниковых емкостей – это не единственный источник образования горных водных потоков большой мощности. Вторым таким источником является прорывы горных озер. Особенно опасное озеро находится в верховьях долины Адыгене. Это озеро Тезтор, которое уже прорывалось 22 июня 1953г, в июле 1968г, в июне 1988г. и 31 августа 2012 году [3, 4]. В результате прорыва озера Тезтор 31 августа 2012года разрушена часть территории зоны отдыха Чержаз (рис.3).



Рисунок 3 – Селевой поток в долине реки Ала-Арча после прорыва озера Тезтор

В долине реки Ала-Арча насчитывается до 10 прорывоопасных озер, на разных стадиях развития (рис.1). Их прорывные потоки способны трансформироваться в селевые потоки большой мощности. В зону их поражения попадает значительная часть территории Ала-Арчинского природного парка. Чтобы вовремя предупредить население долины Ала-Арча о селевой угрозе необходимо проводить постоянные наблюдения за состоянием горных озер. В настоящее время такой мониторинг проводится на базе высокогорной озерно-гляциологической базы «Адынене», которая расположена в верховьях долины Адыгене у языка одноименного ледника, на высоте 3700м (рис.4.). Наблюдения на высокогорной станции «Адыгене» позволяют прогнозировать вероятность прорыва моренно-ледниковых озер в центральной части Кыргызского хребта.



Рисунок 4 – Высокогорная озерно-гляциологическая станция «Адыгене»

Активно проявляют себя в долине Ала-Арча и селевые потоки ливневого типа, которые образуются после выпадения обильных дождевых осадков, обычно в мае-июне. Подобные селевые потоки могут образоваться во всех боковых притоках реки Ала-Арча. Особенно опасны те, которые могут перекрыть не только автодорогу Бишкек – Ала-Арча (рис.5), но и реку Ала-Арча, частично или полностью. В этом случае формируется паводок, который устремляется по руслу реки Ала-Арча в город Бишкек и затопливает обширные прибрежные участки, как это было в 1973г.



Рисунок 5 – Селевой поток из боковой долины ручья Мурат сай 29 июня 2015г перекрыл полотно автодороги

### **Обвально-осыпные процессы**

Комплекс обвально-осыпных процессов охватывает все горные склоны. В зависимости от морфологии склона и состава слагающих его пород действие процессов протекает более или менее активно и проявляется в различных формах: обвалов, камнепадов, обрушения, оплывания. Зона их действия распространяется не только на подножие склона, но и на прилегающие к нему участки днищ горных долин и межгорных впадин. Именно здесь, у подножий горных склонов, территории непригодные для земледелия, чаще всего занимают для жилья, строительства автодорог, водоканалов. Эта исторически сложившаяся система освоения земель в горных районах имеет негативную сторону в виде

обвально-осыпной угрозы для людей, проживающих или проезжающих под горными склонами.

Поскольку обвалы и осыпи имеют место на всех крутых горных склонах и отличаются разнообразием своих проявлений, то основным критерием степени их опасности стал характер угрозы, которую они представляют для населения. По своему характеру угрозы делятся на прямые и косвенные. В первом случае действие процесса угрожает жизни людей, разрушением построек и коммуникаций. Типичными примерами таких участков являются обвально-осыпные участки «Ала-Арча 36 (23)» (рис.6) и «Ала-Арча 41 (28)» (рис.7). Камнепады и обрушения склонов на этих участках угрожают завалом проезжающему по автодороге Бишкек – Ала-Арча транспорту. Участки с прямой угрозой обвально-осыпных процессов объединяются в группу особо опасных участков 1-ой категории.



Рисунок 6 – Участок камнепадов «Ала-Арча 36 (23) км» на 23км автодороги Бишкек – Ала-Арча



Рисунок 7 – Участок камнепадов «Ала-Арча 41 (28) км» на 28км автодороги Бишкек – Ала-Арча

Обвально-осыпной участок «Ала-Арча 36(23) км» на 23 км автодороги Бишкек-Ала-Арча образовался после искусственной подрезки склона карьером по добыче щебнисто-дресвяного материала, необходимого для отсыпки автодороги, разрушенной селевым потоком 22 июля 2003 года. Эксплуатация карьера была непродолжительной, так как возникла угроза обрушения склона при его подрезке. Карьер был закрыт, однако это не остановило процесс осыпания. Устойчивое равновесие склона было искусственно нарушено и склон до настоящего времени находится в активной стадии развития. Процесс осыпания активизируется при замачивании склона дождевыми и тальми водами. Для защиты

автодороги от камнепадов вдоль подножия осыпного участка была построена каменная стенка (рис.8). Однако стенка оказалась не способна защитить автодорогу от всех падающих камней, так как она не имеет достаточной высоты, чтобы прервать полет отдельных крупных камней, имеющих большую скорость и высоту подскока. Необходимо наращивать высоту защитной стенки.



Рисунок 8 – Защитная стенка на обвально-осыпном участке «Ала-Арча 36 (23) км»

На участке «Ала-Арча 41 (28)» автомобильной дороге угрожают обрушением каменные глыбы, нависающие над автодорогой, объемом 0,5-0,8 м<sup>3</sup>. Активность камнепадов значительно возрастает при ливневых дождях и снеготаянии.

Действие обвально-осыпных процессов на второй группе участков несет косвенную угрозу жизни населению долины реки Ала-Арча. Например, обрушение большого массива горных пород на обвальном участке «Карагайбулак» (рис.9) может перекрыть речку Карагайбулак плотиной, выше которой накопится вода и образуется озеро, прорыв которого приведет к прохождению по долине Ала-Арча разрушительного селевого потока и паводка. Степень опасности обвально-осыпных процессов на участках второй группы оценивается второй категорией.



Рисунок 9 – Обрушение большого массива горных пород на обвальном участке «Карагайбулак» может перекрыть р. Карагайбулак плотиной

На карте участков опасного развития ЭГП (рис.1) выделены участки «Ала-Арча 36 (23)», «Ала-Арча 41 (28)» и участок «Карагайбулак», где развитие обвально-осыпных участков представляет реальную прямую или косвенную угрозу жителям долины Ала-Арча. На остальной части площади горных склонов, охваченных обвально-осыпными процессами, выделение участков будет целесообразным по мере хозяйственного освоения этой площади. Пока же обвалы, камнепады, осыпи угрожают своими случайными проявлениями редким



посетителям этих мест: туристам, альпинистам, чабанам, которые хорошо знают, что любой горный склон несет в себе угрозу обвалов, в том числе снежных лавин, камнепадов, осыпания.

### **Снежные лавины**

Лавины представляют реальную угрозу для туристов и посетителей парка, поднимающихся по долинам Ала-Арча (рис.10) и Адыгене. Наиболее лавиноопасные участки указаны на карте-схеме (рис.1). Периоды схода снежных лавин совпадают с периодами снеготаяния. Обычно это происходит в марте-апреле в зависимости от снежности зимы и скорости роста весенних температур.



Рисунок 10 – Лавина из сая №4 по левому борту долины реки Ала-Арча, высота 2500

### **Заключение**

В данной работе дается обзор развития опасных экзогенных геологических процессов (ЭГП) в бассейне реки Ала-Арча с указанием конкретных участков их возможных проявлений. Приводится краткая характеристика ЭГП на этих участках, прогноз периода их активизации. Оценивается возможная угроза от действия этих потоков для автомобильной дороги Бишкек-Ала-Арча, для зоны отдыха Ала-Арчинского природного парка, для прибрежных сел вдоль русла реки Ала-Арча.

Для предупреждения населения об опасных проявлениях ЭГП в долине реки Ала-Арча необходим непрерывный мониторинг развития ЭГП.

### **Литература**

1. Zaginaev V., Ballesteros-Canovas J., Erokhin S., Matov E., Petrakov D., Stoffel M. Reconstruction of glacial lake outburst floods in Northern Tien Shan: Implications for hazard assessment. *Geomorphology* 269, 2016, pp. 75-84 [doi:10.1016/j.geomorph.2016.06.028](https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.06.028)
2. Ерохин С.А., Диких А.Н. Оценка опасности действия селевых и паводковых потоков на территории Ала-Арчинского национального парка // *Известия Национальной академии наук Кыргызской Республики*. 2003. № 4. С. 130-139.
3. Ерохин С.А., Загинаев В.В. Станция Адыгене // *Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики*. 8-е изд. с изм. и доп. Бишкек: Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики. 2011. С. 607-614.
4. Загинаев В.В. Прорыв моренно-ледникового озера Тез-Тёр (Северный Тянь-Шань) // *Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики*. 10-е изд. с изм. и доп. Бишкек: Министерство чрезвычайных ситуаций Кыргызской Республики. 2013. С. 563-570.

## ОБЗОР СЕЙСМИЧНОСТИ БАТКЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Кыдырова Л.Ш.

*leishakir12@gmail.com*

Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Баткенская область является одной из самых сейсмоактивных областей Кыргызстана. На её территории в среднем в год происходит 150-200 землетрясений с энергетическими классами  $K_p \geq 8$ , чем и обоснован интерес к изучению и анализу проявления здесь тектонических движений. В данной статье рассмотрены факторы проявления сейсмической активности на территории этой области.*

*Ключевые слова: сильные землетрясения, сейсмичность, типы подвижек, афтершоки, сейсмическая энергия.*

На глубине залегания палеозойского фундамента Ферганская впадина делится на две части – северную и южную. Если в последней глубина залегания колеблется от 0 до 1500 м во впадинах со значительными превышениями в поднятиях, то в северной части Ферганской депрессии она находится ниже уровня моря – от 2500 до 10000 м. Если южная часть впадины включилась в общее региональное поднятие с самых низов плейстоцена, то в северной части впадины со среднего плейстоцена произошла ее дифференциация: северная ее часть включилась в общее региональное поднятие, сформировав полосу адыров (низких предгорий), а южная – Центрально-Ферганская подзона – до сих пор сохранила отрицательный знак тектонических движений [1].

Отмечается определенное пространственное распределение типов подвижек. Для Центрального Тянь-Шаня надвиговые подвижки преобладают. Для Северного Тянь-Шаня кроме надвиговых подвижек довольно часты подвижки сдвига-сбросового типа. Очаги Южно-Ферганской зоны характерны тем, что практически все решения механизмов имеют существенную сдвиговую компоненту. Землетрясения со сбросовыми типами подвижек в очагах имеют тенденцию происходить не всегда, а появляться во времени группами [2].

Зона глубоких землетрясений (15–35 км), от которых в первых вступлениях прослеживаются скорости от 6,3 до 7,1 км/с, сужающейся полосой выходит из Ферганской впадины и в районе г. Ош поворачивает на северо-восток перпендикулярно линии Таласо-Ферганского разлома. Южная граница этой зоны проходит вдоль Южно-Ферганской системы разломов субширотного простирания. Там, где по мере продвижения на восток широтная ориентировка этой системы разломов меняется на северо-восточную, происходит поворот из зоны глубоких очагов. Скопление эпицентров глубоких землетрясений наблюдается вдоль Атайнокского разлома. Глубокие землетрясения прослеживаются также вдоль Восточно-Ферганского разлома. Вместе с тем, перемещения вдоль разломов, несомненно, также являются причиной возникновения землетрясений. Очевидным примером этого может служить серия землетрясений вдоль Южно-Ферганской системы разломов в 1976–1977 гг. В течение 4–6 лет перед Исфара-Баткенским землетрясением (1977) вся эта зона испытывала сейсмическое затишье. Активизация ее началась в 1976 г. с западного окончания и затем мигрировала в широтном направлении на восток, вдоль зоны субширотных краевых разломов [2].

На рисунке 1 приведена карта эпицентров землетрясений с  $K_p \geq 8$  зоны, ограниченной координатами:  $\varphi = 39.2^\circ - 40.4^\circ \text{ N}$ ,  $\lambda = 69.0^\circ - 73.0^\circ \text{ E}$ , за период с 1975 по 2019 гг. С 1975 года энергетический класс  $K_p = 8$  для этой зоны является представительным.

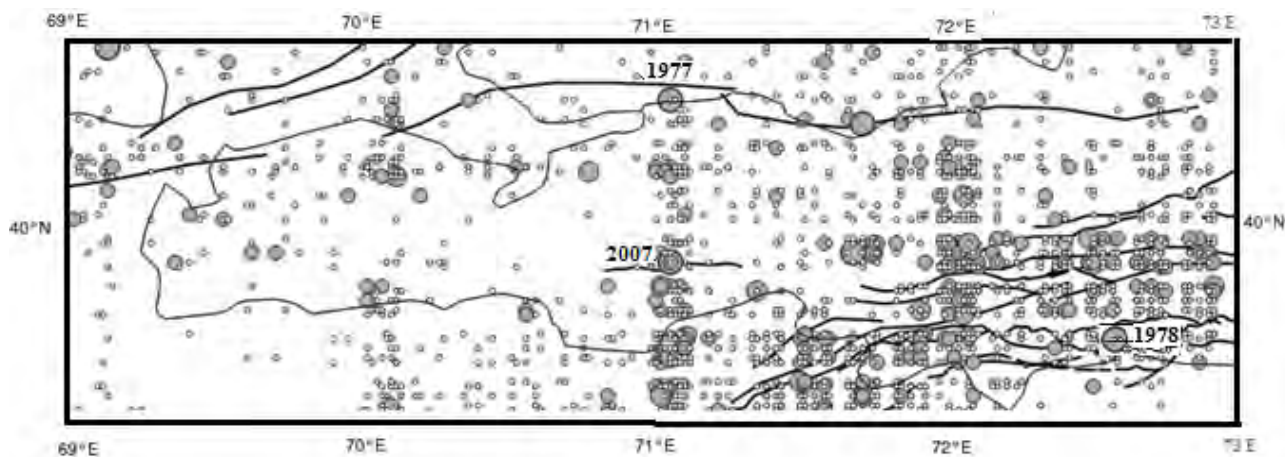


Рисунок 1 – Карта эпицентров землетрясений с  $K_p \geq 8$  за период с 1975 по 2019 гг.

На рисунке 2 показано распределение землетрясений и выделенной сейсмической энергии в Джоулях по годам за период с 1975 по 2019 гг.

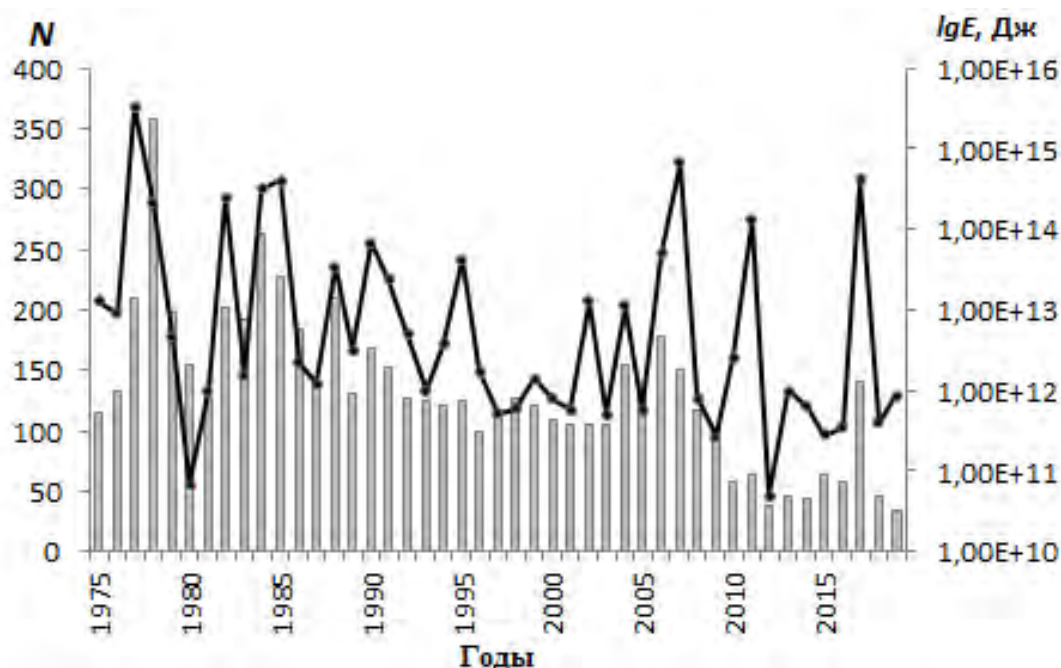


Рисунок 2 – Распределение землетрясений и выделенной сейсмической энергии в Джоулях по годам

Максимум выделенной сейсмической энергии приходится на 1977 и 1978 гг., когда произошли Исфара-Баткенское с  $K_p=15.5$  и Дараут-Курганское с  $K_p=16.0$  землетрясения. К 1980-му году был спад выделенной энергии. Следующие пики энергии наблюдались в 1982, 1984 и 1985 гг., когда произошли землетрясения 14-го энергетического класса. Далее, с чередованием всплесков и падений, наблюдался общий спад выделенной энергии вплоть до 2007 г., когда 8 января произошло землетрясение с  $K_p=14.8$ . Очередные всплески энергии были в 2011 и 2017 гг., обусловленные двумя землетрясениями с  $K_p=14$ . В 2019 году следует отметить минимум количества землетрясений и выделенной энергии за весь период наблюдений, начиная с 1975 года.

Исфара-Баткенское землетрясение, произошедшее 31 января 1977 г., отличалось большим количеством афтершоков. Все афтершоки зафиксированы в непосредственной близости от главного толчка, образуя густое скопление. Если рассматривать перемещение афтершоков во времени, то оказывается, что очаги на глубине 6–11 км перемещались в широтном направлении с запада на восток, а одновременно с этим на глубине 11–15 км они

перемещались в противоположном направлении. Когда афтершоки достигли дневной поверхности, следующие во времени афтершоки стали постепенно погружаться. Затем появились глубокие афтершоки. Часть из них произошла вблизи основного толчка, в зоне глубинного разлома, ограничивающего Исфара-Баткенский блок с запада. Остальные глубокие афтершоки стали перемещаться на восток в виде единичных событий вдоль разломов широтного простирания. Сложность пространственных перемещений в очаге Исфара-Баткенского землетрясения отразилась и на характере его записей на сейсмограмме [2, 3].

В районе наблюдений было установлено существование двух типов очагов с существенно отличающимися закономерностями излучения продольных и поперечных волн. К первому из них относятся сколы, ко второму – очаги с квазиоднородным излучением продольных и поперечных волн. Характеристики излучения очагов сколовых землетрясений находятся в хорошем согласии с результатами теоретических и лабораторных исследований дислокационных источников. Можно с уверенностью говорить, что в их очагах происходят элементарные подвижки по поверхностям уже существующих разломов со скоростями, составляющими примерно 0,7–0,8 от скорости распространения продольной волны [2].

Основной толчок Дараут-Курганского землетрясения находился на той же глубине, что и Баткенское землетрясение ( $H=16$  км), а его афтершоковая деятельность происходила в узкой зоне глубинного Кумбель-Кокандского поперечного разлома [4].

Ещё одно сильное землетрясение района наблюдений произошло 8 января 2007 года с  $Kp=14.8$  в отрогах восточной части Туркестанского хребта и так же, как и предыдущие землетрясения, сопровождалось многочисленными афтершоками [5].

Землетрясениям, приуроченным к Южно-Ферганской системе разломов, присущи некоторые специфические свойства. Начальные части записей этих землетрясений состоят чаще всего из двух волновых цугов. При этом оказалось, что в первом и втором цугах знаки вступлений могут совпадать, либо линии смены знаков для первого и второго цугов могут быть смещены. На амплитудной розе максимальных фаз наблюдается в два раза больше лепестков, чем для единичной подвижки. Возможно, что в их очагах происходят вторичные подвижки, но уже под некоторым углом к первым и тогда направления простирания лепестков амплитудных роз первой и второй подвижек будут смещены, что и приведет к вдвое большему количеству лепестков амплитудной розы. Периоды колебаний как продольных, так и поперечных волн от этих землетрясений в среднем на 0,1 сек больше, чем для землетрясений, происходящих в районе северо-восточного обрамления Ферганской впадины, т.е. сейсмические волны от этих очагов менее “жесткие” [2].

### Литература

1. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1986. 312 с.
2. Грин Т.П., Кальметьева З.А. Определение скоростных разрезов и глубин землетрясений при детальном сейсмологическом наблюдении // Геолого-геофизическая характеристика сейсмогенных зон Киргизии. Фрунзе: Илим. 1978. С. 13-30.
3. Морева Л.М. Пространственно-временной ход сейсмичности района Исфара-Баткенского землетрясения // Методы и результаты исследования сейсмоактивных зон Киргизии. Фрунзе: Илим. 1982. С. 57-67.
4. Кальметьева З.А., Лесик О.М. О связи афтершоков Исфара-Баткенского и Хайдарканского землетрясений с разрывной тектоникой // Геофизические исследования сейсмогенных зон Киргизии. Фрунзе: Илим. 1983. С. 18-34.
5. Землетрясения Северной Евразии, 2007 год. Обнинск: Геофизическая служба РАН. 2013. 506 с.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД

Тажибаев К.Т., Маканов К.М., Тажибаев Д.К.  
*kushbak@yandex.ru*

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Приведена формула, отражающая закономерность изменения относительной величины скорости поперечной (сдвиговой) поляризованной ультразвуковой волны в зависимости от знака и уровня механического напряжения в твердых материалах, которая применена для предварительного определения показателя остаточных напряжений горных пород в стадии проектирования шахты, рудника, карьера, угольного разреза. Представлены результаты исследования изменения остаточных напряжений горных пород после воздействия на образцы пород мощных полей сверхвысоких частот (СВЧ). Установлено, что величина и знак напряжения, в том числе остаточного, определяется и зависит главным образом от акустического показателя напряженности – разности скоростей сдвиговых поляризованных волн, при постоянной базе прозвучивания, для случаев измерения, когда векторы поляризации взаимно перпендикулярны. Эта величина позволяет проводить предварительную оценку знака и уровня остаточных напряжений в разных направлениях, не проводя трудоемкие определения волнового модуля напряжения горной породы.*

*Ключевые слова: горная порода, остаточное напряжение, ультразвук, поляризованная волна, скорость волн, вектор поляризации.*

В ряде случаев остаточные напряжения, особенно в зонах их высокой концентрации, могут приводить к аномальным, скачкообразным и знакопеременным изменениям деформации, после чего как правило происходит динамическое разрушение горных пород в достаточно больших объемах породного массива. В зависимости от масштаба динамического разрушения горных пород, данный процесс может рассматриваться как стрельба горных пород, горный удар, а в ряде случаев происходит взрывоподобное разрушение горных пород в крупномасштабном очаге, следствием которого является землетрясение [1,2]. Для решения проблемы прогноза или предотвращения указанных нежелательных разрушений горных пород при разработке месторождений полезных ископаемых весьма важно установить зоны концентрации остаточных напряжений. Для эффективной и безопасной разработки полезных ископаемых возникает необходимость предварительного определения знака и уровня остаточных напряжений в участках шахтного поля в стадии проектирования шахты, рудника, карьера или угольного разреза.

Для определения компонент действующих или остаточных напряжений в трех ортогональных направлениях была получена формула, отражающая закономерность изменения относительной величины скорости поперечной (сдвиговой) поляризованной ультразвуковой волны в зависимости от знака и уровня механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) [3,4]:

$$\sigma_X = \left(\frac{V_{SOZ}}{V_{SZ}} - 1\right)K_Z; \sigma_Y = \left(\frac{V_{SOX}}{V_{SX}} - 1\right)K_X; \sigma_Z = \left(\frac{V_{SOY}}{V_{SY}} - 1\right)K_Y, \quad (1)$$

где  $\sigma_X$ ,  $\sigma_Y$ ,  $\sigma_Z$  - нормальное напряжение по  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  соответственно;

$K_X$ ,  $K_Y$ ,  $K_Z$  – волновой модуль напряжения (название наше) по направлениям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  соответственно;

$V_{SX}$ ,  $V_{SY}$ ,  $V_{SZ}$  – скорость прохождения через определенную базу напряженного материала сдвиговой (поперечной) поляризованной ультразвуковой волны по направлениям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  соответственно;

$V_{SOX}$ ,  $V_{SOY}$ ,  $V_{SOZ}$  – скорость сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны по направлениям  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  при отсутствии напряжения (не нагруженное состояние, без остаточных напряжений).

Для изотропных материалов  $K_X=K_Y=K_Z=K$ . Для анизотропных (слоистых, кристаллических анизотропных) материалов значение волнового модуля напряжения  $K$  определяется по соответствующим направлениям.

Значение  $K$  определяется в лабораторных условиях из опытов прозвучивания при нагружениях и разгрузке образцов. Проводится по 5-10 определений значений  $K$  при нагружении и разгрузке образца представительного объема исследуемого материала. Значение  $K$ , как характеристика материала, определяется как среднее из единичных значений, полученных при прозвучивании в процессе нагружения и разгрузке образца материала. Следует отметить, что величину  $K$  необходимо определять для характерного, то есть представительного объема, так как данный модуль зависит от структуры и вещественного состава материала. В связи с этим для определения величины  $K$  предлагаем следующие размеры призматического образца: для тонкозернистых материалов  $5 \times 5 \times 10$  см; крупнозернистых –  $7 \times 7 \times 14$  см.

Экспериментальное определение волнового модуля напряжения материала ( $K$ ) проводится в следующей последовательности [3]:

1. На боковые грани призмы, с размерами указанной выше, в средней части устанавливается излучатель и приемник сдвиговой ультразвуковой волны, совместив их вектора поляризации между собой и с направлением сжимающего напряжения ( $\sigma_Z$ );

2. Измеряется скорость ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны при отсутствии нагрузки (напряжения) –  $V_{SOY}$ ;

3. Ступенчато гидравлическим прессом нагружается призма и на каждой ступени одноосно сжимающей нагрузки (через каждый 1000 или 2000 кГс нагрузки) определяется скорость поляризованной сдвиговой волны –  $V_{SY}$ ;

4. Для каждой ступени нагрузки определяется напряжение  $\sigma_Z$ , разделив нагрузку (по силоизмерителю пресса) на площадь поперечного сечения призмы;

5. По формуле 1 определяются значения волнового модуля напряжения  $K$  и среднее значение принимается для дальнейших расчетов.

Измерения скорости ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны и определение значений  $K$  можно проводить также и при разгрузке.

При известном значении волнового модуля напряжения, измерив относительной величины скорости сдвиговой поляризованной ультразвуковой волны можно определять напряжения по формуле 1.

Как видно из формулы 1, знак напряжения зависит от величины  $(\frac{V_{SO}}{V_S} - 1)$  и эту

разность мы обозначили, как  $\omega$  и назвали акустическим показателем напряженности, так как величина и знак напряжения, в том числе остаточного, определяется и зависит главным

образом от этого параметра. Например, при  $\frac{V_{SO}}{V_S} > 1$  знак напряжения положительный, то есть

напряжение растягивающее, а при значении данного отношения  $< 1$ , знак отрицательный, то есть напряжение сжимающее.

Для предварительного определения знака и уровня остаточных напряжений горной породы сначала необходимо определять акустический показатель остаточных напряжений  $\omega$ , а затем после определения волнового модуля напряжения  $K$  определяется величины остаточных напряжений по разным направлениям. Следует отметить, что для определения акустического показателя напряженности важно более точно определять скорость

поляризованной сдвиговой волны для ненагруженного состояния  $V_{SO}$  (для направления, где остаточное напряжение отсутствует, или близко к нулю). Экспериментальные исследования показали, что по признаку равенства скоростей сдвиговых поляризованных волн, для двух случаев, когда направления по вектору поляризации преобразователей ультразвуковых волн взаимно перпендикулярны (при постоянной базе измерения), то есть когда разность этих скоростей равна или близка к нулю (один из признаков отсутствия остаточных напряжений -  $V_{SP} = V_{SH}$  или  $V_{SP} - V_{SH} \cong 0$ ) можно установить величину скорости сдвиговой волны для случая отсутствия остаточных напряжений -  $V_{SO}$ . Для определения величины этой скорости и нахождения участка, где остаточное напряжение отсутствует или близко к нулю, прозвучивания проводятся по разным местам и направлениям, синхронно поворачивая направления вектора поляризации преобразователей через 1 или 10° от нуля до 360°. Для исследований можно применять образцы кубической или цилиндрической формы. Для определения компонент остаточных напряжений по трем взаимно перпендикулярным направлениям применяются образцы кубической формы с размером, обеспечивающим представительность изучаемой горной породы (рисунок 1).

Как известно, при тепловом воздействии, особенно путем воздействия СВЧ волнами, механические свойства горных пород существенно изменяются, и при этом имеющиеся в горной породе генетические остаточные напряжения, в зависимости от уровня температуры, или продолжительности воздействия СВЧ волн, могут разгружаться или наоборот увеличиваться в виде растягивающих или сжимающих остаточных напряжений. Как правило, эти остаточные напряжения, даже в не больших объемах, неоднородны по величине и по знаку. Для изменения структурного состояния и изучения остаточных напряжений нами образцы горных пород подвергались воздействию СВЧ волнами, и результаты исследований сравнивались с данными образцов исходного состояния (необлученные образцы).

Ниже приводятся результаты исследования изменения состояния горных пород после воздействия на образцы пород мощных полей сверхвысоких частот (СВЧ). Особое внимание было уделено к изменению остаточных напряжений. При этом для анализа были рассмотрены изменения акустического показателя остаточного напряжения  $\omega$ , то есть величина разности скоростей сдвиговых поляризованных волн, при постоянной базе прозвучивания, для случаев измерения, когда вектор поляризации взаимно перпендикулярны, так как, как указано выше, было установлено, что указанная разность отражает величину и знак остаточных напряжений [3].



Рисунок 1 – Определение скорости поляризованной сдвиговой волны в разных направлениях кубического образца через 10 градус по X, Y, Z

В качестве объекта изучения были взяты цилиндрические образцы горных пород. Для облучения образцов использовалась СВЧ печь (микроволновая печь). Длительность облучения изменялось от 1 мин до 9 мин через каждый 2 мин. Как известно, микроволны СВЧ облучения представляют собой форму энергии, аналогичную электромагнитным волнам, используемым в радио- и телевизионном вещании. Обычно электромагнитные волны распространяются наружу через атмосферу и исчезают в пространстве без следа. А в микроволновых печах имеется магнетрон, который сконструирован таким образом, чтобы можно было использовать энергию, содержащуюся в микроволнах. Электричество, проводимое магнетрону, используется для генерации микроволновой энергии. Микроволны проникают в зону воздействия через отверстия внутри печи. В печи можно выбирать 5 уровней микроволновой мощности. Нами использован уровень мощности – 700 Вт. Частота микроволн – 2450 МГц. Цилиндрические образцы горной породы помещались вовнутрь печи и облучались СВЧ - импульсами. Результаты исследований приведены на рисунках 2, 3 и 4. Из рисунков видно, что время воздействия СВЧ волн оказывает неоднозначное влияние на структурное состояние – на показатель остаточного напряжения данной породы. На рисунке 2, в качестве примера, представлен интересный результат, где видно, что в исходном состоянии имелись незначительные сжимающие и растягивающие остаточные напряжения, которые в три-четыре раза увеличились в виде растягивающего напряжения после 5 минутного воздействия СВЧ волнами.

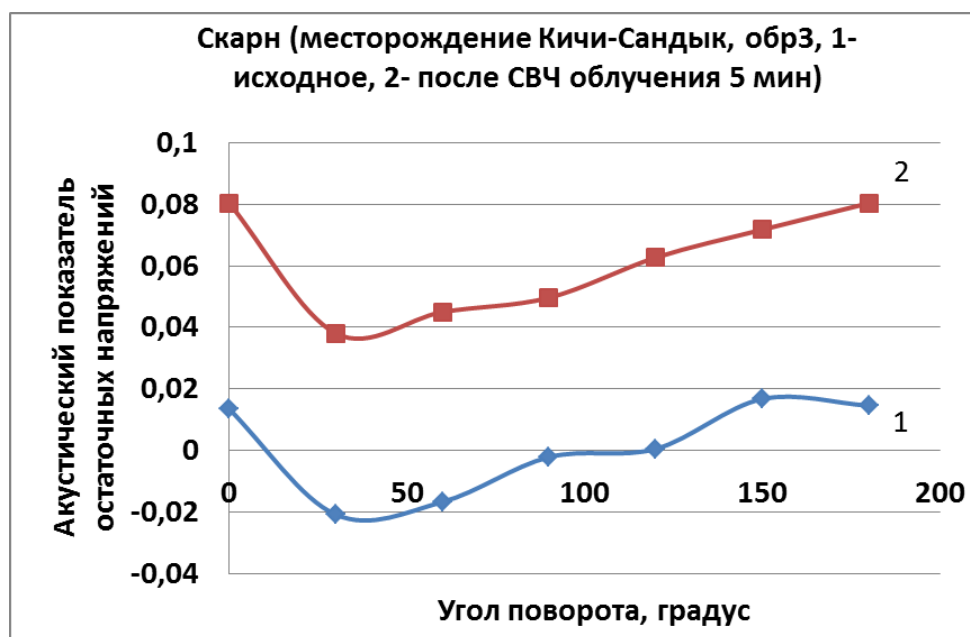


Рисунок 2 – Графики акустического показателя остаточных напряжений (Скарн, Кичи-Сандык, обр.3, 1-исходное состояние, 2- после воздействия СВЧ волнами 5 минут)

Исходя из графиков рис. 2 следует отметить пропорциональное изменение показателя остаточных напряжений, после воздействия СВЧ волн на образец, для всех направлений (углов поворота) с сохранением характера распределения остаточных напряжений по всему объему исходного образца. Данный факт свидетельствует о равномерности воздействия СВЧ волн и о достоверности полученных результатов, а также о возможности воспроизводства (повторения) опытов.

На рис. 3 и 4 представлены результаты исследования акустического показателя остаточных напряжений образцов горных пород месторождения Кыртабылгы для исходного и облученного СВЧ волнами состояния.



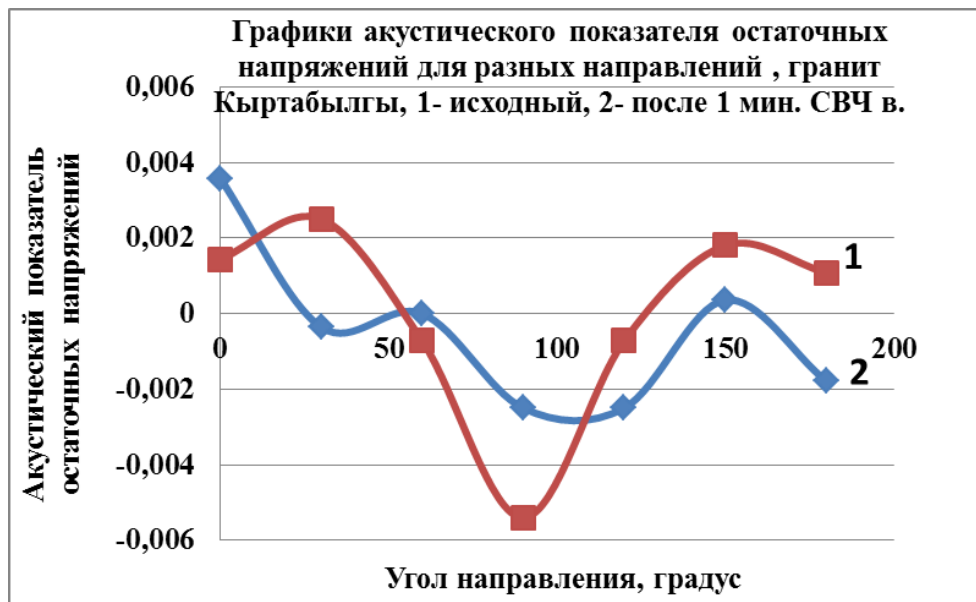


Рисунок 3 – Графики акустического показателя остаточных напряжений (гранит, Кыртабылгы, обр.2, 1-исходное состояние, 2- после воздействия СВЧ волнами 1 минут)



Рисунок 4 – Графики акустического показателя остаточных напряжений (гранит, Кыртабылгы, обр.6, 1-исходное состояние, 2- после воздействия СВЧ волнами 9 минут)

Как видно из рисунков 3 и 4, от продолжительности воздействия СВЧ волн не однозначно изменяется акустический показатель остаточных напряжений. Например, при воздействии СВЧ волн в течении 1 минуты происходит значительное уменьшение как сжимающих, так и растягивающих напряжений, что может обуславливать разупрочнение горной породы, а при дальнейшем увеличении времени воздействия, в частности при воздействии в 9 минут формируются значительные растягивающие остаточные напряжения.

В результате этих исследований установлено, что величина и знак остаточного, напряжения определяется и зависит, главным образом, от акустического показателя напряженности  $\omega$ , которая позволяет проводить предварительную оценку знака и уровня этих напряжений в разных направлениях, не проводя трудоемкие определения волнового модуля напряжения горной породы.

### Литература

1. Тажибаев К.Т. Условия динамического разрушения горных пород и причины горных ударов. Фрунзе: Илим, 1989. 179 с.
2. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. В 2 т. Т. 1. Бишкек: Алтын Принт. 2016. 352 с.
3. Тажибаев К.Т. Напряжения, процессы деформации и динамического разрушения горных пород. В 2 т. Т. 2. Бишкек: Алтын Принт. 2016. 357 с.
4. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К., Акматалиева М.С. Закономерность изменения относительной величины скорости прохождения ультразвуковой поляризованной сдвиговой волны от механического напряжения в твердых материалах (закон Кушбакали) / Диплом № 453 на научное открытие от 3 окт. 2013 г., г. Москва. Международная академия авторов научных открытий и изобретений, Российская академия естественных наук // Научные открытия - 2013. Сб. кратких описаний. М.: РАЕН. 2014. С. 48-50.

## ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ МАГНИТУДОЙ $M=5.9$

Малимбаев А.М., Мукашева С.Н., Соколова О.И.

*nanozavr@mail.ru*

Институт ионосферы АО «Национальный центр космических исследований и технологий»,  
г. Алматы, Республика Казахстан

*В настоящей работе приведены результаты исследования геомагнитных вариаций в период землетрясения магнитудой  $M=5.9$ , произошедшего 3 сентября 2018 г. в регионе Southern Xinjiang, China, на расстоянии 410 км от г. Алматы [43.25°N; 76.95°E]. Показано, что примерно за два часа до землетрясения  $M=5.9$  наблюдаются квазигармонические флуктуации с периодами около 480 с – 600 с, с амплитудой от 1 до 2 нТл. Секундные записи X, Y, Z-компонент геомагнитного поля показывают квазигармонические возмущения с периодом порядка 220 с - 240 с примерно за час до землетрясения.*

*Ключевые слова: геомагнитное поле, землетрясение.*

### Введение

Исследование геомагнитных эффектов в периоды активизации сейсмических явлений близ города Алматы [43.2°N; 76.9°E] определяется тем, что южная столица Казахстана расположена в сейсмически активном внутриконтинентальном горном поясе Северного Тянь-Шаня. Сейсмичность в этом регионе обусловлена продолжающимися столкновениями плит Индия и Евразия, что приводило к серии разрушительных землетрясений в (и до) 20-го века. Палеосейсмические исследования показывают, что регион имеет потенциал для возникновения катастрофических землетрясений магнитудой  $M>7.0$  [1]. По состоянию на сегодняшний день магнитный эффект при тектонических событиях обнаружен в широком диапазоне частот, продолжительность этого эффекта варьирует от нескольких минут до нескольких месяцев [2]. В разных, с геологической точки зрения, сейсмоопасных регионах планеты предвестники крупных сейсмических событий проявляют себя по-разному [3]. Геомагнитные эффекты были обнаружены в ультранизкочастотном диапазоне за несколько часов до Спитакского землетрясения, Армения, магнитудой  $M=6.9$ , произошедшего 7.12.1988 г., до землетрясения Лома-Приета (Калифорния, США) 17.10.1989 г. ( $M_s = 7.1$ ) [5, 6], при Сычуаньском землетрясении (Китай) 20.04.2013 г. ( $M_s=7.0$ ) [4, 5], и в ряде других мощных землетрясений [2, 6].

В настоящей работе приведены результаты исследования геомагнитных вариаций в период землетрясения магнитудой  $M_b=5.9$ , энергетический класс  $K=12.9$ , глубина эпицентра – 10 км, произошедшего 3 сентября 2018 г. в 21:52 UT в регионе Southern Xinjiang, China, координаты эпицентра [39.3941°N; 76.8783°E], на расстоянии 410 км от г. Алматы [43.25°N; 76.95°E].

### Эмпирические данные

В работе для выяснения особенностей поведения магнитного поля в период землетрясения 3 сентября 2018 г. использовались измерения трёх компонент геомагнитного поля, полученные на обсерватории «Алма-Ата». Обсерватория «Алма-Ата» ([geomag.ionos.kz](http://geomag.ionos.kz); <http://89.250.81.120/index.html>) единственная в Средне-Азиатском регионе геомагнитная обсерватория, входящая в состав международной сети INTERMAGNET, международный код обсерватории – ААА; географические координаты [43.25°N; 76.95°E]; геомагнитные координаты [34.3°N, 152.7°E]. Регистрация в реальном времени секундных вариаций X-, Y-,

Z-компонент геомагнитного поля проводится на базе феррозондовых магнитометров Lemi-008 и Lemi-018M.

Для анализа гелио-геофизической обстановки использованы данные измерений магнитометров ИСЗ ACE (Advanced Composition Explorer), запущенного NASA (National Aeronautics and Space Administration) в рамках программы исследования Солнца и космического пространства (<http://cdaweb.gsfc.nasa.gov>), и данные геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» ([geomag.ionos.kz](http://geomag.ionos.kz)).

*Геомагнитная обстановка.* Проведен детальный анализ геомагнитной обстановки на основе наземных и спутниковых геофизических данных в период землетрясения 3 сентября 2018 г. ( $m_b=5.9$ ;  $m_{pv}=5.5$ ). Общее гелиогеофизическое состояние на основе данных ИСЗ ACE накануне, во время и после рассматриваемого землетрясения показано на рисунке 1. На панелях рисунка 1 приведены вариации минутных значений скорости солнечного ветра и полного вектора межпланетного магнитного поля  $B$  и его компонент  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  в GSM (Geocentric Solar Magnetospheric) системе координат по данным измерений магнитометра ИСЗ ACE в период с 1 по 5 сентября 2018 г. В рассматриваемом временном интервале с 1 по 5 сентября 2018 г. скорость солнечного ветра плавно изменялась в пределах от 320 км/с до 420 км/с; значения полного вектора межпланетного магнитного поля  $B$  и его компонент  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  изменялись в пределах от 2 нТл до 8 нТл, что соответствует условиям магнитоспокойных дней.

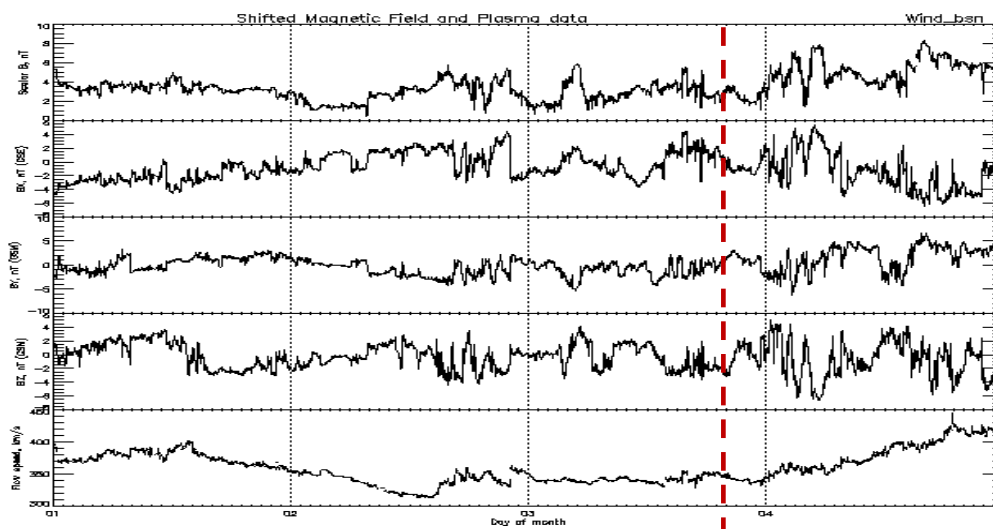


Рисунок 1 – Вариации минутных значений скорости солнечного ветра, полного вектора межпланетного магнитного поля  $B$  и его компонент  $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$  в GSM системе координат с 1 по 5 сентября 2018 г. по данным измерений магнитометра ИСЗ ACE. Момент землетрясения ( $M_b=5.9$ ) 3 сентября 2018 года в 21:52 UT помечен вертикальной пунктирной красной линией

### Геомагнитные возмущения низкочастотного диапазона при землетрясении магнитудой землетрясения магнитудой $M=5.9$

На рисунке 2 приведены минутные записи вариаций параметров геомагнитного поля по трем компонентам ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) в день сейсмического события магнитудой  $M=5.9$ , энергетическим классом  $K=12.9$ , глубиной эпицентра – 10 км, произошедшего 3 сентября 2018 г. в 21:52 UT в регионе Southern Xinjiang, China, на расстоянии 410 км от г. Алматы [43.25°N; 76.95°E].

На рисунке 3 приведен фрагмент минутных записей вариаций геомагнитного поля за 3 сентября 2018 г. во временном интервале от 18:00 до 23:00 UT. Видно, что примерно за два часа до землетрясения  $M=5.9$  с 20:00 UT наблюдаются квазигармонические флуктуации с периодами около 480 с – 600 с, с амплитудой от 1 до 2 нТл. А на рисунке 4 приведены секундные записи  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ -компонент геомагнитного поля: квазигармонические возмущения в

низкочастотном диапазоне по  $X$ - и по  $Z$ -компоненте с периодом порядка 220 с – 240 с наблюдаются примерно за час до землетрясения. По мере приближения к моменту основного толчка (21:52 UT) период не остается постоянным, он возрастает и достигает величины 280 с.

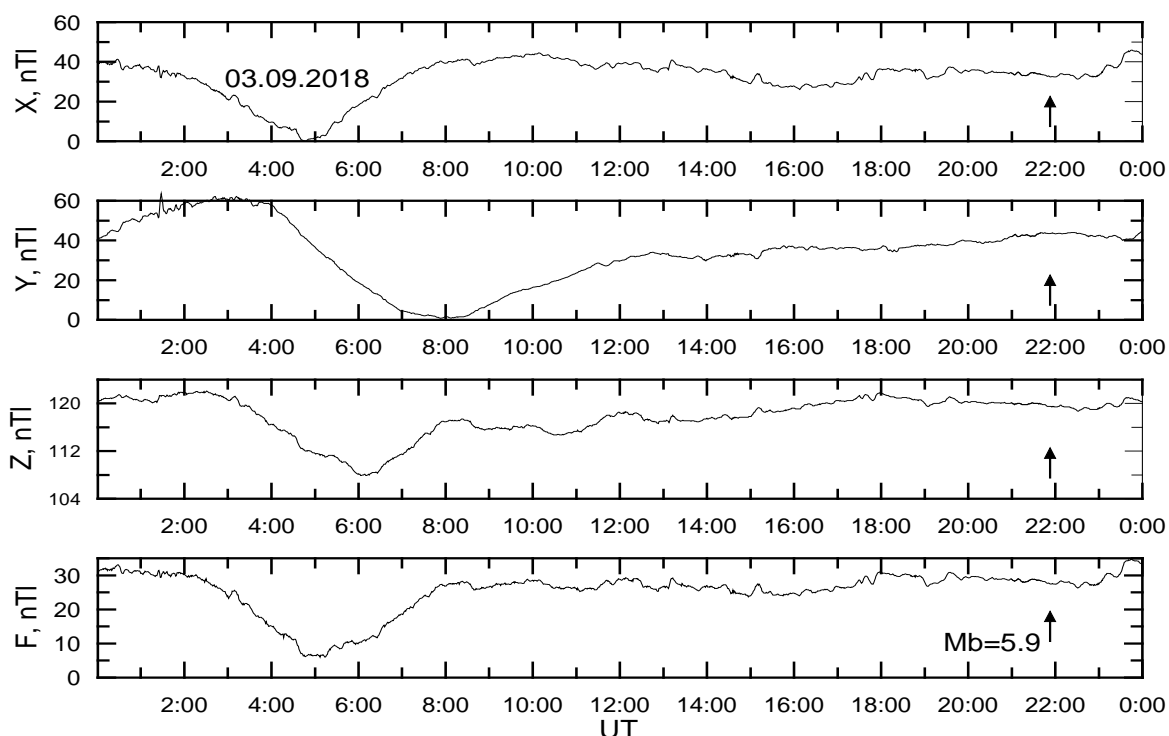


Рисунок 2 – Минутные записи  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ -компонент и полного вектора  $F$  геомагнитного поля по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» за 3 сентября 2018 г. в день землетрясения  $Mb=5.9$ . Стрелкой указан момент землетрясения  $Mb=5.9$

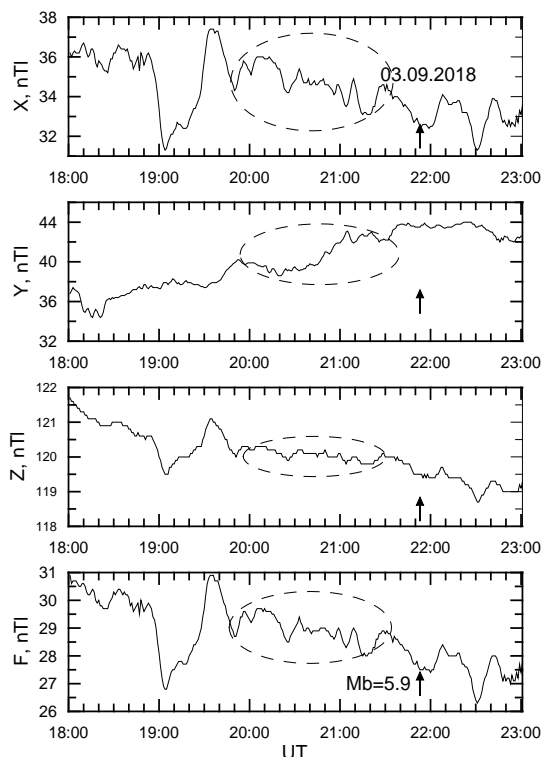


Рисунок 3 – Фрагмент минутных записей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ -компонент и полного вектора  $F$  геомагнитного поля по данным геомагнитной обсерватории «Алма-Ата» за 3 сентября 2018г. во временном интервале от 18:00 UT до 23:00 UT. Стрелкой указан момент землетрясения  $Mb=5.9$

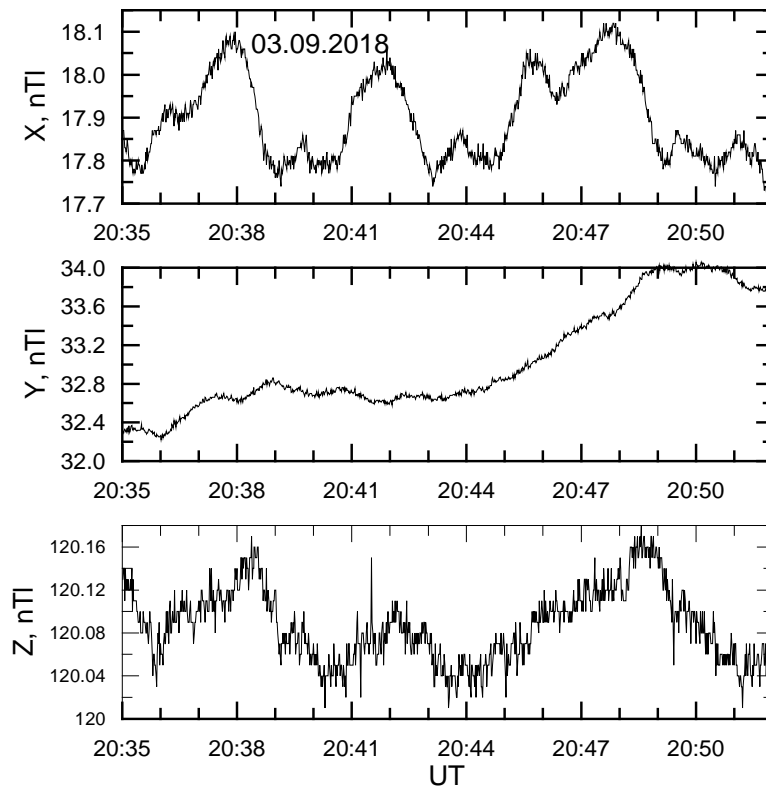


Рисунок 4 – Фрагмент секундных записей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ -компонент геомагнитного поля 3 сентября 2018 г. с 20:35 UT до 20:52 UT

### Заключение

На основе измерений магнитометров ИСЗ АСЕ и измерений обсерватории «Алма-Ата» [43.25°N; 76.95°E] изучена геомагнитная обстановка в период землетрясения магнитудой  $M_b=5.9$ , энергетический класс  $K=12.9$ , глубина эпицентра – 10 км, произошедшего 3 сентября 2018 г. в 21:52 UT в регионе Southern Xinjiang, China, на расстоянии 410 км от г. Алматы [43.25°N; 76.95°E]. Спокойная геомагнитная обстановка по данным ИСЗ АСЕ позволяла провести исследования для региона Северного Тянь-Шаня эффектов геодинимических процессов в вариациях параметров геомагнитного поля в низкочастотном диапазоне от 0.002 Гц до 0.01 Гц. Примерно за два часа до землетрясения  $M=5.9$  наблюдаются квазигармонические флуктуации с периодами около 480 с – 600 с, с амплитудой от 1 до 2 нТл. Секундные записи  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ -компонент геомагнитного поля примерно за час до землетрясения показывают квазигармонические возмущения с периодом порядка 220 с – 240 с. По мере приближения к моменту основного толчка землетрясения период не остается постоянным, он возрастает и достигает величины 280 с.

Современная концепция механизма наблюдаемых низкочастотных вариаций параметров геомагнитного поля: геофизические поля испытывают влияние процессов раскрытия микротрещин. В частности, естественно ожидать увеличение газовой и флюидной проницаемости областей земной коры, в которых происходит этот процесс. Разуплотнение пород за счет увеличения суммарного объема трещин, в свою очередь, обуславливает появление локальных аномалий гравитационного и геомагнитного полей там, где поле локальных тектонических напряжений вызывает активизацию процесса трещинообразования [3].

Работа выполнена при поддержке программно-целевого финансирования научно-технической программы О.0799 Аэрокосмическим комитетом Министерства оборонной и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан, проект № 0118РК00799.

## Литература

1. Тимуш А.В. Сейсмотектоника литосферы Казахстана. Алматы: Luxe Media Group. 2011. 590 с.
2. Рябова С.А. Геомагнитный эффект сильного землетрясения Тохоку 2011 года // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2019. № 4. С. 137-151.
3. Собисевич Л.Е., Собисевич А.Л. Дилатансные структуры и электромагнитные возмущения УНЧ диапазона на этапах подготовки и развития крупного сейсмического события // Вестник ОНЗ РАН. 2010. Т. 2. С. 202-213.
4. Molchanov O.A., Kopytenko Yu.A., Voronov P.M., Kopytenko E.A., Matiashvili T.G., Fraser-Smith A.C., Bernardi A. Results of ULF magnetic field measurements near the epicenters of the Spitak ( $M_s = 6.9$ ) and Loma Prieta ( $M_s=7.1$ ) earthquakes: Comparative analysis // Geophysical Research Letters. 1992. Vol. 19. P. 1495-1498.
5. Kopytenko Y.A., Matiashvili T.G., Voronov P.M., Kopytenko E.A., Molchanov O.A. Detection of ultra-low frequency emissions connected with the Spitak earthquake and its aftershock activity, based on geomagnetic pulsations data at Dusheti and Vardzia observatories // Physics of the Earth and Planetary Interiors. 1993. Vol. 77. P. 85-95.
6. Собисевич А.Л., Рогожин Е.А., Собисевич Л.Е., Канониди К.Х., Кендзера А.В., Марченко А.В., Орлюк М.И. Возмущения геомагнитного поля при Сычуаньском землетрясении 20 апреля 2013 г. ( $M_s=7.0$ ) // Геофизический журнал. 2014. Т. 36. № 4. С. 37-49.

## НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И УТОЧНЕНИЕ ЗАКОНА ПОВТОРЯЕМОСТИ ГУТЕНБЕРГА – РИХТЕРА

Мамбетова Г., Омуралиева А., Омуралиев М.

*gulnura.890@mail.ru, omuraika@mail.ru, mederbek@mail.ru*

Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*На основании изучения динамики последовательности проявления землетрясений отмечено, что повторяемость событий определяется иерархией сейсмических циклов и необходимо уточнить закон повторяемости Гутенберга-Рихтера. Период повторения событий выражается формулой:  $\lg TD = 0.6973M_w - 4.0347$ ,  $R^2 = 0.98$ , где  $TD$  - средний период повторения (год), который определяется из неравных промежутков времени между землетрясениями,  $M_w$  - моментная магнитуда,  $R^2$  - достоверность аппроксимации. Оценка периода повторения землетрясений имеет неопределённость. Мерой неопределённости может быть стандартное отклонение  $S$  промежутков времени в последовательности определённого класса  $M_w \pm \Delta M_w$ :  $\lg S = 0.6017 M_w - 3.5545$ ,  $R^2 = 0.97$ . Неопределённость периода повторения уменьшится слежением основных сейсмических циклов.*

*Ключевые слова: последовательность землетрясений, номер очерёдности событий, универсальный параметр сейсмических процессов, синхронизация динамики последовательности землетрясений.*

### Введение

Динамика последовательности проявления землетрясений предопределена динамикой иерархии активных разломов и блоков [1-3]. Последовательность землетрясений выражена иерархией сейсмических циклов, которая является универсальным параметром сейсмических процессов. Эти циклы нелинейные и описываются нелинейными полиномами. В каждом цикле выделяется период активизации, пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации и период сейсмического затишья. Крупные землетрясения появляются в цикле первого порядка с длинным периодом, значительные и малые землетрясения – в циклах с соответствующими короткими периодами. В связи с этим изучение повторяемости землетрясений является актуальной проблемой для оценки сейсмической опасности и главной целью сейсмологии на современном уровне [4].

Ещё в 50-е годы Гутенберг и Рихтер начали изучать связь магнитуды и среднегодового числа землетрясений ( $M \geq 6$ ) всего Земного шара за 1904-1952 гг. и «вывели» эмпирическую формулу повторяемости событий:

$$\lg N = 0.48 + 0.9(8 - M), \quad (1)$$

где  $N$  – средняя годовая частота землетрясений определённого района за рассматриваемый период времени,  $M$  – класс магнитуды в интервале  $\pm \Delta M$ . Величина  $1/N$  представляет собой осреднённый промежуток времени проявления отдельно взятого класса магнитуды  $M \pm \Delta M$ . График формулы (1) является линейным [5,6].

### Методика и результаты исследований

На рисунке 1 показана последовательность проявления сильных землетрясений с магнитудой  $M = 6,8-7,6$  за 1942-1967 гг. в Анатолийском разломе на территории Турции (за исключением землетрясения 1939,  $M = 8,0$ ).



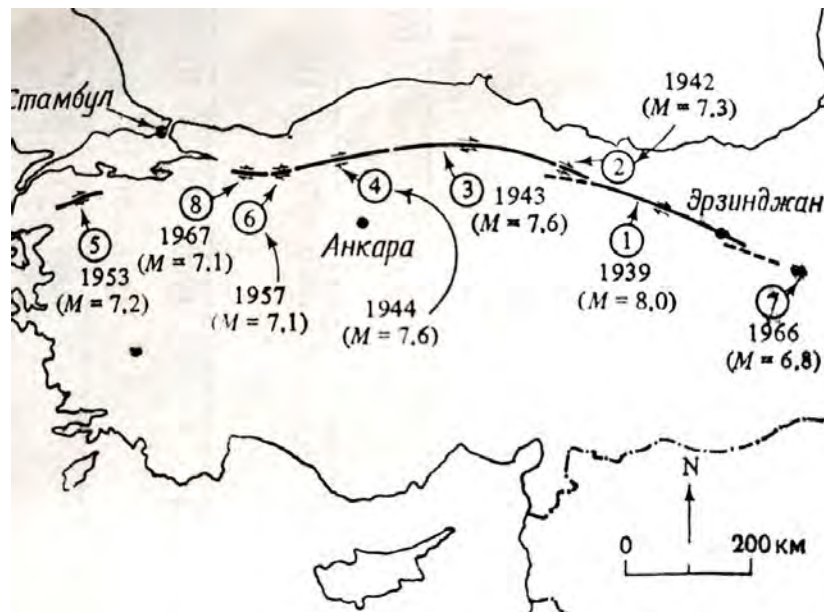


Рисунок 1 – Пространственно-временное распределение сильных землетрясений ( $M \geq 6,8$ ) зоны Анатолийского разлома за 1939-1967 гг.[7]

На рисунке 2 представлено пространственно-временное распределение землетрясений с магнитудой  $M=7.4-7.7$  Японско-Курильской зоны за 1918-1973 гг.

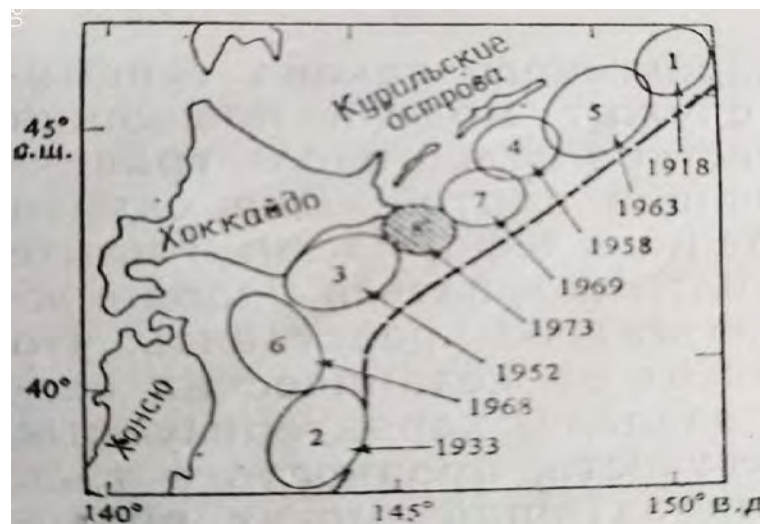


Рисунок 2 – Пространственно-временное распределение землетрясений с  $M=7.4-7.7$  Японско-Курильской зоны за 1918-1973 гг. [8-10]

Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M=7.4-7.7$  Японско-Курильской зоны за 1918-1973 гг. приведена на рисунке 3. Линейный тренд выражается формулой:

$$y=7.3571x+1921.1, R^2=0.868, \quad (2)$$

где  $y$  - время проявления землетрясения (год),  $x$  - номер очередности землетрясений, коэффициент 7.3571- промежуток времени, проходящий до очередного землетрясения с  $M=7.4-7.7$ ,  $R^2$  – достоверность аппроксимации линейным трендом. Нелинейный тренд описывается кубическим уравнением:

$$y=0.197x^3-4.0043x^2+29.608x+1891.2, R^2=0.99 \quad (3)$$

и имеет относительно большую достоверность аппроксимации 0.99.

Как видно из графика динамики последовательности землетрясений (рис. 3), отмечается наращивание сейсмической активизации, особенно после 1968 г.

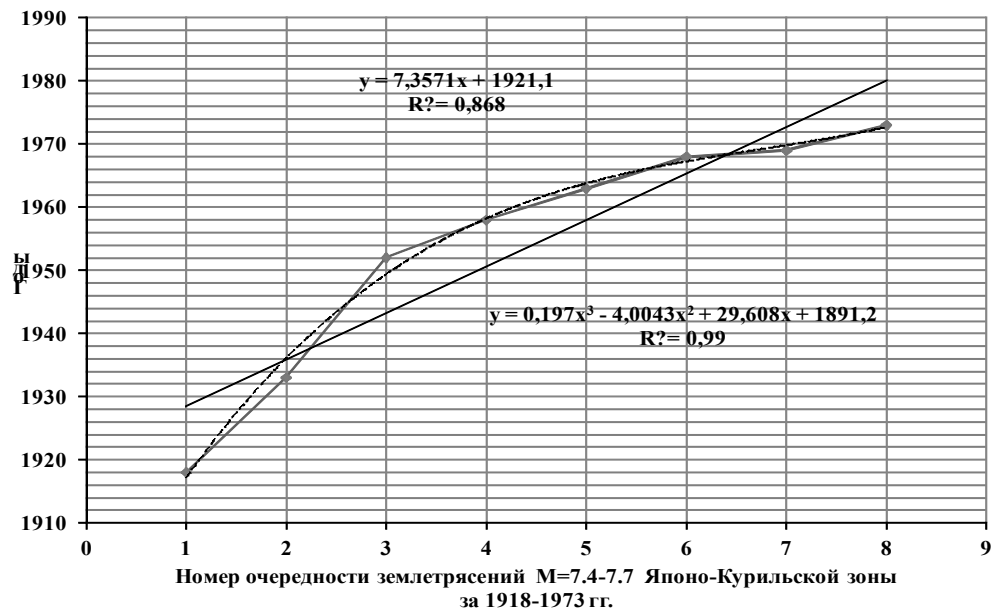


Рисунок 3 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M=7.4-7.7$  Японско-Курильской зоны за 1918-1973 гг. Серая ломаная по точкам – последовательность землетрясений, чёрная прямая – линейный тренд, пунктирная линия – нелинейный тренд последовательности землетрясений

Изменение промежутка времени землетрясений для данной зоны приведено на рисунке 4. Промежуток времени землетрясений изменяется от 1 до 19 лет, имеет среднее значение  $TD=7.85$  лет, стандартное отклонение  $S=6.05$ . В то время средняя годовая частота Гутенберга-Рихтера составляет  $N=8/55=0.145$ , промежуток времени  $TGR=6.87$  лет.

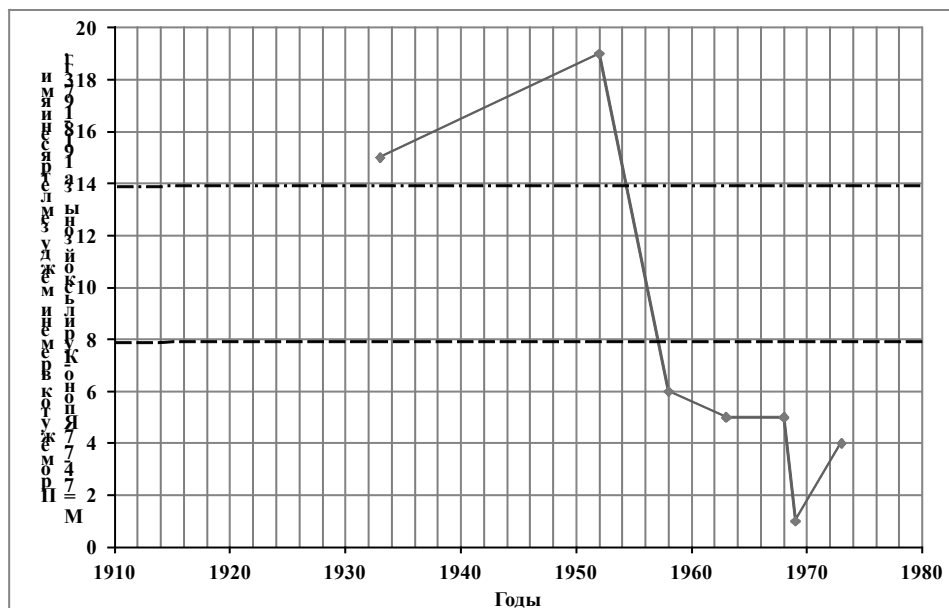


Рисунок 4 – График изменения промежутков времени между землетрясениями с  $M=7.4-7.7$  Японско-Курильской зоны за 1918-1973 гг. Пунктирная линия - среднее значение промежутков времени  $TD=7.85$ , штрихпунктирная линия –  $TD+S = 13.9$  с учётом стандартного отклонения

Далее рассмотрим динамику последовательности проявления каждого класса землетрясений на Тянь-Шане и в приграничных районах за 2000-2019 гг. Исходными данными являются каталоги землетрясений Института сейсмологии НАН КР, составленные

по данным сети цифровых сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана и Узбекистана в квадрате  $\varphi=39-44^\circ$  с.ш.,  $\lambda=69-81^\circ$  в.д.[11].

На основании методики Канамори [7] определена связь между энергетическим классом землетрясения  $K=lgE$  (Дж) и моментной магнитудой  $M_w$  в виде соотношения:

$$M_w=0.6667K-3.166. \quad (4)$$

График динамики последовательности проявления землетрясений с моментной магнитудой  $M_w=2.83\pm 0,17$  Тянь-Шаня и приграничных районов за 2000-2019 гг. приведён на рисунке 9. Он имеет линейный тренд:

$$y = 0,008x + 1999,3, R^2 = 0.97, \quad (5)$$

где  $y$  - время землетрясения,  $x$  – номер очередности события, коэффициент 0,008 - промежуток времени, приходящий к очередному событию,  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

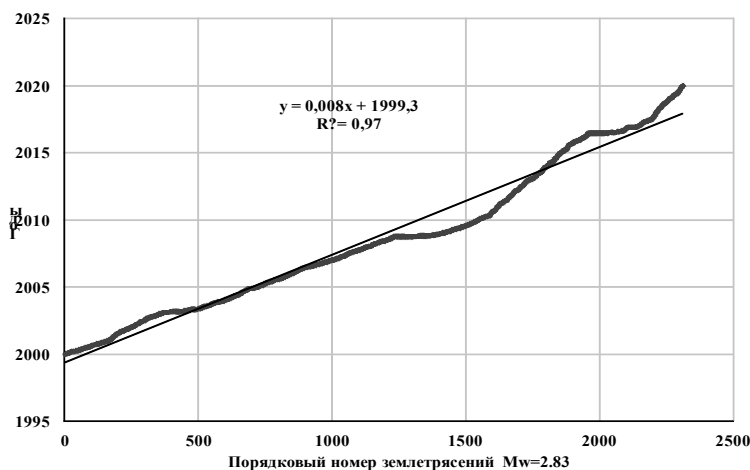


Рисунок 5 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=2.83$  на Тянь-Шане и в приграничных районах за 2000-2019 гг.

На рисунке 6 показано изменение промежутка времени землетрясений с  $M_w=2.83$  на Тянь-Шане и в приграничных районах за 2000-2019 гг. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления землетрясений с моментной магнитудой  $M_w=2.83$  составляет  $TD=0.008$  лет при максимальном значении 0.14 лет. Стандартное отклонение  $S=0.012$ . По методу Гутенберга-Рихтера средняя годовая частота  $NGR=2311/20=115,55$ , период повторения  $TGR=1/115.55=0.0086$  лет.

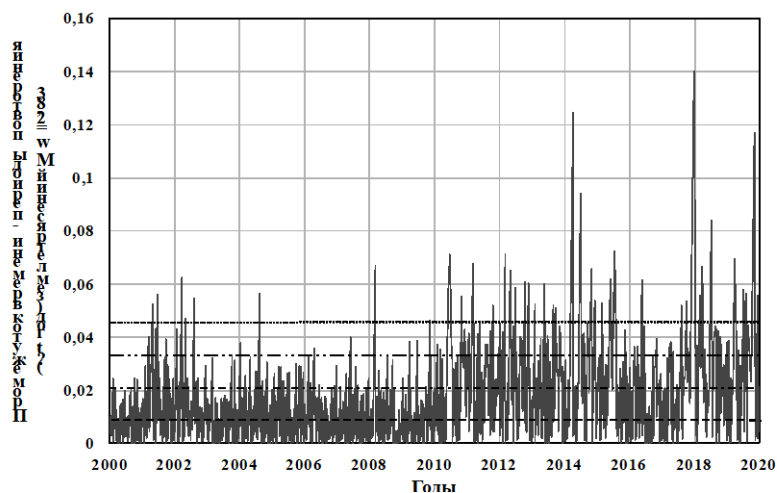


Рисунок 6 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=2.83$  Тянь-Шаня и приграничных районов за 2000-2019 гг. Пунктирная линия - среднее значение  $TD=0,008$  лет, штрихпунктирная линия -  $TD + S$  с учётом стандартного отклонения 0,012 лет, штрихпунктирная линия с двумя точками -  $TD + 2S$ , точечная линия –  $TD + 3S$ .

На рисунке 7 показан график динамики последовательности проявления землетрясений с  $M_w=3,16\pm 0,17$  на Тянь-Шане и в приграничных районах за 2000-2019 гг. Он имеет линейный тренд:

$$y=0.0135x+1999.3, R^2=0.98, \quad (6)$$

где  $y$  - время землетрясения,  $x$  – номер очередности события, коэффициент 0.01358 - время, приходящее на очередное событие,  $R^2$  - достоверность аппроксимации. Пологие «плечики» на графике выражают сейсмическую активизацию. Они проявляются периодически.

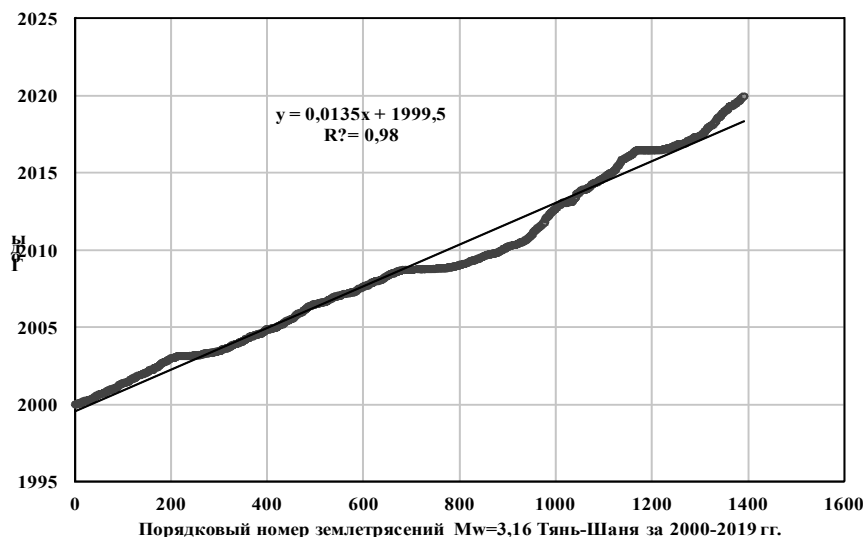


Рисунок 7 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=3.16$  на Тянь-Шане и в приграничных районах за 2000-2019 гг.

На рисунке 8 показано изменение промежутка времени землетрясений с  $M_w=6.83\pm 0,17$  на Тянь-Шане и в приграничных районах за 2000-2019 гг. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления землетрясений с данной моментной магнитудой составляет  $TD=3.3$  года при максимальном значении 6.05 лет. Стандартное отклонение  $S=1.94$ . По методу Гутенберга-Рихтера средняя годовая частота  $NGR=5/20=0.25$ , период повторения  $TGR=1/0.25=4.0$  год.

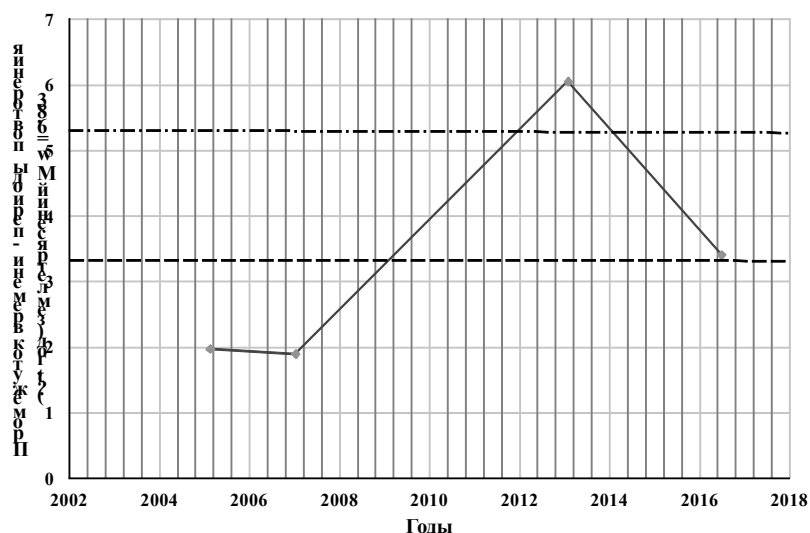


Рисунок 8 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=6.83\pm 0,17$  на Тянь-Шане и в приграничных районах за 2000-2019 гг. Пунктирная линия - среднее значение  $TD=3.3$  года, штрихпунктирная линия -  $TD+S$  с учётом стандартного отклонения 1.94 года

График последовательности проявления двух землетрясений с  $M_w=7.16\pm 0,17$  на Тянь-Шане и в приграничных районах за 2000-2019 гг. представлен с трендом:

$$y=8.1369x+2000.6, \quad (7)$$

где  $y$  – время землетрясения,  $x$  – номер очередности события, коэффициент 8.1369 - время, приходящее на очередное событие.

На основании вышеизложенных результатов изучения динамики последовательности проявления землетрясений с моментной магнитудой:  $M_w=2.83\pm 0.17, 3.16\pm 0.17, 3.50\pm 0.17, 3.83\pm 0.17, 4.16\pm 0.17, 4.50\pm 0.17, 4.83\pm 0.17, 5.16\pm 0.17, 5.50\pm 0.17, 5.83\pm 0.17, 6.16\pm 0.17, 6.50\pm 0.17, 6.83\pm 0.17, 7.16\pm 0.17$  на Тянь-Шане и в прилегающих районах за 2000-2019 гг. отмечено, что повторяемость событий определяется функцией  $TD(M_w)$  среднего промежутка времени  $TD$  между землетрясениями от моментной магнитуды  $M_w$  и функцией  $S(M_w)$  стандартного отклонения промежутков времени от магнитуды (рисунки 9,10).

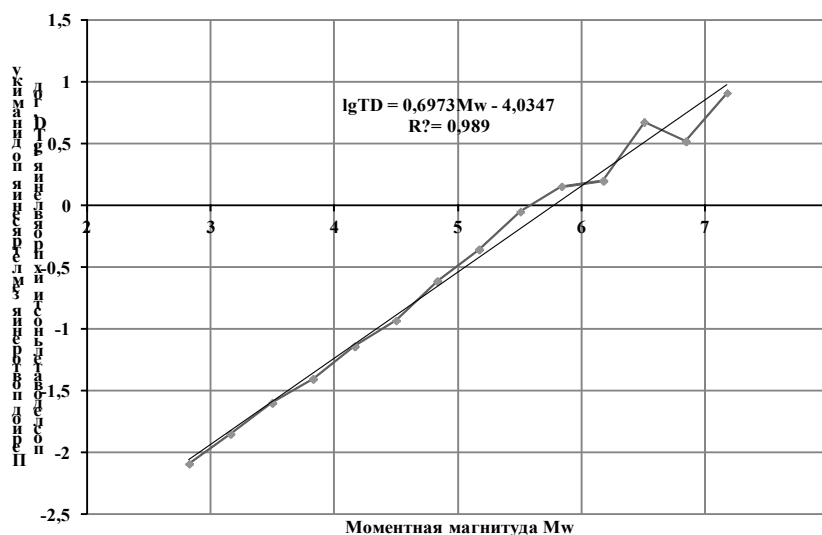


Рисунок 9 – График повторяемости средних периодов землетрясений по динамике последовательности проявления событий на Тянь-Шане и в прилегающих районах за 2000-2019 гг.

Данный график повторяемости средних периодов землетрясений имеет линейный тренд:

$$\lg TD = 0.6973 M_w - 4.0347, \quad R^2 = 0.989, \quad (8)$$

где  $TD$  – средний период времени (год),  $M_w$  – моментная магнитуда,  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

График функции стандартного отклонения  $S$  промежутков времени землетрясений имеет линейный тренд:

$$\lg S = 0.6017 M_w - 3.5545, \quad R^2 = 0.97, \quad (9)$$

где  $S$  - стандартное отклонение промежутков времени определённого класса  $M_w \pm \Delta M_w$  землетрясений. Из (25) следует, что значение  $S$  растёт с увеличением масштаба землетрясения. Следует подчеркнуть, что величина  $S$  представляет собой меру неопределённости оценки периода повторяемости землетрясений.

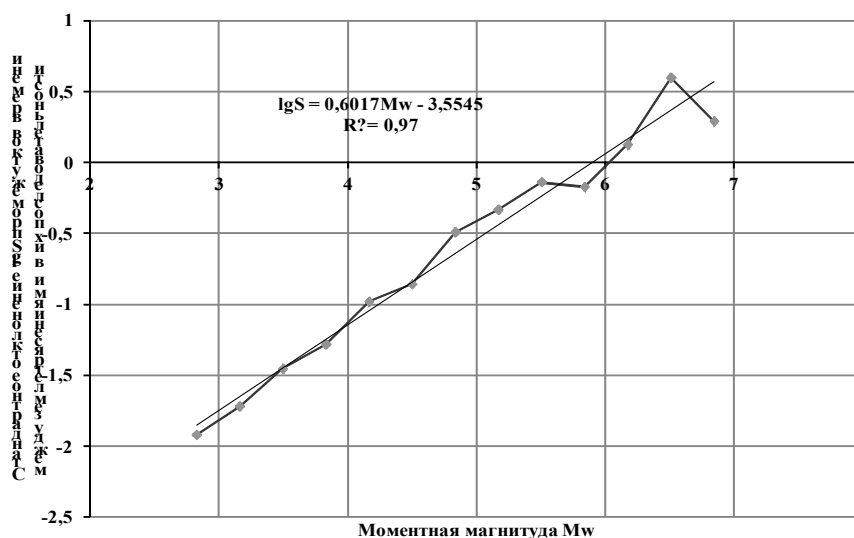


Рисунок 10 – График функции стандартного отклонения  $S$  промежутков времени землетрясений от моментной магнитуды событий  $M_w$

### Заключение

На основании изучения динамики последовательности проявления землетрясений отмечено, что повторяемость событий определяется иерархией сейсмических циклов и необходимо уточнение закона повторяемости Гутенберга-Рихтера. Период повторения событий выражается формулой (8). Оценка периода повторения землетрясений имеет неопределённость. Она большая у крупных землетрясений. Мерой неопределённости может быть стандартное отклонение  $S$  промежутков времени в последовательности определённого класса  $M_w \pm \Delta M_w$  по формуле (9). Неопределённость периода повторения уменьшится слежением основных сейсмических циклов.

### Литература

1. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Central Asia. Bishkek: Ilim. 2004. 166 p.
2. Омуралиев М., Омуралиева А. Средне – и краткосрочная сейсмическая опасность Тянь-Шаня и иерархия динамики сейсмических процессов (на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран). Бишкек: Триада Принт. 2016. 116 с.
3. Мамбетова Г.А., Омуралиев М. Сейсмические циклы Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и землетрясение Каркыра–Сарыджаз 28 января 2013 г.  $K=15$  // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2019. № 1(13). С. 60-69.
4. Федотов С.А. О сейсмическом цикле, возможности количественного сейсмического районирования и долгосрочном сейсмическом прогнозе // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука. 1968. С. 121-150.
5. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1954.
6. Рихтер Ч.Ф. Элементарная сейсмология. М.: Изд-во иностр. лит. 1963. 670 с.
7. Kanamori H. The energy release in great earthquakes. J. Geophys. Res., 1977. 82. 2981-7.
8. Shimazaki K. A model of earthquake recurrence and its application to crustal movement in Tokai district, Japan. Geographical Survey Institute, Tokyo, 1977, pp. 32-40.
9. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир. 1985. 264 с.
10. Kawasumi H. Proofs of 69 years' periodicity and immense of destructive earthquake in southern Kwanto district and problems in the countermeasures thereof // Chigaku Zasshi. N76. Pp.115-138.
11. Омуралиев М., Омуралиева А. Естественная размерность сейсмических процессов и сейсмической среды на примере Тянь-Шаня // Вестник ИС НАН КР. 2015. № 6. С. 96-107.

## ДИНАМИКА СЕЙСМИЧНОСТИ, ПОВТОРЯЕМОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ЧОЛПОН-АТА И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ЗА 1990-2019 ГГ.

Мураталиева Ж., Омуралиева А.  
zhazgul0404@mail.ru , omuraika@mail.ru

Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*На основании изучения динамики последовательности проявления землетрясений отмечено, что повторяемость событий определяется иерархией сейсмических циклов и необходимо уточнить закон повторяемости Гутенберга-Рихтера. Период повторения событий выражается формулой:  $\lg TD = 0.38 M_w - 0.8911$ ,  $R_2 = 0.879$ , где  $TD$ - средний период повторения (год), который определяется из неравных промежутков времени между землетрясениями,  $M_w$  – моментная магнитуда,  $R_2$  – достоверность аппроксимации. Оценка периода повторения землетрясений имеет неопределённость. Мерой неопределённости может быть стандартное отклонение  $S$  промежутков времени в последовательности определённого класса  $M_w \pm \Delta M_w$ :  $\lg S = 0.3535 M_w - 1.6966$ ,  $R_2 = 0.78$ . Неопределённость периода повторения уменьшится слежением основных сейсмических циклов.*

*Ключевые слова: последовательность землетрясений, период повторения, закон повторяемости Гутенберга-Рихтера, промежуток времени между землетрясениями, динамика сейсмичности.*

### Введение

Динамика последовательности проявления землетрясений предопределена динамикой иерархии активных разломов и блоков [1-3]. Последовательность землетрясений выражена иерархией сейсмических циклов, которая является универсальным параметром сейсмических процессов. В каждом цикле выделяется период активизации, пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации и период сейсмического затишья. Крупные землетрясения появляются в цикле первого порядка с длинным периодом, значительные и малые землетрясения – в циклах с соответствующими короткими периодами. В связи с этим изучение повторяемости землетрясений является актуальной проблемой для оценки сейсмической опасности и главной целью сейсмологии на современном уровне.

Ещё в 50-е годы Гутенберг и Рихтер [4] изучали связь магнитуды и среднегодового числа землетрясений ( $M \geq 6$ ) всего Земного шара за 1904-1952 гг. и «вывели» эмпирическую формулу повторяемости событий:

$$\lg N = 0.48 + 0.9(8 - M), \quad (1)$$

где  $N$  – средняя годовая частота землетрясений определённого района за рассматриваемый период времени,  $M$  – класс магнитуды в интервале  $\pm \Delta M$ . Величина  $1/N$  представляет собой осреднённый промежуток времени проявления отдельно взятого класса магнитуды  $M \pm \Delta M$ . График формулы (1) является линейным.

Выражение (1) широко используется в мировой практике и принято, как закон повторяемости землетрясений «Гутенберга-Рихтера» [4]. Однако в реальности промежуток времени определённого класса магнитуд изменяется в их последовательности. В связи с этим можно сказать, что средняя годовая частота землетрясений и соответствующий осреднённый промежуток времени в (1) являются приближенными характеристиками повторяемости землетрясений с относительно малой точностью.

### Методика и результаты исследований

На рисунке 1 показано изменение промежутка времени землетрясений с  $M_w=4.50$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов за период с 1960 по 2019 г. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления землетрясений с моментной магнитудой  $M_w=4.50$  составляет  $TD=5.903$  лет при максимальном значении 12.7 лет. Стандартное отклонение  $S=4.885$ .

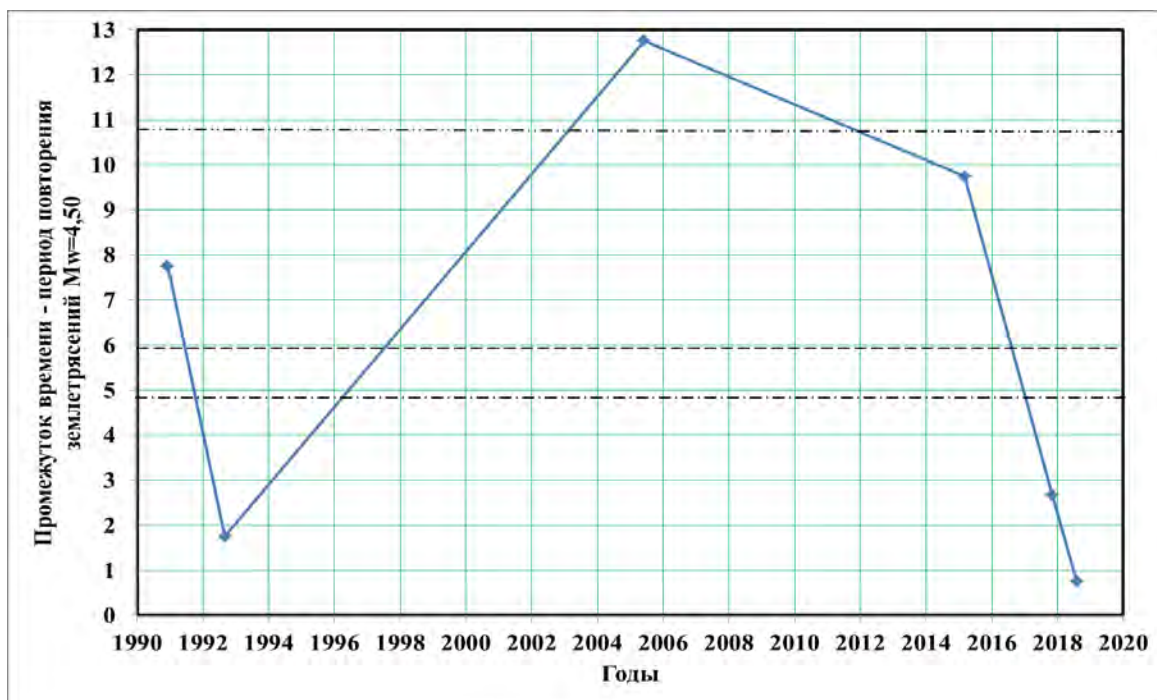


Рисунок 1 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=4.50$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов 1960-2019гг. Пунктирная линия – среднее значение  $TD=5.903$  лет, штрихпунктирная линия –  $TD + S$  с учётом стандартного отклонения 4.885 лет, штрихпунктирная линия с двумя точками –  $TD + 2S$

Далее рассмотрим динамику последовательности проявления каждого класса землетрясений на территории г.Чолпон-Ата и в прилегающих районах за 1990-2019 гг. Исходными данными являются каталоги землетрясений Института сейсмологии НАН КР, составленные по данным сети цифровых сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана и Узбекистана в квадрате  $\varphi=42-43^\circ$  с.ш.,  $\lambda=76-78^\circ$  в.д.

На основании методики Канамори [5] определена связь между энергетическим классом землетрясения  $K=lgE$  (Дж) и моментной магнитудой  $M_w$  в виде соотношения:

$$M_w=0.6667K - 3.166. \quad (2)$$

График динамики последовательности проявления землетрясений с  $M_w=4.50 \pm 0.17$  на территории г.Чолпон-Ата и в прилегающих районах за 1990-2019 гг. приведён на рисунке 2. Он имеет линейный тренд:

$$y=6.521x+1977.3, R^2=0.94, \quad (3)$$

где  $y$  - время землетрясения,  $x$  – номер очередности события, коэффициент со значением 6.521 - промежуток времени, приходящий к очередному событию,  $R^2$  - достоверность аппроксимации. Пологие «плечики» на графике выражают сейсмическую активизацию. Они проявляются периодически.



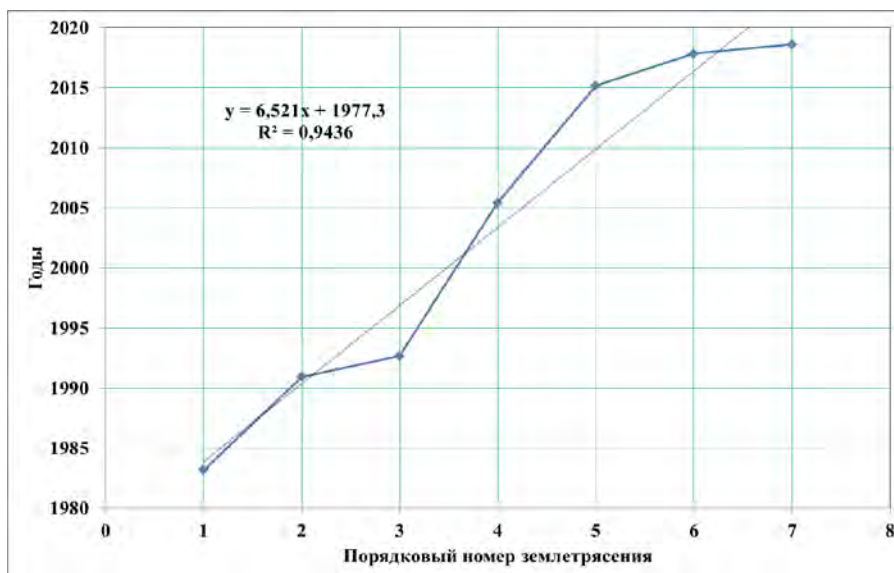


Рисунок 2 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=4.50$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов 1960-2019гг.

На рисунке 3 показано изменение промежутка времени землетрясений с  $M_w=4.83$  на рассматриваемой территории. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления землетрясений составляет  $TD=5.949$  лет при максимальном значении 18.6 лет. Стандартное отклонение  $S=7.477$ .

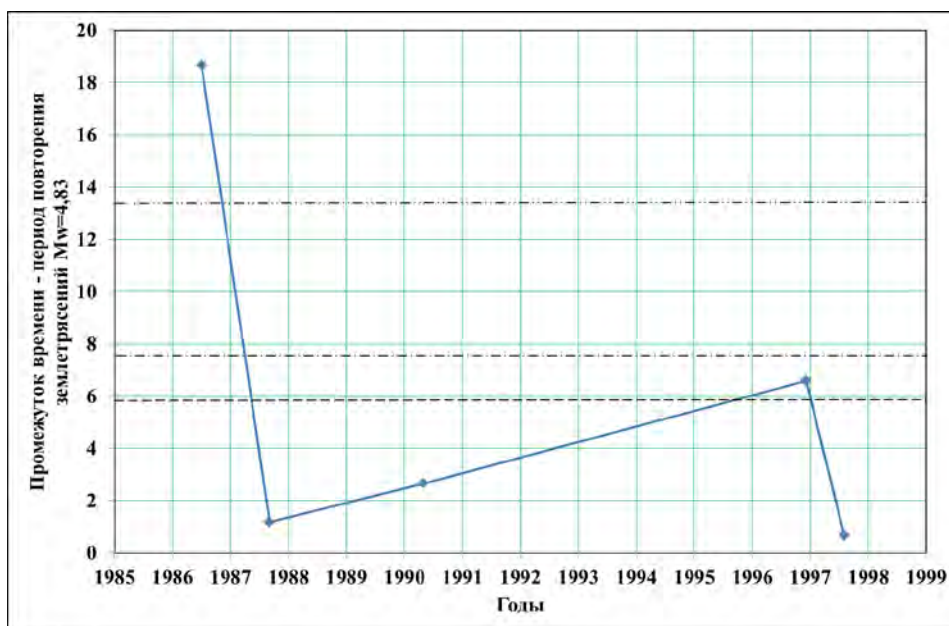


Рисунок 3 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=4.83$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов 1960-2019гг. Пунктирная линия - среднее значение  $TD=5.949$  лет, штрихпунктирная линия –  $S$  стандартное отклонение 7.477 лет, штрихпунктирная линия с двумя точками –  $TD + 2S$

График динамики последовательности проявления землетрясений с данной моментной магнитудой (рис.4) имеет линейный тренд с достоверность аппроксимации 0.814:

$$y=5.2187x+1969.5, R^2=0.814, \quad (4)$$

где  $y$  - время проявления землетрясения (год),  $x$  – номер очерёдности события, коэффициент 5.2187 - время, приходящее на очередное событие. Пологие «плечики» на графике выражают сейсмическую активизацию. Они проявляются периодически.

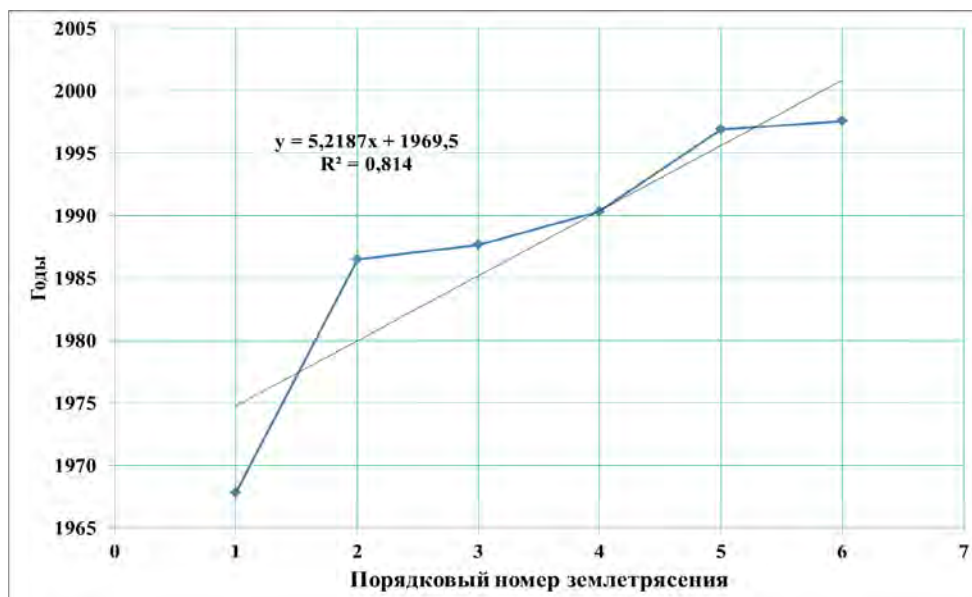


Рисунок 4 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=4,83$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов 1960-2019гг.

На рисунке 5 показано изменение промежутка времени землетрясений с  $M_w=5.16$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов 1960-2019гг. Среднее значение периода повторения по динамике последовательности проявления землетрясений с  $M_w=5.16$  составляет  $TD=14.290$  при максимальном значении 21.7 лет. Стандартное отклонение  $S=10.544$ . По методу Гутенберга-Рихтера средняя годовая частота  $NGR=10/20=0.5$ , период повторения  $TGR=1/0.5=2$  года.



Рисунок 5 – Изменение промежутка времени между землетрясениями с  $M_w=5.16$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов 1960-2019гг. Пунктирная линия - среднее значение  $TD=14.290$  лет, штрихпунктирная линия  $S$  – стандартное отклонение 10.544 лет

На графике динамики сейсмичности - последовательности проявления (трёх) землетрясений с  $M_w=5.16$  за 1960-2019 гг. отмечается (рис.6) линейный и нелинейный тренды. Линейный описывается формулой (5) и имеет достоверность аппроксимации  $R^2$ :

$$y=14.291x+1974.2, R^2=0.92, \quad (5)$$

где  $y$  - время землетрясения,  $x$ - номер очередности землетрясений, число 14.291 - промежуток времени, приходящий к очередному из землетрясений.

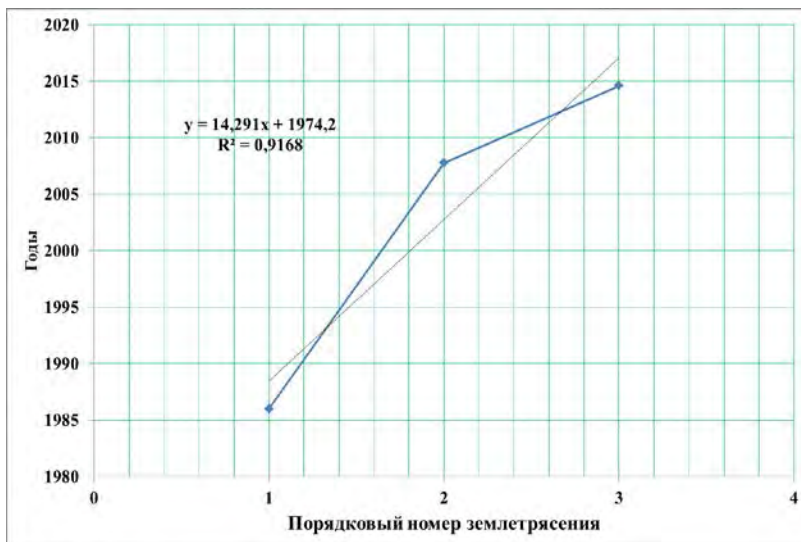


Рисунок 6 – Динамика последовательности проявления землетрясений с  $M_w=5.16$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов 1960-2019гг.

На основании вышеизложенных результатов изучения динамики последовательности проявления землетрясений с:  $M_w=2.83, 3.16, 3.50, 3.83, 4.16, 4.50, 4.83, 5.16, 5.50, 5.83, 6.16, 6.50, 6.83$  на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов за 1960-2019гг. отмечено, что повторяемость событий определяется функцией  $TD(M_w)$  среднего промежутка времени  $TD$  между землетрясениями от моментной магнитуды  $M_w$  и функцией  $S(M_w)$  стандартного отклонения промежутков времени от магнитуды (рисунки 7, 8).

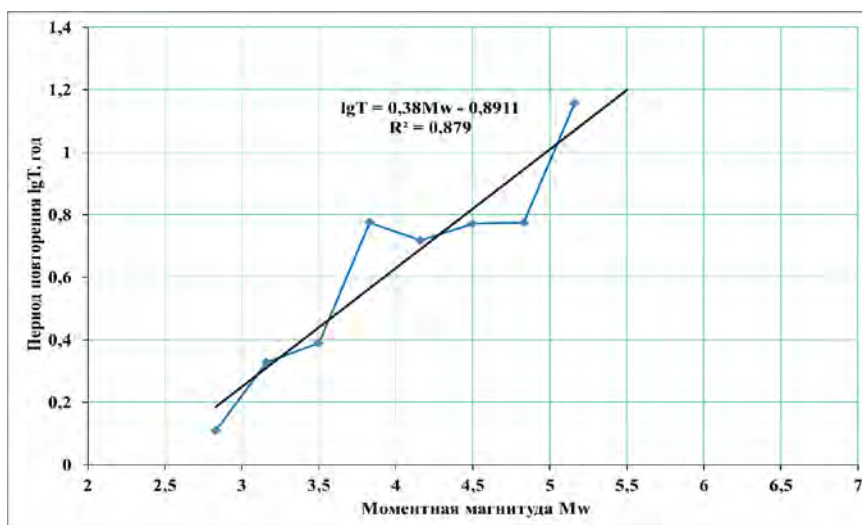


Рисунок 7 – График повторяемости средних периодов землетрясений по динамике последовательности проявления событий на рассматриваемой территории 1960-2019 гг.

Данный график повторяемости средних периодов землетрясений имеет линейный тренд:

$$lgTD=0.38 M_w - 0.8911, R^2=0.879, \quad (6)$$

где  $TD$  - средний период времени (год),  $M_w$  - моментная магнитуда,  $R^2$  – достоверность аппроксимации.

График функции для стандартного отклонения  $S$  промежутков времени землетрясений имеет линейный тренд:

$$lgS=0.3535 M_w - 1.6966, R^2=0.78, \quad (7)$$

где  $S$  - стандартное отклонение промежутков времени определённого класса  $M_w \pm \Delta M_w$  землетрясений. Из (7) следует, что значение  $S$  растёт с увеличением масштаба

землетрясения. Следует подчеркнуть, что величина  $S$  представляет собой меру неопределённости оценки периода повторяемости землетрясений.

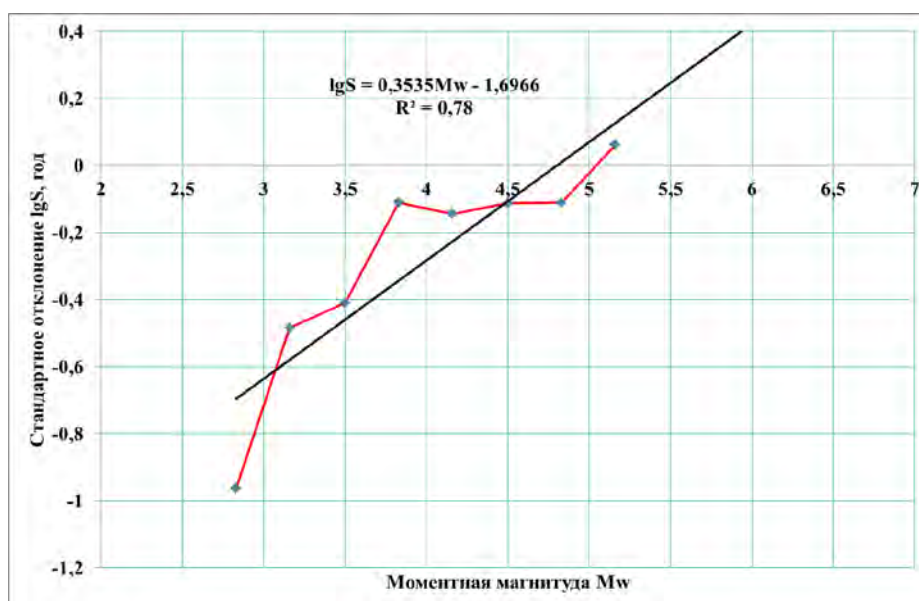


Рисунок 8 – График функции стандартного отклонения  $S$  промежутков времени землетрясений от моментной магнитуды событий  $M_w$

### Заключение

1. Изучена динамика последовательности проявления каждого класса землетрясений с  $M_w \pm \Delta M_w$  и отмечено, что промежутки времени между землетрясениями определённого класса неравные, изменчивые. При этом по методу Гутенберга – Рихтера определение средней годовой частоты землетрясений допускало, что промежутки времени между рассматриваемыми землетрясениями равные.
2. На основе изучения динамики последовательности проявления землетрясений на территории г. Чолпон-Ата и прилегающих районов 1960-2019гг. с  $M_w \pm \Delta M_w$  отмечено, что промежутки времени между землетрясениями определённого класса неравные, изменчивые. При этом по методу Гутенберга – Рихтера определение рассматриваемыми землетрясениями равные. Период повторения событий выражается формулой (6). Оценка периода повторения землетрясений имеет неопределённость. Она большая у крупных землетрясений. Мерой неопределённости может быть стандартное отклонение  $S$  промежутков времени в последовательности определённого класса  $M_w \pm \Delta M_w$  по формуле (7). Неопределённость периода повторения уменьшится слежением основных сейсмических циклов.

### Литература

1. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Central Asia. Bishkek: Pim. 2004. 166 p.
2. Омуралиев М., Омуралиева А. Средне – и краткосрочная сейсмическая опасность Тянь-Шаня и иерархия динамики сейсмических процессов (на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран). Бишкек: Триада Принт. 2016. 116 с.
3. Мамбетова Г.А., Омуралиев М. Сейсмические циклы Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и землетрясение Каркыра–Сарыджаз 28 января 2013 г.  $K=15$  // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2019. № 1 (13). С. 60-69.
4. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1954.
5. Kanamori H. The energy release in great earthquakes. J. Geophys. Res., 1977. 82.2981-7.

## МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ВЗРЫВОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КУМТОР ЗА 2019 Г.

**Омурбек кызы К., Омуралиева А., Омуралиев М.**  
*kanyshaj.omurbekkyzy@bk.ru, omuraika@mail.ru, mederbek@mail.ru*  
Институт сейсмологии НАН КР, г. Бишкек, Кыргызстан

*Осуществлён мониторинг сейсмических волн карьерных взрывов на локальном участке – на Центральном карьере Кумторского месторождения за 2019 г. по точным данным цифровых сейсмических станций, с исключением землетрясений. Изучены скорости сейсмических продольных и поперечных волн, их отношение ( $V_P$ ,  $V_S$ ,  $V_P/V_S$ ), их вариации во времени. Отмечены проявления флюидов, частичного плавления, относительно высоких давлений в земной коре на участках Тянь-Шаня, а также то, что в земной коре глубина проникновения сейсмических волн взрывов изменяется во времени. Оценены вероятные величины сейсмического воздействия на массивы горных пород в пределах карьера при последовательности взрывов.*

*Ключевые слова: карьерные взрывы, продольные и поперечные волны, скорость сейсмических волн, цикл вариаций параметров сейсмических волн, иерархия циклов, флюиды, частичное плавление, высокое давление.*

Уникальное золоторудное месторождение Кумтор расположено на северо-западном склоне хребта Ак-Шыйрак Центрального Тянь-Шаня, поднятый до высоты 5200 м и покрытый ледниками, и многолетними мёрзлыми породами толщиной до 250-400 м (рис.1). Здесь золоторудное проявление было обнаружено в 1978 г. сотрудниками Управления геологии Киргизской ССР и до 1992 г. произведены геологоразведочные работы.

С 1996 г. компанией «Центerra Голд Инк» преимущественно на Центральном участке ведутся разработки месторождения открытым способом. Взрывы проводятся на карьере, в основном, короткозамедленным способом. Это привело к накоплению большого материала по сейсмическим волнам карьерных взрывов Кумторского месторождения Тянь-Шаня [1].

По данным цифровых сейсмических станций сетей KRNET (Kyrgyzstan Telemetered Network) и KNET (Kyrgyz Republic Digital Network), а также станции «Тарагай» (TARG) ЦАИИЗ (Центрально-Азиатского Института прикладных исследований Земли), в Центре обработки данных Института сейсмологии НАН КР (ИС НАН КР) определяются основные параметры сейсмических волн. Параметры продольной волны изучались по записям Z-вертикальной компоненты (канала), а параметры поперечной волны - по записям одной из компонент, которая лучше отражалась в записи. Кроме того, оценивались: 1 - значения rms-среднеквадратическое отклонение времени пробега наблюдаемых и вычисленных (погрешность), 2 - se-стандартное отклонение от времени вступления, 3 - d-класс точности определения эпицентра, 4 - she – 68%-ый доверительный интервал в определении положения эпицентра, 5 - глубины событий по заложенным скоростным моделям (depth) и по методикам, заложенным в программе Нуроellipse (hz), 6 - sez- 68 %-ный доверительный интервал в определении глубины и т.д.

По параметрам сейсмических волн дифференцировались (разделялись) Центром обработки данных ИС НАН КР землетрясения и взрывы. В связи с тем, что в нашем распоряжении не было сведений от взрывников и из-за отсутствия локальной сети мониторинга на самом карьере, координаты, время и энергия взрывов определялись с определённой точностью на основе сети сейсмических станций в окружении месторождения Кумтор. Для проведения исследования выбраны только взрывы в квадрате  $\varphi = 41.79^\circ-41.87^\circ$ ,  $\lambda = 78.17^\circ-78.28^\circ$  (в пределах основного карьера «Центральный») за январь-ноябрь 2019 г. При

этом класс точности определения эпицентра взрывов  $d = 1$ , среднеквадратическое отклонение времени пробега  $rms = 0.1$ , стандартное отклонение от времени вступления  $se = 0.1$ , 68%-ный доверительный интервал в определении положения глубины проникновения лучей  $sez=0.3-2.0$

В непосредственном окружении месторождения Кумтор находились цифровые станции: «Тарагай» (TARG) на юго-западе, «Каджисай» (KDJ) на северо-западе, «Ананьево» (ANVS) на севере, «Каракол» (PRZ) на северо-востоке (рис.2). В пределах этих станций горные массивы сложены в основном гранитоидами, метаморфическими породами. В связи с этим можно сказать, что скоростные модели участков земной коры в пределах рассматриваемых станций были близкими. Значения энергии взрывов находятся в пределах от  $10^4$  до  $10^7$  Дж, что соответствует энергетическим классам  $K = 4-7$  (рис.1).

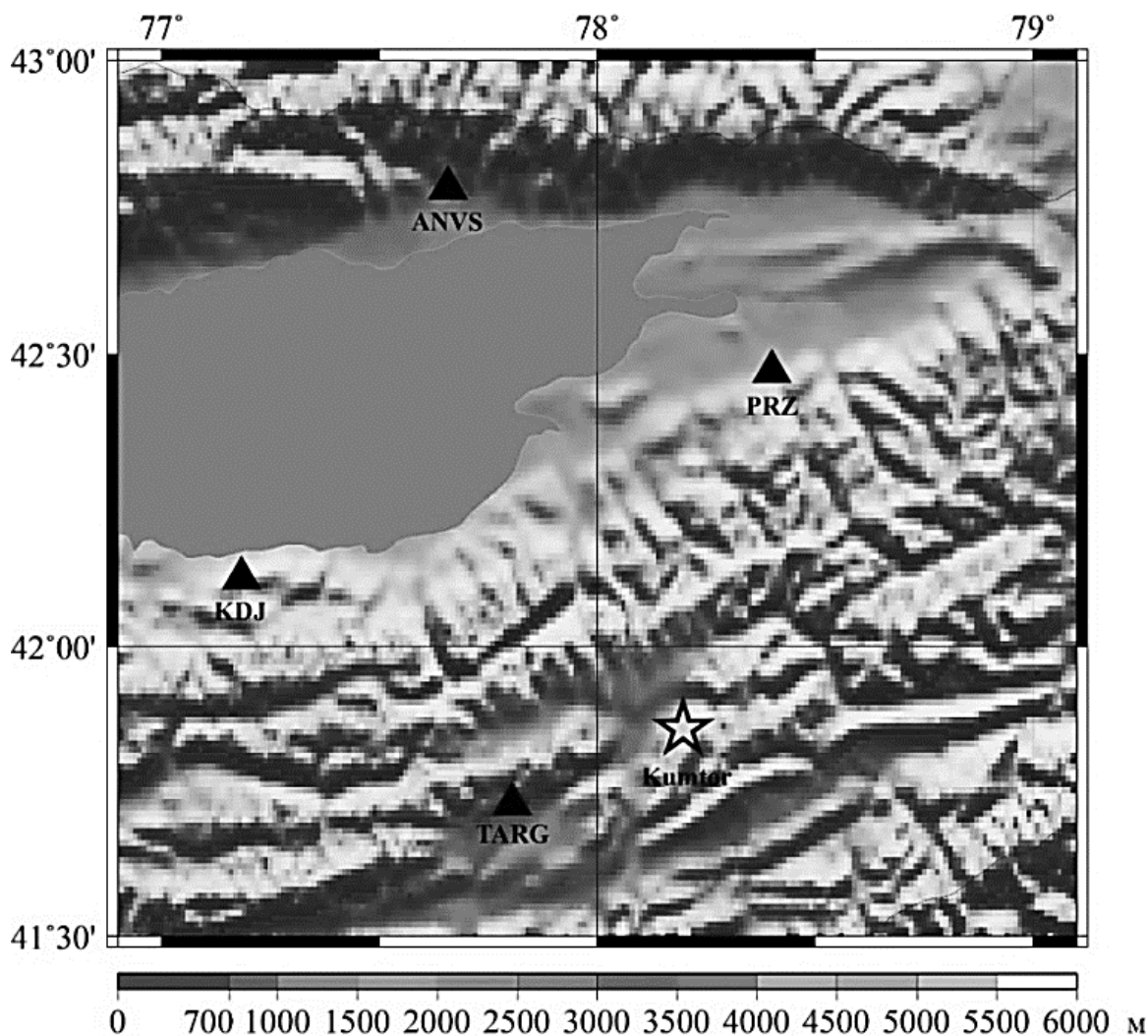


Рисунок1 – Схема расположения цифровых сейсмических станций, обозначенных треугольниками: KDJ-«Каджисай», PRZ-«Каракол», ANVS - «Ананьево» сети KRNET и TARG - «Тарагай» ЦАИИЗ и карьера «Центральный» Кумтора (звездочка)

На рис.2 показана суммарная сейсмическая энергия, высвобожденная при взрывах в пределах карьера «Центральный» за январь-ноябрь 2019 г. Величина её в ноябре 2019 г. достигла  $2 \cdot 10^8$  Дж. График кумулятивной сейсмической энергии имел линейный тренд:

$$E_k = (0.0487t - 0.94571), \quad (1)$$

где  $E_k$ - кумулятивная сейсмическая энергия (Дж),  $t$ - сутки 2019 г., коэффициент 0,0487 имеет единицу измерения Дж/с. Как видно из графика с конца июня отмечался резкий подъем кумулятивной сейсмической энергии взрывов.

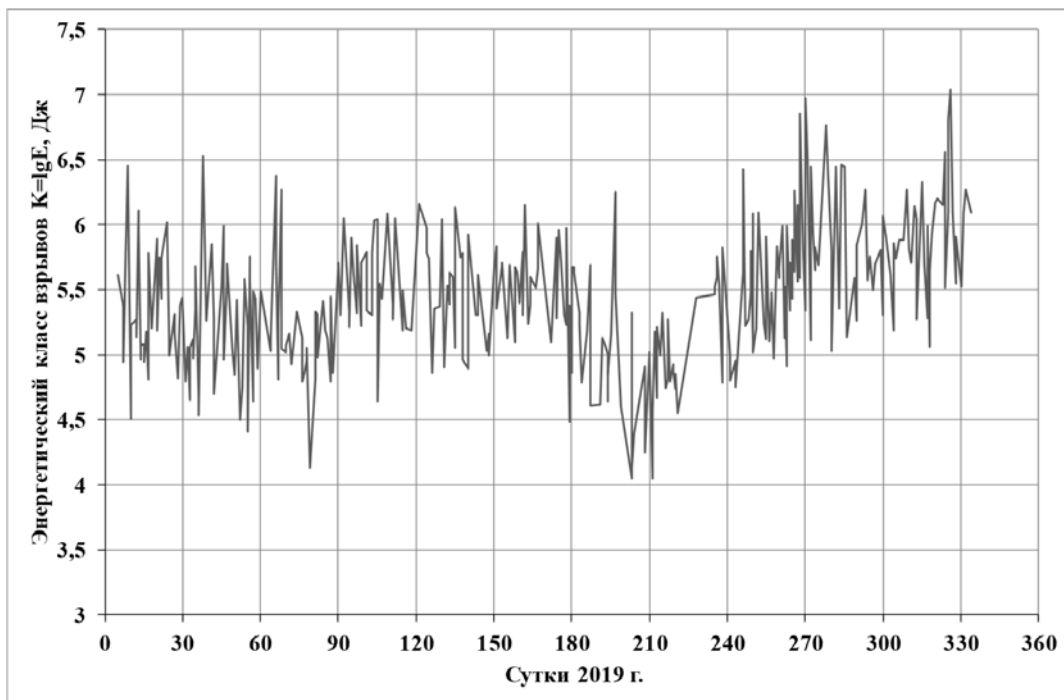


Рисунок 2 – Последовательность энергетических классов взрывов в пределах карьера «Центральный» за январь-ноябрь 2019 г.

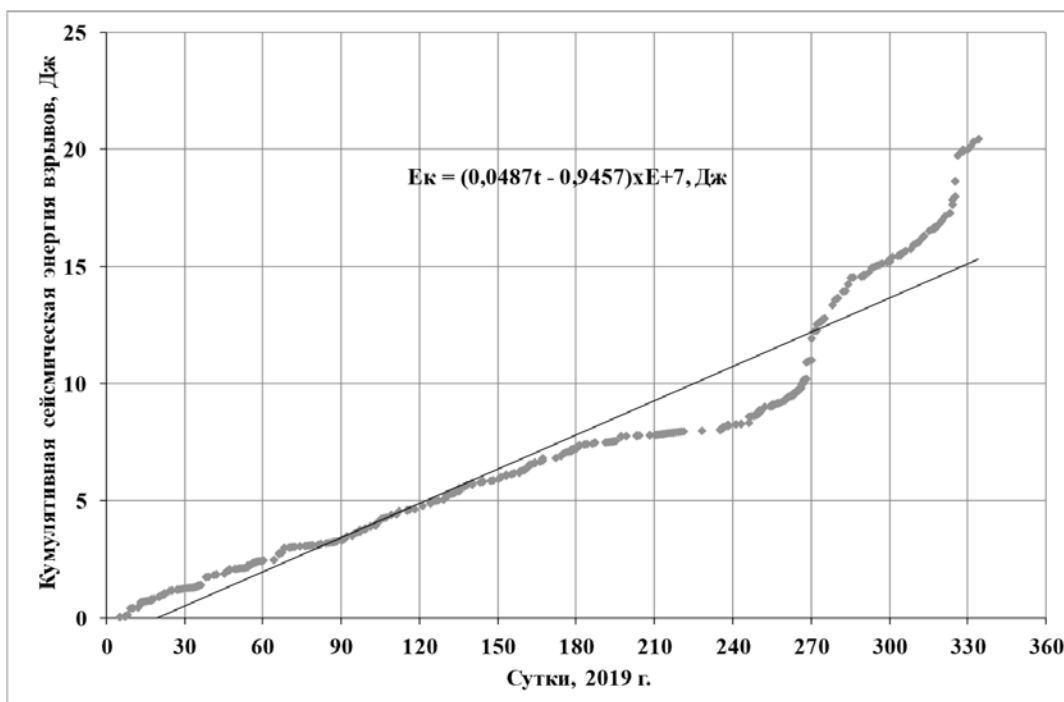


Рисунок 3 – Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при взрывах в пределах карьера «Центральный» за январь-ноябрь 2019 г.

Для оценки воздействия взрывов на объекты комбината «Кумтор» важно определить величины пикового ускорения сейсмических волн этих взрывов. На основе данных сейсмических энергий и методики Канамори [2] можно определить соотношение сейсмической энергии и моментной магнитуды:

$$M_w = 0.6667 \lg E - 3.166, \quad (2)$$

где  $M_w$  - моментная магнитуда,  $E$  - сейсмическая энергия (в Дж). Используя широко известную в мировой практике формулу [3], [4] определены величины пикового ускорения PGA:

$$\log_{10}[PGA] = 4.185 - 0.112M + (-2.963 + 0.29M)\log_{10}(R_{jb}^2 + 7.593^2)^{1/2} + 0.099S_s + 0.02S_A - 0.034F_N + 0.104F_R \quad (3)$$

где PGA - горизонтальная составляющая сейсмических ускорений в см/сек<sup>2</sup>, M – момент-ная магнитуда Mw+0.14 (с неопределенностью 0.14), R<sub>jb</sub> - ближайшее расстояние от проекции плоскости разрыва на поверхности (от эпицентра), S - коэффициент, учитывающий тип грунта - S<sub>A</sub>=1 для скального грунта и S<sub>S</sub> =1 для мягкого грунта и F- коэффициент, учитывающий тип разлома F<sub>N</sub>=0 для сбросов и F<sub>R</sub>= 1 для взбросов.

Последовательность значений пикового ускорения (PGA) взрывов в пределах карьера “Центральный” Кумторского комбината приведена на рис.4. Значения PGA изменялись от 31 см/с<sup>2</sup> до 61 см/с<sup>2</sup>.

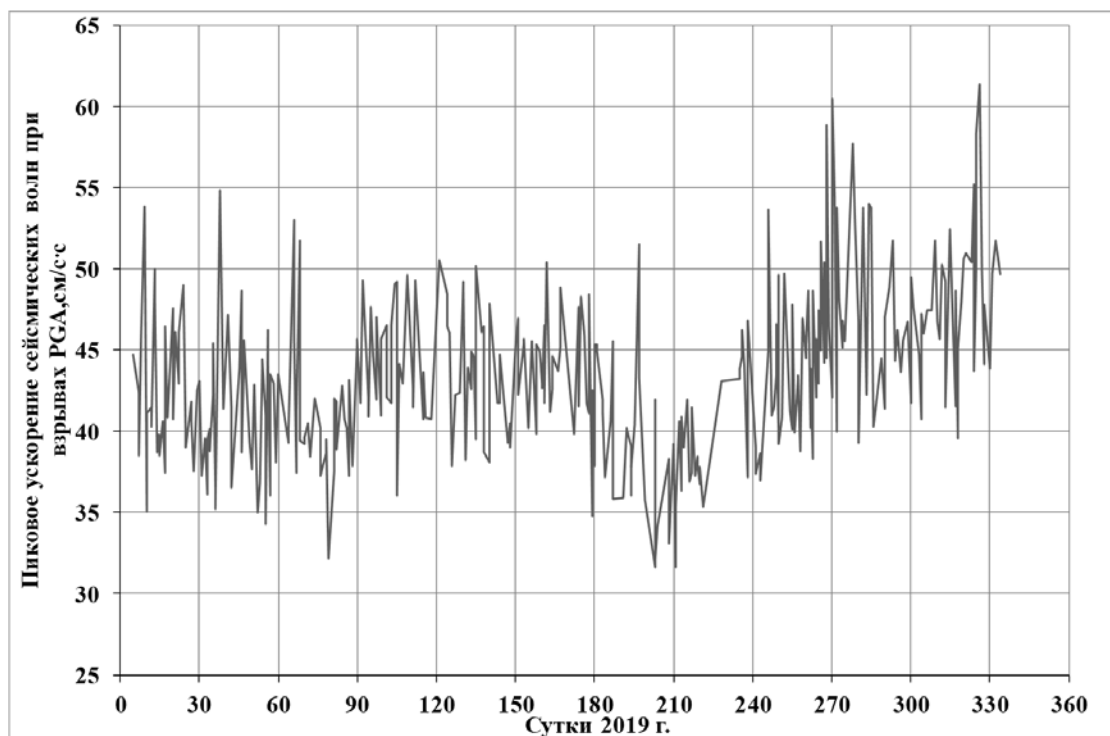


Рисунок 4 – Изменение значений пикового ускорения (PGA) взрывов в пределах карьера “Центральный” Кумторского комбината

На рис.4 показано кумулятивное ускорение сейсмических волн взрывов в пределах карьера «Центральный» за январь-ноябрь 2019 г. Величина ускорения в конце ноября 2019 г. достигла 149,6 см/с<sup>2</sup>. График кумулятивного ускорения имел линейный тренд:

$$\text{КумPGA} = 0.4333x - 1.137, \quad (4)$$

где КумPGA - кумулятивное ускорение взрывов (см/с<sup>2</sup>), x- сутки 2019 г., коэффициент 0,4333 представляет собой среднюю скорость накопления ускорения. На графике вариации V<sub>p</sub> отмечается иерархия асимметричных циклов (“ритмические составляющие” [5-7]). Сначала определяются циклы, в частности третьего порядка при значении V<sub>p</sub> ≥ 6.5 км/сек на основе поэтапной оценки полиномиальных трендов с высокой достоверностью аппроксимации (R<sup>2</sup> ≥ 0.95). По пикам циклов третьего порядка V<sub>p</sub> ≥ 6.87 км/сек выделяются циклы второго порядка на основе полиномиального тренда. Далее по пикам циклов второго порядка V<sub>p</sub> ≥ 7.2 км/сек аналогично предыдущей методике отмечается цикл первого порядка. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 4-14 сутки, циклов второго порядка – около 52-131 сутки. Пики цикла второго порядка проявились, например, 29.03.2019 г. (рис. 5-8).



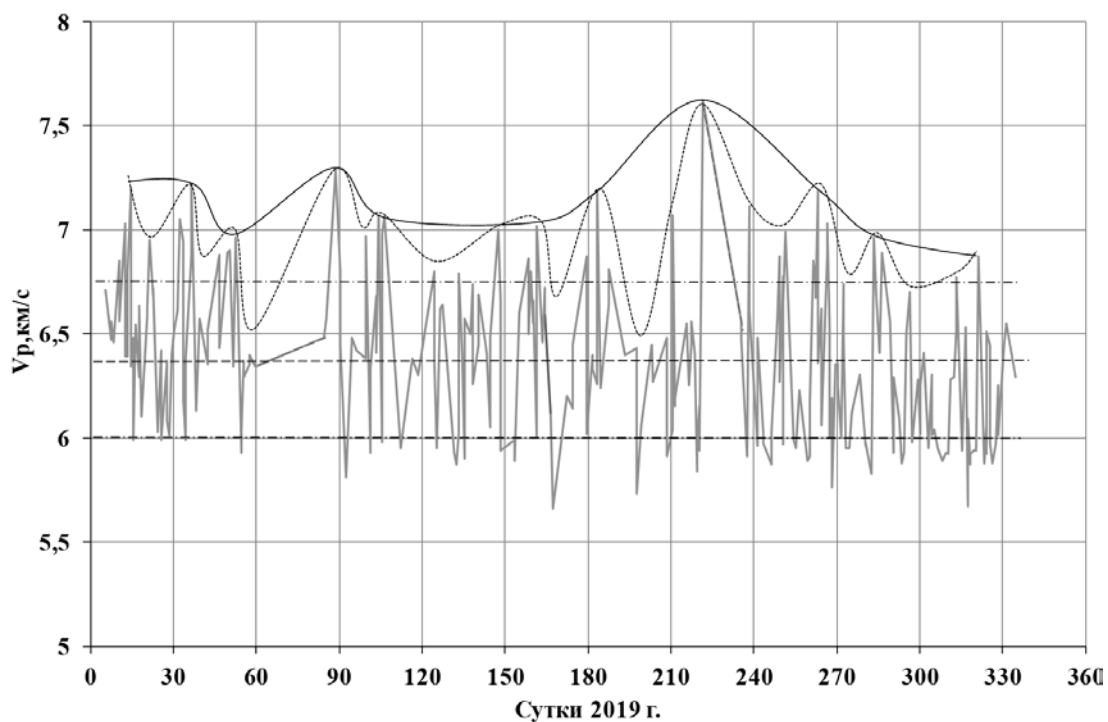


Рисунок 5 – Вариация скорости продольных сейсмических волн  $V_p$  взрывов карьера «Центральный» Кумторского месторождения за январь – ноябрь 2019 г. Горизонтальной пунктирной линией обозначено среднее значение -  $C$ . Горизонтальными штрихпунктирными линиями обозначены значения  $(C+S)$  и  $(C-S)$  с учётом стандартного отклонения ( $S$ ). Точечной кривой линией обозначен цикл вариации третьего порядка; сплошной кривой линией – цикл вариации второго порядка

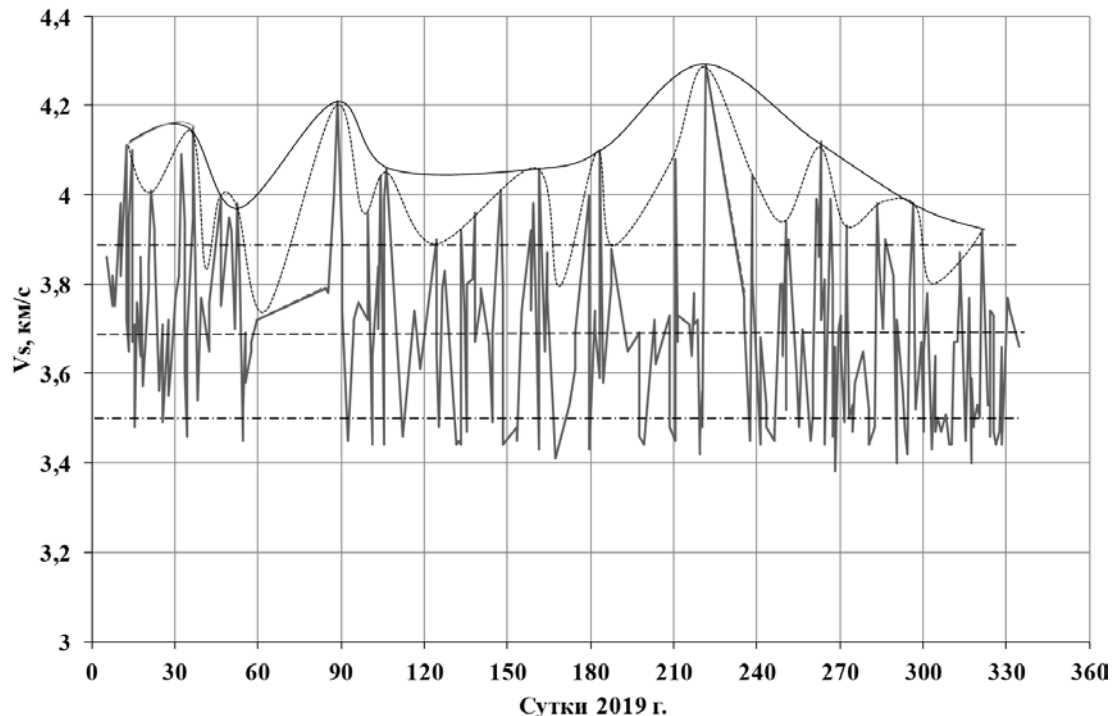


Рисунок 6 – Вариация скорости поперечных сейсмических волн  $V_s$  взрывов карьера «Центральный» Кумторского месторождения за январь – ноябрь 2019 г. Горизонтальной пунктирной линией обозначено среднее значение -  $C$ . Горизонтальными штрихпунктирными линиями обозначены значения  $(C+S)$  и  $(C-S)$  с учётом стандартного отклонения ( $S$ ). Точечной кривой линией обозначен цикл вариации третьего порядка; сплошной кривой линией – цикл вариации второго порядка

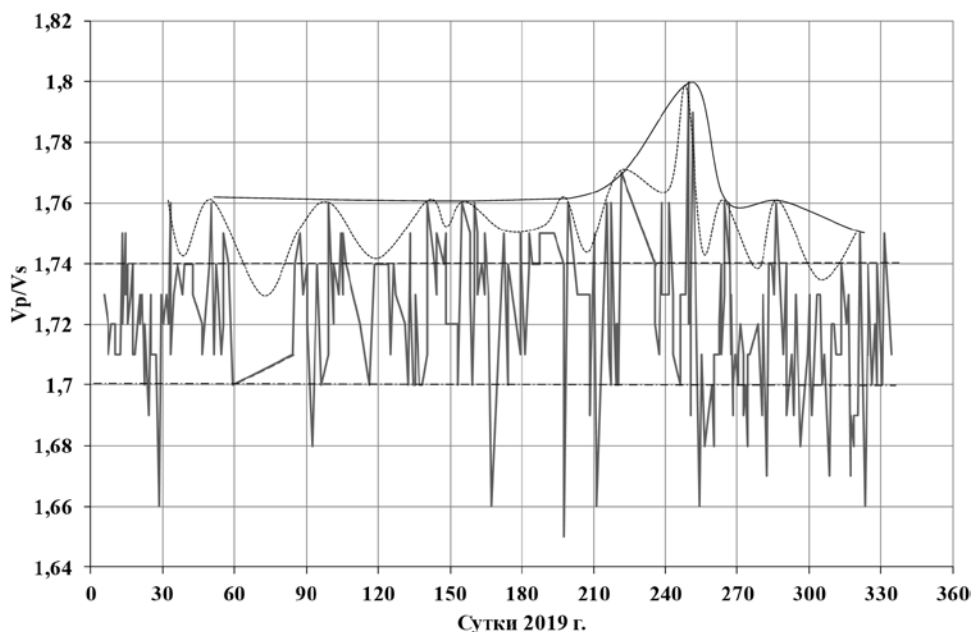


Рисунок 7 – Вариация отношения  $V_p/V_s$  скорости продольных и поперечных сейсмических волн взрывов карьера «Центральный» Кумторского месторождения за январь – ноябрь 2019 г. Горизонтальной пунктирной линией обозначено среднее значение –  $C=1,72$ . Горизонтальными штрихпунктирными линиями обозначены значения  $(C+S)$  и  $(C-S)$  с учётом стандартного отклонения ( $S$ ). Точечной кривой линией обозначен цикл вариации третьего порядка; сплошной кривой линией – цикл вариации второго порядка

Соотношение величин  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  земной коры выражает особенности среды земной коры [8-9], а именно, малые значения  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  выражают проявление флюидов, малые значения  $V_p$ ,  $V_s$ , но большое значение  $V_p/V_s$  – частичное плавления, большие значения  $V_p$ ,  $V_s$  – относительно высокие давления.

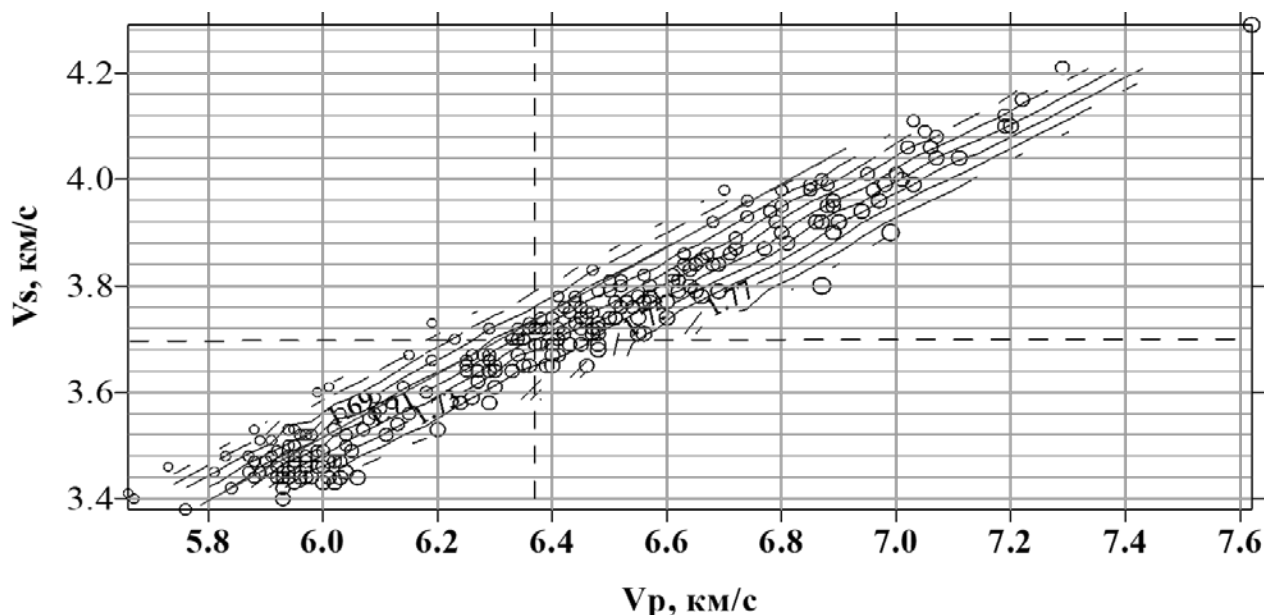


Рисунок 8 – Соотношение между  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  взрывов в квадрате  $\varphi = 41.79^\circ - 41.87^\circ$ ,  $\lambda = 78.17^\circ - 78.28^\circ$  Центрального карьера Кумторского месторождения. Кружочками обозначены наблюденные значения  $V_p/V_s$ . Значение  $V_p/V_s = 1,72$  выделено диагональной красной линией. Выше этой линии выделяются параллельные линии, где кружочки имеют малые значения  $V_p/V_s < 1,72$ , а ниже данной линии отмечаются параллельные линии, где кружочки имеют большие значения  $V_p/V_s > 1,72$

### Заключение

Для проведения исследования нами были выбраны только взрывы (землетрясения ~~были~~ исключены) в квадрате  $\varphi = 41.79^\circ - 41.87^\circ$ ,  $\lambda = 78.17^\circ - 78.28^\circ$  - в пределах Центрального карьера за январь – ноябрь 2019 г. При этом класс точности определения эпицентра взрывов  $d=1$ , среднеквадратическое отклонение времени пробега  $t_{ms} = 0.1$ , стандартное отклонение от времени вступления  $se = 0.1$ . Значения энергии взрывов находятся в пределах от  $10^4$  до  $10^7$  Дж.

На графику вариации скорости продольных волн  $V_p$  выделяется иерархия нелинейных асимметричных циклов - “ритмические составляющие”. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 4-14 сутки, циклов второго порядка – около 52-131 сутки.

На графике вариации скорости поперечных волн  $V_s$  отмечается иерархия асимметричных циклов. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 10-56 сутки, циклов второго порядка – около 52-153 сутки.

На графике вариации  $V_p/V_s$  наблюдается иерархия асимметричных циклов. Длительность периода циклов третьего порядка составляет 14.8-49.0 сутки.

### Литература

1. Технический отчёт NI 43-101 – 20 марта 2015 г., Компания «Центerra Голд Инк.» – Рудник Кумтор
2. Kanamori H. The energy release in great earthquakes. *J.Geophys.Res.* 1977. 82. 2981-7.
3. Akkar S, and Bommer J., Prediction of elastic displacement response spectra in Europe and the Middle East. // *Earthquake Engin. Struct. Dyn.* 2007. 11236. p.1275–1301.
4. Адушкин В.В., Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. О динамических процессах во внутренних геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн // Доклады РАН. 2001. Т. 381. № 6. С. 822–824.
5. Гамбурцева Н.Г. Временная изменчивость скоростных свойств среды по данным Семипалатинских ядерных взрывов // *Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью.* Бишкек. Илим. 2006. С. 94–104.
6. Меджитова З.А. Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов // *Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью.* Бишкек. Илим, 2006. С. 81–87.
7. Омуралиев М., Омуралиева А., Омурбек кызы К. Изменение состояния среды земной коры в реальное время вблизи Кумторских взрывов // *Вестник Института сейсмологии Национальной академии наук КР.* 2016. № 7. С. 76–86. <http://www.journal.seismo.kg/index.php/arkhiv/zhurnal-2016-1-7>.
8. Omuraliev M., Omuraleva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek: Ilim. 2004. 166 p.
9. Абдрахматов К. Е., Омуралиев М., Омуралиева А. Распределение флюидов, температуры в зонах Центрального Тянь-Шаня и подготовка сильных землетрясений. Бишкек. Триада принт. 2015. 206 с.

## К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ УЗБЕКИСТАНА

Рузимбаев Ф.Ф., Бозоров Ж.Ш., Тешаева Р.Б.

92jonibek92@mail.ru

Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*В статье приведен анализ результатов инженерно-геологических, сейсморазведочных и сейсмометрических исследований на площадках расположения исторических памятников архитектуры. При этом приведены результаты оценки сейсмической интенсивности на площадке Арк г. Бухары, Регистана в Самарканде, на территории города-крепости Ичан-Кала в Хиве, а также медресе Кукельдаш г. Ташкента. Установлено, что во всех площадках развиты насыпные грунты с разной толщиной и физико-механическими и сейсмическими свойствами, которые в целом и определяют сейсмичность площадки. В зависимости от соотношения основной массы и включений, длительности техногенного уплотнения, условий образования и других факторов, влияющих на устойчивость насыпных грунтов, имеющих сложные инженерно-геологические и сейсмические свойства. Результаты сейсморазведочных исследований на территории распространения исторически слежавшихся насыпных грунтов свидетельствуют о повышенных значениях упругих показателей по сравнению с другими типами насыпных грунтов. Сейсмическая интенсивность на территории распространения насыпных грунтов в зависимости от состояния и их свойств изменяется в пределах от 0 до 1 балла.*

*Ключевые слова: насыпные грунты, сейсморазведка, физико-механических свойств грунтов, упругие свойства грунтов, приращение балльности.*

### Введение

На территории Узбекистана сосредоточены многие исторические города с возрастом более 2000 лет, к которым относятся города Бухара, Самарканд, Хива, Андижан, Коканд, Ташкент, Наманган и др. Каждый из них отличается своей архитектурой, и наличием своеобразных исторических памятников в виде отдельных сооружений. Архитектурные и культурные памятники, площади, крепости, руины древних городищ - вот настоящие каменные страницы истории Узбекистана. Многие знают о грандиозной площади Регистан в Самарканде, крепости Арк и еще 170 значительных архитектурных памятников в Бухаре, средневековой Ичан-Кале в Хиве и многих других. Сохранение архитектурных памятников истории от природных и техногенных катастроф является главной задачей государства. Комплексные исследования, проведенные на территории расположения исторических памятников, свидетельствуют о наличии в толщах слоев насыпных грунтов, которые в зависимости от возраста и размеров площади имеют разные мощности, достигая 10-14 (крепость Арк) метров. В связи с этим основное внимание уделено изучению физико-механических и сейсмических свойств насыпных грунтов в основании исторических сооружений.

На урбанизированных территориях насыпные грунты накапливаются в результате перепланировки территории, засыпки оврагов, балок, прудов, гидрографической сети, возведения различных видов земляных и транспортных сооружений и т.д. При этом они представлены из самых различных материалов, включений, отходов различных производств и строительно-бытовых отходов. Несмотря на ограниченное их распространение, как по площади, так и по глубине, они нередко являются основанием для зданий и сооружений. В насыпных грунтах по содержанию различают основную массу и включения. В зависимости

от соотношения основной массы и включений, длительности техногенного уплотнения, условий образования и т.д., насыпные грунты имеют сложные инженерно-геологические и сейсмические свойства. Для изучения их упругих характеристик насыпные грунты подразделены на две категории:

1. Исторически слежавшиеся насыпные грунты.
2. Не слежавшиеся насыпные грунты.

### Анализ и результаты

На территории Узбекистана к первой категории относятся насыпные грунты, образовавшиеся в пределах исторических памятников архитектуры, исторических ансамблей, исторических частей города. К ним относятся историческая часть города Бухары, город крепость Ичан-Кала в Хиве, площадь Регистан в Самарканде, Эски Джуга в Ташкенте и др.

Инженерно-геологические свойства исторически слежавшихся грунтов подробно изучены А.М. Худайбергеновым [1], Ш.Р. Ибрагимовой и др. [2], А.С. Тураевым [3], Н.Г. Мавляновой, В.А. Исмаиловым и др. [4, 5, 6]. На основании комплексных лабораторных и полевых исследований ими установлены особенности изменения физико-механических свойств грунтов в пространстве.

Результаты сейсморазведочных исследований на территории распространения исторически слежавшихся насыпных грунтов свидетельствуют о повышенных значениях упругих показателей по сравнению с другими типами насыпных грунтов. Например, в пределах Арки г. Бухары имеет место развитие исторически слежавшихся насыпных грунтов, которые состоят из основной массы -70% преобразованных (переотложенных) суглинков и супесей, и включений - 30% различной крупности обломков (обломки кирпича, продукты отходов гончарного производства и др.). В толще выделяются три слоя насыпных грунтов с различными упругими характеристиками: верхний (до глубины 1,5м) со значениями  $V_P = 290-330$  м/с и  $V_S$  от 110 до 140 м/с; средний (в интервале глубин 1,5-5,0м) со значениями  $V_P$  и  $V_S$ , соответственно 450-610, в среднем 500 м/с, и 170-240, в среднем 210 м/с, отношение  $V_P/V_S$  в среднем 2,39; нижний слой вскрывается на глубинах от 5 до 12,0 м и относится к наиболее древним и уплотненным. Здесь упругие свойства грунтов имеют:  $V_P - 900-1200$  м/с, в среднем 1000 м/с,  $V_S - 270-460$  м/с, в среднем - 350 м/с.

Средние значения упругих характеристик насыпных грунтов исторической площадки Арк для всей толщи составляют:  $V_P -$  от 690 до 920 м/с, в среднем 770 м/с;  $V_S -$  от 200 до 350 м/с, в среднем 250 м/с. Близкие к этим значениям упругих свойств имеют насыпные грунты на площади Регистан в г. Самарканде и в медресе Кукельдаш в г. Ташкенте.

На территории г. Бухары развиты в основном глинистые, песчаные обломочные грунты, имеющие близкое залегание грунтовых вод. На незначительной части древней застройки развиты насыпные грунты мощностью 3-5 м, редко до 14 м. Результаты геофизических исследований позволили составить геосейсмический разрез (рис.1).

Для оценки сейсмических свойств в зависимости от инженерно-геологических условий грунтов по характерным точкам сейсморазведочных данных составлены сейсмогеологические разрезы. Выделено 6 инженерно-геологических слоев, различающихся по скоростным характеристикам (табл. 1).

Вычисленные значения приращений сейсмической интенсивности в точках наблюдений варьируют в пределах от +0,73 до -0,45 балла.

В целом необходимо отметить, что на значительной части исследуемой территории, где распространены мощные толщи насыпных грунтов, приращения сейсмической интенсивности достигают  $\Delta J$  до +0,73 балла.



Рисунок 1 – Сейсмогеологическая колонка пунктов установки сейсмометрических станций на территории г. Бухара: где 1. Насыпные отложения; 2. Супеси и суглинки; 3. Пески мелкозернистые; 4. Переслаивающиеся толщи песчаников и глин; 5. Гравийно-галечниковые отложения; 6. Переслаивающиеся алевролиты и гравелиты; 7. Глубина залегания уровня грунтовых вод; 8. Скорость прохождения продольных волн (м/сек); 9. Коэффициент пористости; 10. Объёмная масса влажного грунта (г/см<sup>3</sup>); 11. Пункт сейсмометрических наблюдений, в скобках приращение балльности. Скорости сейсмических волн могут быть использованы как прямой показатель при оценке сейсмической интенсивности

Таблица 1 – Обобщенные значения инженерно-геологических и сейсмических свойств грунтов на территории г. Бухара

	Типы грунтов	Мощность слоя (м)	Скорость м/сек		Плотность т/м <sup>3</sup>	Влажность %	Пористость
			Vp	Vs			
2	Насыпные грунты	3-12	200-350	110-280	1,70-1,78	14,4-18,2	36,0-43,3
3	Супеси и суглинки	5-11	360-1200	180-460	1,85-2,03	14,5-22,7	35,3-44,8
4	Пески мелкозернистые	05,-6	1000-1400	350-650	1,60-2,10	17,0-35,9	27,8-50,1
5	Гравийно-галечниковые	1-6	1600-1700	700-900	2,12-2,46	4,0-9,0	
6	Песчаники, левролиты, глины	40	1600-2500	850-1100	1,73-1,81	1,1-2,0	9,2-30,0

Инженерно-геологические и сейсморазведочные исследования на площади Регистан в г. Самарканде показывают, что основанием ансамбля служат в основном насыпные грунты с мощностью 9 м, которые по составу и уплотнённости состоят из двух слоев. На рисунке 2 представлен сейсмогеологический разрез, состоящий из двух слоев. Верхний слой мощностью 4-5 м представлен насыпными грунтами, состоящими из суглинков нарушенной структуры и включений более 30% строительных и бытовых отходов. Нижний слой представлен также насыпными грунтами с включениями до 30% обломочных строительных материалов, которые образовались в результате перемещения преобразованных лессовых пород с производственными, хозяйственно-бытовыми и строительными отходами.

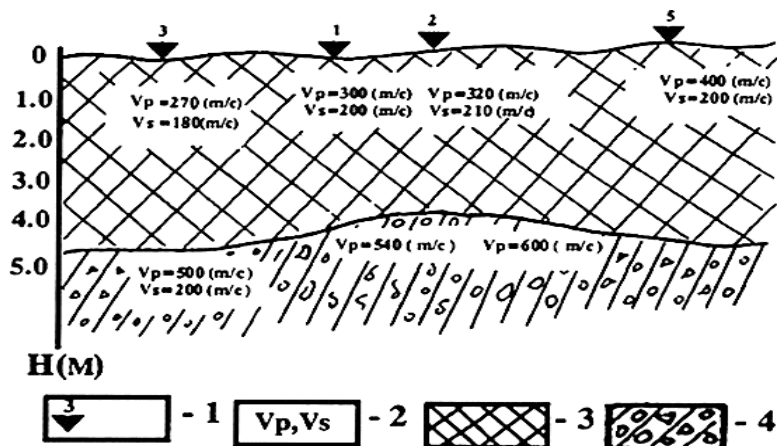


Рисунок 2 – Сейсмогеологический разрез площади Регистан в г. Самарканде: 1 - пункт наблюдений, 2 - скоростные характеристики грунтов, 3 - насыпные грунты с содержанием включений более 30%, 4 - насыпные грунты с содержанием включений до 30%

Инженерно-геологические и сейсмические свойства насыпных грунтов площади Регистан приведены в таблице 2, где также показана сейсмическая интенсивность площадки.

Таблица 2 – Инженерно-геологические и сейсмические свойства насыпных грунтов площади Регистан с оценкой приращения сейсмической интенсивности

Слой	Мощность, м.	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Степень водонасыщения	Скорость, м/сек		Сейсмическая жесткость по Vs	Модуль деформации	Модуль сдвига, МПа	Приращение, в баллах
				V <sub>p</sub>	V <sub>s</sub>				
Верхний	4-5	1,58	0,8	320	190	0,15	21,0	5,5	+0,87
Нижний	5-6	1,78	1,0	550	270	0,27	32,0	13,2	

Приведенные данные свидетельствуют о том, что на площади Регистан сейсмическая интенсивность усиливается за счет грунтовых условий на один балл. Исходя из этого, можно предположить, что максимальное сейсмическое воздействие на архитектурный ансамбль определяется с учетом региональной сейсмичности 9 баллов по шкале MSK-64.

Подобные исследования проведены также на территории города-крепости Ичан-Кала с целью выявления и изучения причин развития деформации архитектурных памятников и оценки сейсмичности города-крепости. В работе [6] детально рассмотрены и приведены результаты инженерно-геологических, сейсморазведочных и деформометрических исследований. В связи с этим следует отметить, что исторические сооружения на территории города-крепости Ичан-Кала построены на поверхности толщ насыпных грунтов, мощность которых достигает 7 м. Насыпные грунты, состоящие из переотложенных суглинков с включением строительных, бытовых и органических обломков, подстилаются мощной толщей мелко-среднезернистых сухих песков. Анализ результатов сейсморазведочных

исследований показывает, что насыпные грунты характеризуются повышенными значениями скорости волн, чем подстилающие песчаные отложения. В целом приращение сейсмической балльности эталонных грунтов с характеристиками 1,275 жесткости составляет +0,68, т.е. 1 балл. Расчетная сейсмичность на территории города-крепости Ичан-Кала составляет 8 баллов.

Насыпные грунты не слежавшихся категорий изучены на территории г. Ташкента. При этом были проведены сейсморазведочные исследования по двум профилям и опытные работы по оценке деформационных свойств.

Насыпные грунты в основном сформировались в результате планировки территории овражно-балочной сети в районе Урикзора. Засыпка оврагов, суходолов, приточных долин арыка Каракамыш строительным и бытовым мусором началась в 80-тые годы прошлого столетия, в связи с освоением территории для жилищного строительства. Мощность грунтов в отдельных участках составила 14-15 м. По данным сейсморазведочных исследований в районе установлено двухслойное строение насыпных грунтов:

Первый слой распространен до глубины 1,0-2,5 м. В нем скорости распространения сейсмических волн имели:  $V_P$  – от 140 до 230 м/с, в среднем 180 м/с;  $V_S$  – от 100 до 130 м/с, в среднем 120 м/с.

Второй распространен на глубинах от 1,0-2,5 м до 10-15 м, т.е. до уровня грунтовых вод. Здесь  $V_P$  изменяется от 300 до 500 м/с, в среднем 360 м/с и  $V_S$  – от 110 до 270 м/с, 180 м/с. Исходя из этого следует отметить, что насыпные грунты, хотя являются неоднородными по составу, имеют определенную закономерность. Среди них наиболее важным на наш взгляд является особенность изменения скорости распространения продольных и поперечных волн в зависимости от содержания преобладающей массы насыпных грунтов. Преобладающая масса, состоящая из более-менее однородных частиц, в большинстве случаев – это продукты разрушения природных тел. Включениями являются различные по составу и содержанию отходы промышленно-строительных производств и инженерно-хозяйственные отходы.

### Вывод

В целом расчеты приращения сейсмической интенсивности по методу сейсмических жесткостей по поперечным волнам (по отношению эталонных грунтов, принятых при СМР г. Ташкента) на территории распространения насыпных грунтов, не-слежавшейся категории, показывают об изменении приращений от +0,97 до +1,24 баллов.

В таблице 3 приведены результаты обобщения гранулометрического состава и упругих свойств, из которой видно, что для каждой конкретной категории грунтов значения скоростей продольных и поперечных волн варьируют в довольно широких пределах. Материалы исследований на всех опытных участках свидетельствуют о закономерном увеличении плотности грунта и скорости распространения продольных и поперечных волн.

Таблица 3 – Характеристика упругих свойств насыпных грунтов с различным гранулометрическим составом преобладающей массы

№	Гранулометрический состав насыпных грунтов	Упругие свойства, м/сек		$V_P/V_S$
		$V_P$	$V_S$	
1.	Глинистые и пылеватые фракции (менее 70%)	$\frac{240 - 950}{300}$	$\frac{80 - 140}{100}$	4,0-6,5
2.	Глинистые и пылеватые фракции (более 70%)	$\frac{290 - 1060}{510}$	$\frac{120 - 260}{200}$	3,1-4,0
3.	Песчаная фракция (более 70%)	$\frac{350 - 1600}{640}$	$\frac{160 - 360}{380}$	2,5-3,5
4.	Песчано-щебнистые фракции (менее 50%)	$\frac{600 - 1850}{900}$	$\frac{270 - 600}{450}$	2,0-3,0
5.	Щебнисто-глыбовые фракции (более 50%)	$\frac{1000 - 2000}{1600}$	$\frac{650 - 900}{950}$	1,53-2,2



Таким образом, упругие свойства насыпных грунтов изменяются в зависимости от гранулометрического состава преобладающей массы, количественного содержания различных включений, степени уплотненности, плотности и возраста в больших пределах. На основе проведенных исследований установлено, что сейсмическая интенсивность на территории распространения насыпных грунтов увеличивается на 1 балл. Учитывая это, при оценке расчетной сейсмичности площадки с насыпными грунтами мощностью более 5 м от подошвы фундамента рекомендуется принимать сейсмическую интенсивность +1 балл.

### Литература

1. Худайбергенов А.М. Особенности и закономерности инженерно-геологических условий Самарканда и их типизация // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. Ташкент. 2005. № 2.
2. Ибрагимова Ш.Р., Худайбергенов А.М. Об антропогенных отложениях Самарканда // Узб. геол. журнал. Ташкент. 1975.
3. Тураев А.С. Исследования техногенных изменений геологической среды г. Бухары и мероприятия по ее охране: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Ташкент: ГИДРОИНГЕО. 1994. 26 с.
4. Mavlyanova N.G., Ismailov V.A., Zakirov M.M. Deformations of ancient structures of Ichan-Kala in Khiva and prevention techniques // Proceeding of the 2<sup>nd</sup> International Congress of Studies in Ancient Structures (Istanbul, 7-12 July 2001). Istanbul, 2001.
5. Mavlyanova N.G., Ismailov V.A. Influences of human activity on deformations of the ancient structures of Ichan-Kala in Khiva City // J. Geotechnical and Geological Engineering. 2004. 22(1). 135-50.
6. Мавлянова Н.Г., Исмаилов В.А., Закиров М.З. Анализ деформаций древних памятников архитектуры города Хивы // Сергеевские чтения. Вып. 6. Инженерная геология и охрана геологической среды. Современное состояние и перспективы развития (г. Москва, 23-24 марта 2004 г.). М. 2004. С. 394-397.
7. Исмаилов В.А., Инженерно-сейсмологические основы разноуровневой оценки сейсмического риска. Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Ташкент. 2019. 59 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОБНАЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Тажибаев К.Т., Аскербекоев И.Н., Шоруков А.К.

*kushbak@yandex.ru*

Институт геомеханики и освоения недр Национальной академии наук Кыргызской Республики,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Приведены результаты исследований по закономерностям изменения характеристик прочностных свойств горных пород от угла между направлением слоистости и разрушающей силы. Показано, что отличительной особенностью горных пород Кумторского месторождения, которые представлены различными филлитами, является их слоистая структура, так как они имеют осадочное и метаморфическое происхождение. При расчетах устойчивости бортов карьера месторождения рекомендовано рассматривать вскрышные горные породы как слоистую и анизотропную по механическим свойствам среду. Расчетами на примере углеродистого филлита показано, что коэффициент запаса устойчивости борта карьера, сложенного слоистыми породами, может существенно изменяться в зависимости от угла между направлением слоистости и разрушающей силы, и поэтому рекомендовано учитывать анизотропии механических свойств слоистых горных пород при определении устойчивости бортов карьеров и обнажений подземных горных выработок.*

*Ключевые слова: горная порода, анизотропия, устойчивость, слоистость, прочность.*

В работе [2] отмечается, что, несмотря на многочисленность исследований, при определении устойчивости бортов карьера в неполной мере учитывается изменчивость показателей механических свойств горных пород. В частности, в расчетах устойчивости бортов карьера не учитывается изменчивость механических свойств горных пород из-за изменений направления их слоистости по отношению к направлению разрушающей силы. В связи с этим необходимы исследования закономерностей изменения характеристик механических свойств от угла между направлением слоистости и разрушающей силы. Отличительной особенностью горных пород Кумторского месторождения, которые представлены различными филлитами, является их слоистая структура, так как они имеют осадочное и метаморфическое происхождение. Поэтому при расчетах устойчивости бортов карьера необходимо рассматривать вскрышные горные породы данного месторождения как слоистую и анизотропную по механическим свойствам среду.

В результате исследований прочностных свойств горных пород Кумторского месторождения получены формулы, позволяющие определять механические характеристики горной породы для различных углов (по отношению направления разрушающей силы) слоистости исходя из прочности для известного угла слоистости [1,2,3]:

$$\sigma_{сж(\alpha_i)} = \sigma_{сж(90)} + \frac{2 - \sigma_{сж(90)}}{2} \sin 2\alpha, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – угол между направлением слоистости и разрушающей силы;

$\sigma_{сж(\alpha_i)}$  - прочность при одноосном сжатии для  $i$ -го угла слоистости  $\alpha$ ;

$\sigma_{сж(90)}$  - прочность при одноосном сжатии перпендикулярно слоистости ( $\alpha = 90^\circ$ ).

$$\sigma_{p(\alpha_i)} = \sigma_{p(90)} - 7 \cos \alpha, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – угол между направлением слоистости и разрушающей силы (Бразильский метод);

$\sigma_{p(\alpha_i)}$  – прочность при одноосном растяжении для  $i$ -го угла слоистости;

$\sigma_{p(90)}$  – прочность при растяжении (Бразильский метод, максимальная прочность) перпендикулярно слоистости ( $\alpha=90^\circ$ ).

Формула 2 применима для определения прочности на одноосное растяжение для разных углов слоистости скальных горных пород с прочностью  $\sigma_{p(90)}$  от 7,1 до 30 МПа. Данный диапазон области применения формулы охватывает все основные скальные слоистые горные породы. Для определения коэффициента прочности растяжения слабых глинистых горных пород и грунтов необходимо проводить дополнительные экспериментальные исследования.

В случае, если не известно  $\sigma_{p(90)}$ , а известно другое какое-нибудь значение  $\sigma_{p(\alpha_i)}$ , например для  $40^\circ$  (или для другого угла), то по известному значению  $\sigma_{p(40)}$  находим сначала  $\sigma_{p(90)}$  (максимальное значение) по формуле 2, а затем находим все другие возможные значения –  $\sigma_{p(\alpha_i)}$ . Для определения значений прочности для разных углов слоистости при одноосном сжатии  $\sigma_{сж(\alpha_i)}$  также можно исходить из имеющегося значения прочности для любого угла.

Для расчетов устойчивости обнажений горных выработок, в том числе бортов карьеров обычно применяются: показатель сцепления  $C$  и угол внутреннего трения  $\varphi$  горных пород. Эти показатели также в существенной мере зависят от угла слоистости горных пород. Для определения показателя сцепления и угла внутреннего трения слоистых горных пород предложены следующие формулы [2]:

$$C_{(\alpha_i)} = \frac{\sqrt{\sigma_{сж(\alpha_i)} \sigma_{p(\alpha_i)}}}{2}, \quad \operatorname{tg} \varphi_{(\alpha_i)} = \frac{\sigma_{сж(\alpha_i)} - \sigma_{p(\alpha_i)}}{2\sqrt{\sigma_{сж(\alpha_i)} \sigma_{p(\alpha_i)}}} \quad (3)$$

Для углеродсодержащего филлита месторождения Кумтор (участок Сары-Тор, скважина SR-12-205, интервал 177,5-178,5 м, цилиндрические образцы) прочность на растяжение перпендикулярно слоистости ( $\alpha=90^\circ$ ) 7,24 МПа, на одноосное сжатие =43,2 МПа. Экспериментальные результаты показали, что величины прочности при одноосном сжатии, в зависимости от угла слоистости, изменяются до 2-х раз, так как часто трещины развиваются по направлениям слоистости (рис.1).

В качестве примера, находим значения прочностных характеристик углеродсодержащего филлита для разных углов слоистости по формулам 1 и 2. Результаты определения прочности при одноосном сжатии для разных углов слоистости углеродсодержащего филлита месторождения Кумтор (участок Сары-Тор, скважина SR-12-205, интервал 177,5-178,5 м.) представлены на рисунке 2.



Рисунок 1 – Виды разрушения образцов вскрышных горных пород Кумторского месторождения при одноосном сжатии

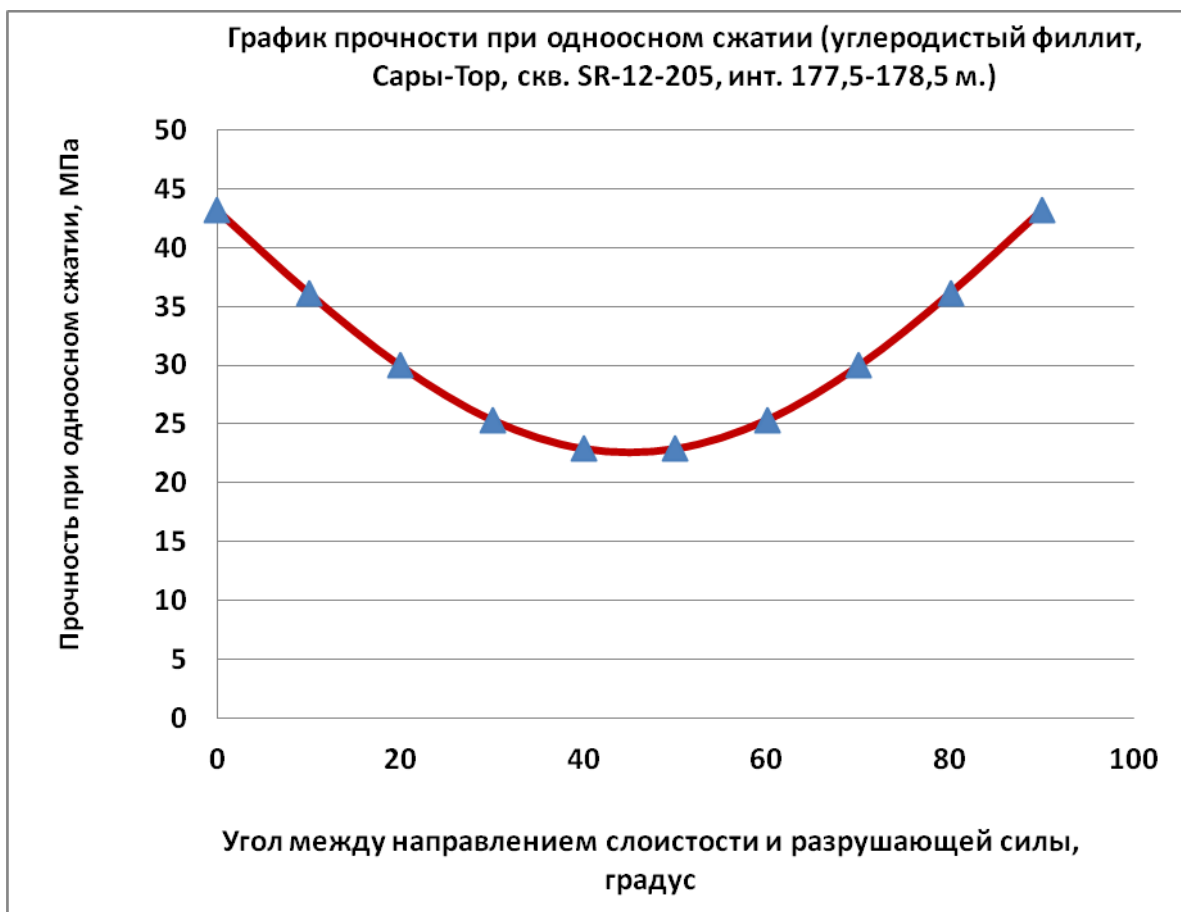


Рисунок 2 – Зависимость прочности при одноосном сжатии от угла слоистости (углеродистый филлит, Сары-Тор, скв. SR-12-205, инт. 177,5-178,5 м.)

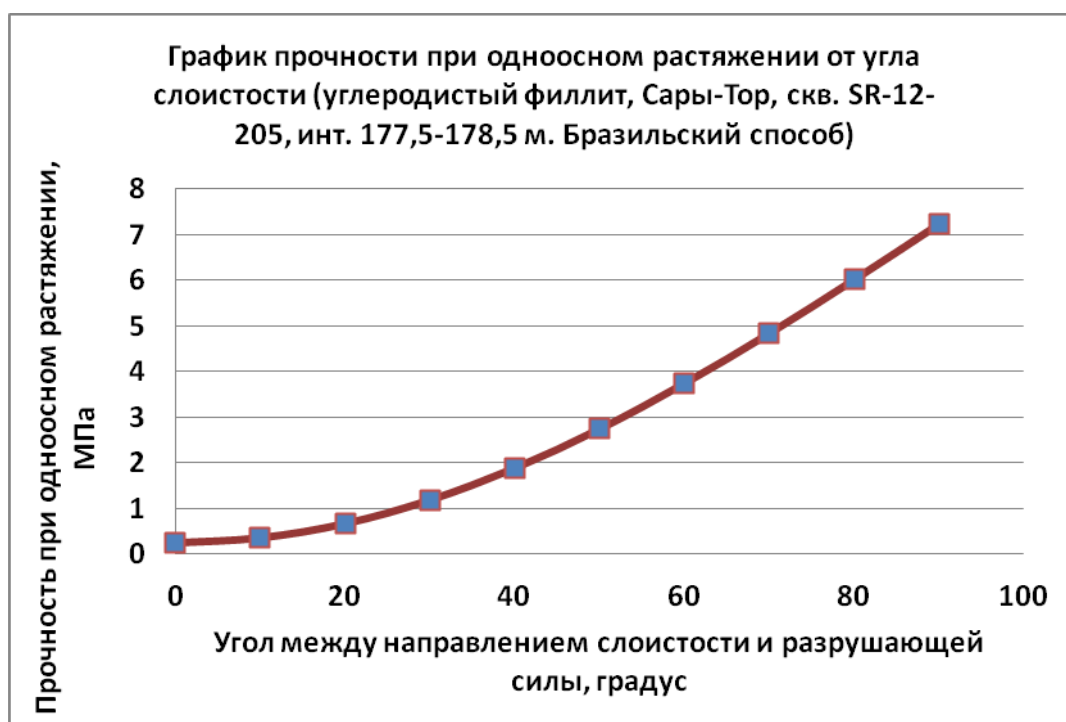


Рисунок 3 – Зависимость прочности при одноосном растяжении от угла слоистости (углеродистый филлит, Сары-Тор, скв. SR-12-205, инт. 177,5-178,5 м., Бразильский способ)

По значениям прочностных характеристик углеродистого филлита находим по формуле 3 значения сцепления и угла внутреннего трения для разных углов слоистости (рис.4 и 5).

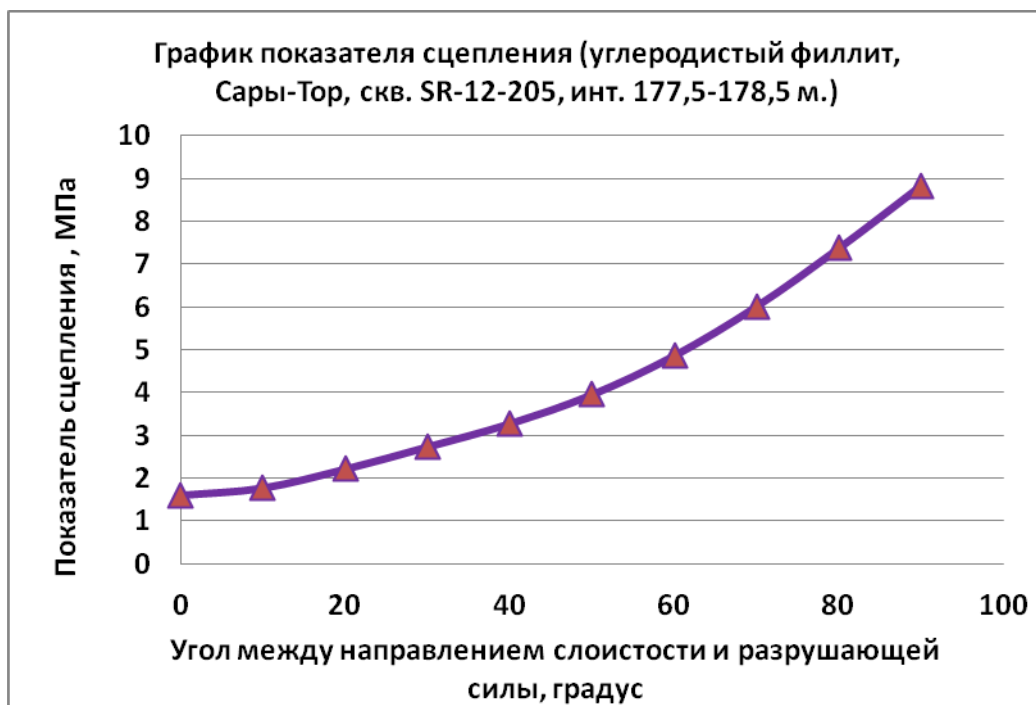


Рисунок 4 – Зависимость показателя сцепления от угла слоистости (углеродистый филлит, Сары-Тор, скв. SR-12-205, инт. 177,5-178,5 м.)

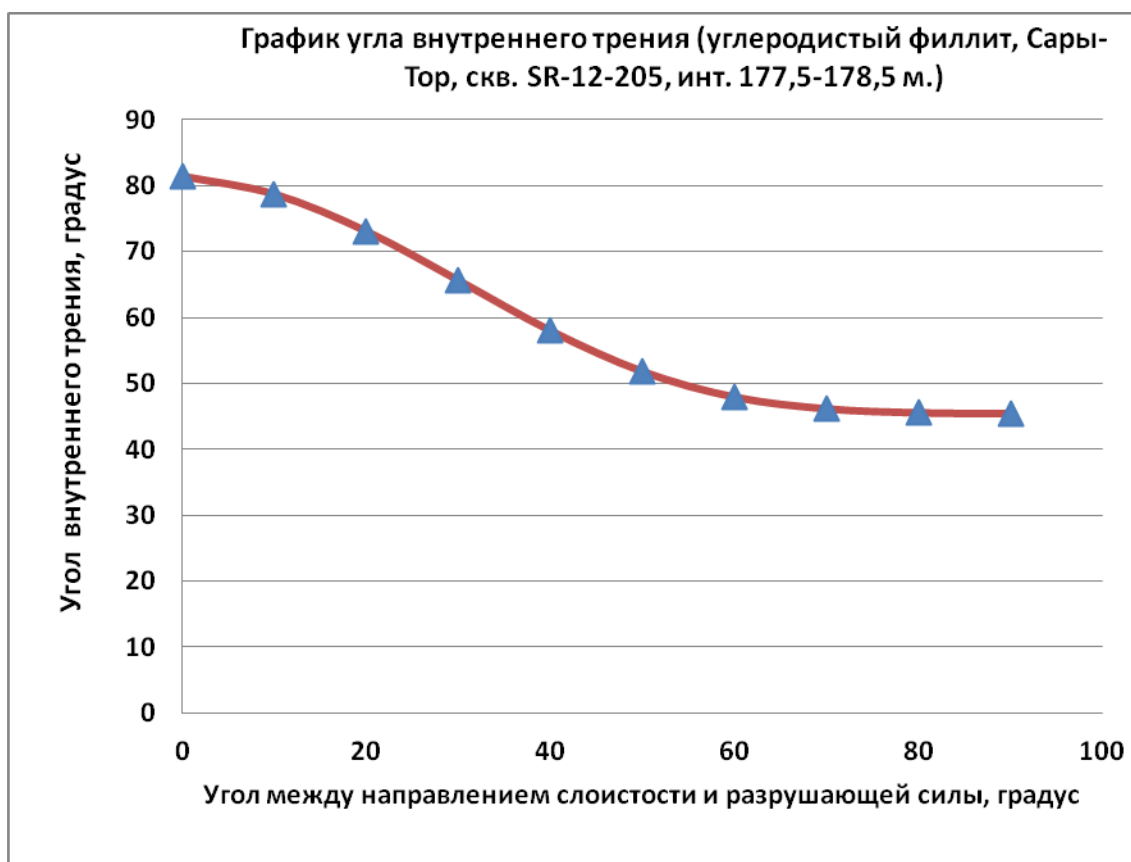


Рисунок 5 – Зависимость угла внутреннего трения от угла слоистости (углеродистый филлит, Сары-Тор, скв. SR-12-205, инт. 177,5-178,5 м.)

По методу напряжения [4] коэффициент запаса прочности с учетом слоистости горных пород определяется по следующей формуле [2].

$$\eta_{\text{На}_i} = \frac{2k_c C_{\alpha_i} + \text{tg} \varphi_{\alpha_i} \cdot \gamma \cdot h_i [(1 + \lambda_i) - (1 - \lambda_i) \cdot \sin \varphi_{\alpha_i}]}{\gamma \cdot h_i (1 - \lambda_i) \cdot \cos \varphi_{\alpha_i}} \quad (4)$$

где  $k_c$  - коэффициент структурного ослабления;  $\gamma$  - объемный вес;  $h_i$  - рассматриваемая глубина, м.;  $\lambda_i$  - коэффициент бокового распора породы.

Для углеродистого филлита, Сары-Тор (скв. SR-12-205, инт. 177,5-178,5 м.)  $\gamma = 2,84$  Т/м<sup>3</sup>;  $\lambda_i = \frac{\mu}{1 - \mu} = \frac{0,24}{1 - 0,24} = 0,32$ ; коэффициент структурного ослабления 0,7; глубину

принимаям 200 м. В качестве примера, для вышеуказанных исходных данных, определим значения коэффициента запаса устойчивости обнажения для разных углов слоистости углеродистого филлита (углов между направлением слоистости и разрушающей силы). Результаты определения коэффициента запаса устойчивости с учетом слоистости углеродистого филлита представлены на рисунке 6.

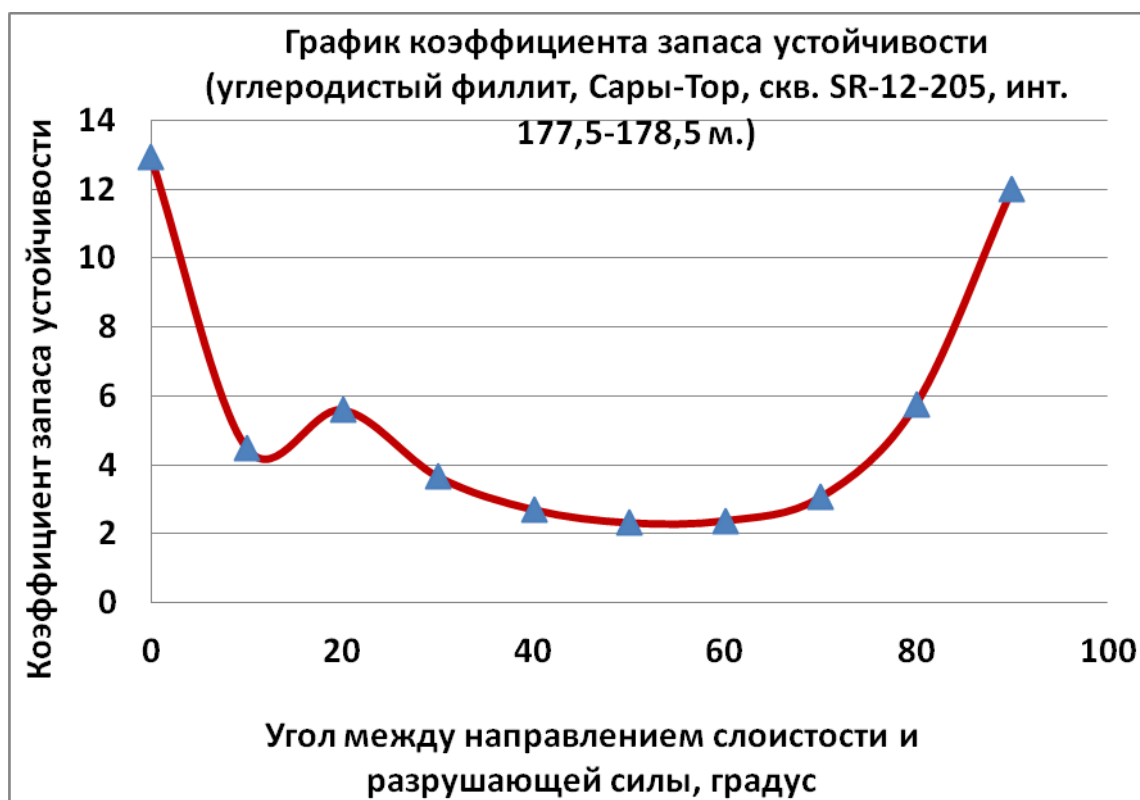


Рисунок 6 – Зависимость коэффициента запаса устойчивости от угла между направлением слоистости и разрушающей силы (углеродистый филлит, Сары-Тор, скв. SR-12-205, инт. 177,5-178,5 м., глубина карьера 200 м.,  $k_c = 0,7$ )

Как видно из рисунка 6, коэффициент запаса устойчивости существенно изменяется в зависимости от угла между направлением слоистости и разрушающей силы. Наиболее опасными, с точки зрения устойчивости обнажения горной выработки (борта карьера), являются случаи, когда угол между направлением слоистости (падающая в сторону выработанного пространства) горной породы и разрушающей (вертикальная гравитационная сила) силы, составляет 40° – 60°. Исходя из вышеуказанных экспериментальных и расчетных данных, считаем, что при определении устойчивости бортов карьеров и обнажений подземных горных выработок необходимо учитывать анизотропию механических свойств слоистых горных пород.

## Литература

1. Тажибаев Д.К. Обоснование устойчивости бортов карьера с учетом анизотропности механических свойств горных пород (на примере Кумторского месторождения). Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Бишкек. 2009. 26 с.
2. Тажибаев Д.К., Тажибаев К.Т. Влияние анизотропности горных пород на устойчивость обнажений горных выработок. Бишкек: Издат. центр «Текник». 2014. 124 с.
3. Тажибаев К.Т., Тажибаев Д.К. Метод учета анизотропности механических свойств слоистых горных пород при расчетах устойчивости обнажений открытых и подземных горных выработок // Известия Кыргызского технического университета им. И. Раззакова. 2006. № 8. С. 65-75.
4. Полищук С.З. Геомеханические задачи рационального природопользования на открытых горных работах. Киев: Наукова думка. 1998. 180 с.

## ВЛИЯНИЕ РЕК ТАЛАС И АССА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТАЛАС-АССИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Тажиев С.Р.<sup>1,2</sup>  
*sula\_tashiev@mail.ru*

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К.И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup>Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина, г. Алматы,  
Республика Казахстан

*Рассмотрены вопросы взаимосвязи подземных и поверхностных вод и роль речного стока в формировании эксплуатационных запасов Южной части Талас-Ассинского месторождения, которое приурочено к междуречью рек Талас-Асса и разведано для организации крупного централизованного водоснабжения г. Тараз, близлежащих аулов и промышленных объектов. Поверхностные воды являются источником питания аллювиального водоносного горизонта месторождения, реки представляются гидродинамическими границами с контуром постоянного напора. Питание за счет поверхностных водотоков оцениваются в 7-9% от многолетнего среднегодового речного стока. Кировское водохранилище, реки Талас и Асса являются трансграничными водными объектами Казахстана и Кыргызстана, что в условиях дефицита водных ресурсов региона требует совместного межгосударственного решения вопросов водопотребления.*

*Ключевые слова: река, месторождение подземных вод, питание подземных вод, фильтрация, аллювиальные отложения, инфильтрация, бассейн реки, водный баланс, естественные ресурсы, естественные запасы.*

Реки Талас и Асса являются трансграничными водными объектами Казахстана и Кыргызстана, что в условиях дефицита водных ресурсов региона, требует совместного межгосударственного решения вопросов водопотребления. [3]

Река Талас берет начало на седловине между Киргизским хребтом и Таласским Алатау, образуется в результате слияния рек Каракол и Учкошай на территории Кыргызстана и теряется в песках Мойынкум на территории Казахстана. Река, проходя через узкую V – образную долину в горах Акташ (на территории Кыргызстана), выходит на Таласскую впадину, где формирует обширную аккумулятивную аллювиальную равнину. [4]

Общая протяженность реки составляет 661 км, площадь водосбора – 52700 км<sup>2</sup>, из которых 22% приходится на территорию Кыргызстана, 78% - Казахстана. Основное питание р. Талас получает в своих верховьях за счет таяния снежников и ледников (около 80% стока реки формируется в Кыргызстане). Общий объем водных ресурсов бассейна оценивается в 1,5 км<sup>3</sup>.

На выходе из гор максимальные расходы р. Талас, по данным разведочных работ [4] выражаются в количестве 116 м<sup>3</sup>/с (июнь-август), а минимальные – 22 м<sup>3</sup>/с (декабрь-февраль), среднегодовой многолетний сток - 29,6 м<sup>3</sup>/с. Современный гидрологический режим стока р. Талас формируется под влиянием Кировского водохранилища на территории Кыргызстан, введенным в эксплуатацию значительно позже периода разведочных работ.

Река Аса (Асса) - формируется из слияния множества малых рек, берущих начало на отрогах Таласского Алатау (Кыргызстан) и теряется в песках Мойынкум (Казахстан). Максимальные расходы реки на выходе из гор (пост Маймак) в паводковый период достигают 65 м<sup>3</sup>/с (апрель-май), с последующим за ним снижением до 7-10 м<sup>3</sup>/с. Многолетний среднегодовой сток р. Асса по посту Маймак оценивается в 13,1 м<sup>3</sup>/с.



Поверхностные воды р. Асса посредством искусственного межбассейнового ирригационного канала «Аса-Талас», используются для орошения земель хозяйствующих субъектов, на территории южнее г. Тараз. Кроме того, р. Асса является гарантированной емкостью, из которого осуществляются плановые попуски (до 10 м<sup>3</sup>/с) для восполнения стока р. Талас в маловодные годы, обеспечивающим необходимую мощность работы Жамбылской ГРЭС. [2]

Аллювиальные отложения долин рек Талас и Асса при выходе из гор образуют единую обширную равнину, с пространственными границами которого отождествляется Талас-Ассинское месторождение (ТАМ) подземных вод, разведанное для организации крупного централизованного водоснабжения. Месторождение на условной широте 43° разделено выходами на дневную поверхность каменноугольных пород в виде цепи отдельных сопок (относимых к восточным отрогам хр. Каратау), на южную и северную части (Рисунки 1 и 2).

Сток бассейна рек Талас и Асса проходит через плиоцен-четвертичную толщу межгорной впадины, аккумулируясь в ней. Вопросы взаимосвязи подземных и поверхностных вод, с количественной оценкой обеспеченности эксплуатационных ресурсов ТАМ рассмотрены на основе балансовых расчетов.

Водный баланс южной части Талас-Ассинского месторождения в нарушенных условиях можно выразить следующим уравнением:

$$Q_{э} = Q_e + \Delta V_e + V_p + W + W_o + Q_{np} \quad (1)$$

$$Q_{np} = \Delta V_p + Q_{\delta} + \Delta Q_{\delta} + T \quad (2) [1]$$

где

$Q_{э}$  – эксплуатационные ресурсы, м<sup>3</sup>/сутки;

$Q_e$  – естественные ресурсы, соответствующие расходу аллювиального потока в условиях, ненарушенных эксплуатацией водозаборов, м<sup>3</sup>/сут;

$\Delta V_e$  – ресурсы, формирующиеся за счет сработки естественных запасов в области влияния водозаборов, м<sup>3</sup>/сут;

$V_p$  – разгрузка речного стока в р. Талас в естественных условиях, перехватываемый водозабором, м<sup>3</sup>/сут;

$W$  – инфильтрация атмосферных осадков, м<sup>3</sup>/сут;

$W_o$  – питание за счет потерь оросительных вод, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{np}$  – ресурсы, привлекаемые при эксплуатации водозаборов, м<sup>3</sup>/сут;

$\Delta V_p$  – дополнительные потери речного стока в условиях эксплуатации водозаборов, м<sup>3</sup>/сут;

$Q_{\delta}$  и  $\Delta Q_{\delta}$  – боковые притоки и их приращение за счет увеличения гидравлических градиентов в области депрессии водозаборов, м<sup>3</sup>/сутки

$T$  – приращение ресурсов за счет инверсии эвапотранспирации, вследствие снижения уровня подземных вод в области депрессии водозаборов, м<sup>3</sup>/сутки.

Очевидно, когда рассматриваем речной сток, как источник формирования эксплуатационных запасов, а естественные запасы, как емкость, регулирующую (неравномерное за многолетие) поступление речного стока и обеспечивающую стабильную работу водозаборов в южной части ТАМ, то не имеет принципиального значения распределение стока в годовом разрезе. Поэтому, во всех балансовых расчетах достоверность гидрогеологических прогнозов обеспечивается оперированием средних значений водно-балансовых параметров, надежность которых основана на многолетней регулирующей роли естественных запасов.

Естественные ресурсы на расчетном створе южной части ТАМ, формируются расходом потока с горных сооружений в южной, западной и восточной обрамлениях междуречья (основной области питания южной части Талас-Ассинского месторождения). Величина разгрузки трещинных вод со стороны гор Кызыладыр, Акташ, Ичкелетау (южная часть) и Киргизского хребта (на востоке) определена в процессе разведочных работ. Дебиты

родников в зонах тектонических нарушений достигают  $0,08 \text{ м}^3/\text{с}$ . Питание в пределах междуречья оценивается в  $2,4 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $0,057 \text{ м}^3/\text{с}$  на  $1 \text{ км}$ . [1])

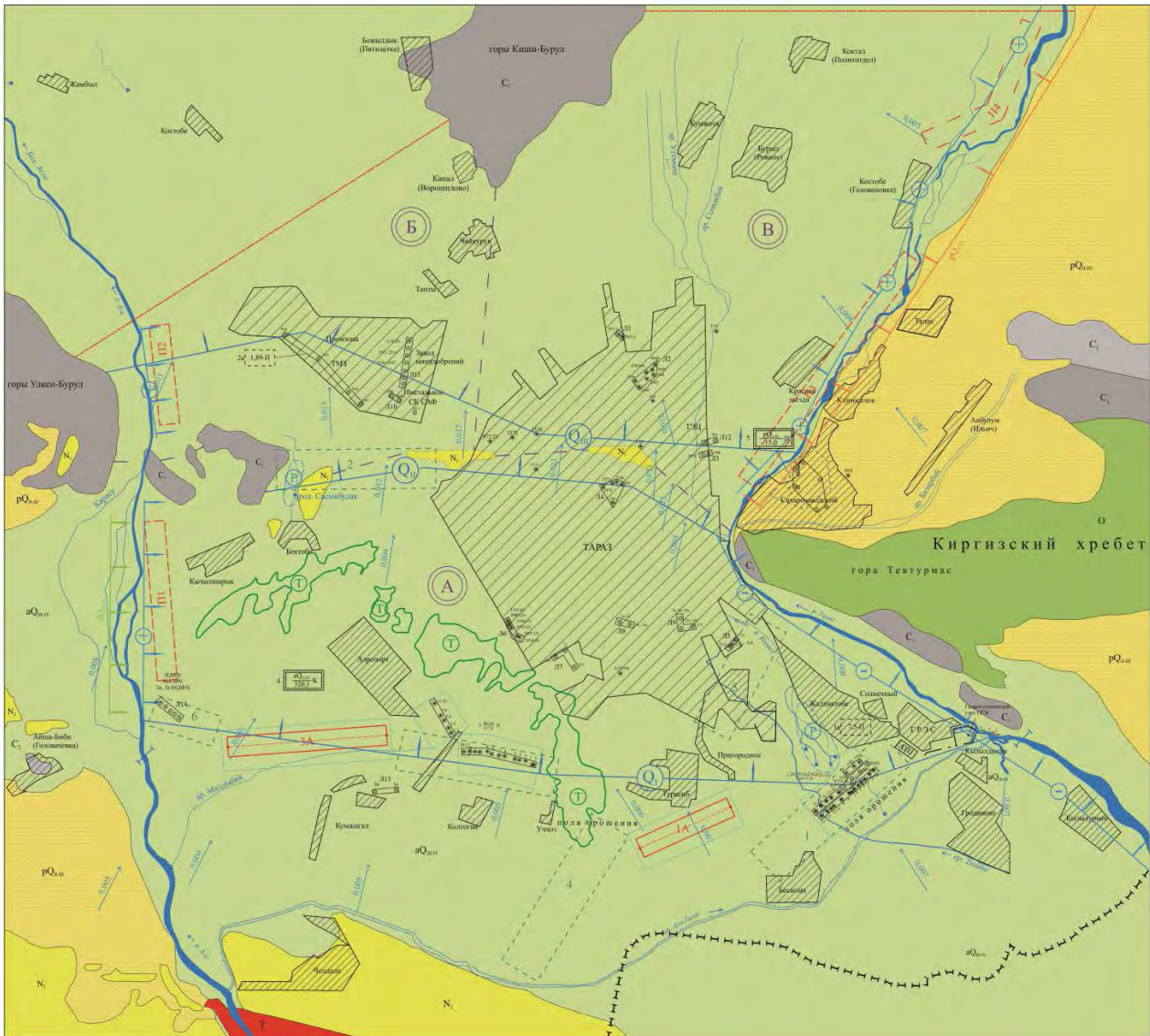


Рисунок 1 – Схематическая гидрогеологическая карта междуречья Талас-Аса

### Условные обозначения

	Водосытый горизонт верхнечетвертичных - современных аллювиальных отложений: валуно-галечники, галечники, реже пески с галькой и гравием.		Подземный поток четвертичного аллювия по сторонам I-I, II-II и III-III.
	Водосытый горизонт средне - верхнечетвертичных пролювиальных отложений: валуно-галечники, галечники, щебень, гравий, переслаивающиеся с суглинками и супесями.		Боковой водоприток: указан геологический индекс водосытого горизонта, формирующего приток.
	Водосытый комплекс плиоценовых отложений: конгломераты, гравелиты, прослойки песчанники, известняковые алевролиты, переслаиваемые с глинами.		Питание подземных вод из реки.
	Водосытые зоны трещиноватости нижнекаменноугольных пород: песчанники, алевролиты, известняки, конгломераты, гравелиты.		Разгрузка подземных вод в реку.
	Водосытые зоны трещиноватости среднекаменноугольных пород: песчанники, алевролиты, конгломераты, доломитизированные известняки.		Разгрузка эвопотранспирацией.
	Водосытые зоны трещиноватости ордовикских отложений: песчанники, алевролиты, конгломераты, сланцы.		Разгрузка родниковым стоком.
	Водосытые зоны трещиноватости интрузивных пород кислого, среднего и щелочного состава: лейкогратовые граниты, гранодиориты, моноклиниты, сциенито-диориты, диориты, таффо.		

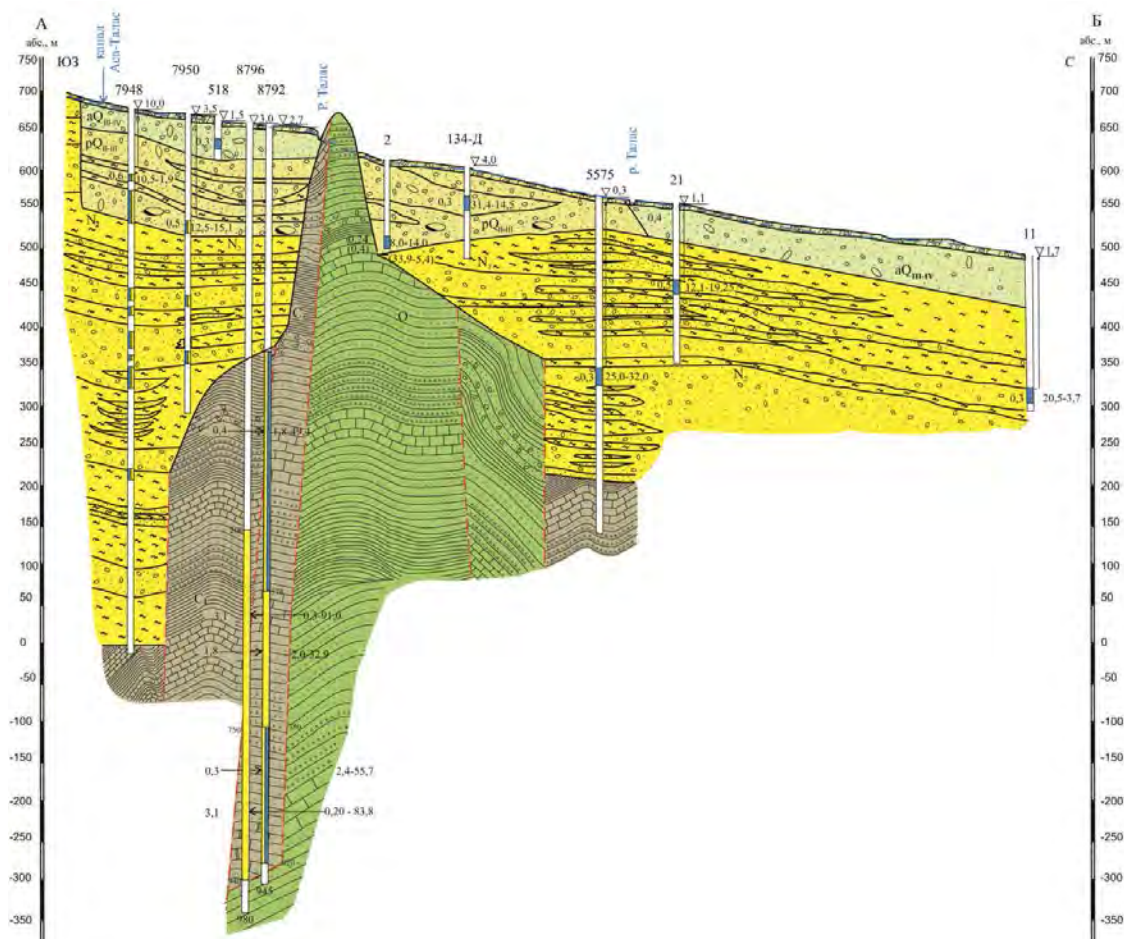


Рисунок 2 – Схематический гидрогеологический разрез междуречья Талас-Асса

Величина естественного питания аллювиальных отложений междуречья на всем протяжении месторождения со стороны р. Асса определяется потерями речного стока в количестве  $1,15 \text{ м}^3/\text{с}$  (западная гидродинамическая граница ТАМ с контуром постоянного напора). Данная величина не превышает 9% от многолетнего среднегодового стока реки.

Величина естественного питания аллювиальных отложений междуречья со стороны р.Талас (восточная гидродинамическая граница ТАМ с контуром постоянного напора) оценивается в  $1,97 \text{ м}^3/\text{с}$ , или до 7% от многолетнего среднегодового стока реки.

Естественные ресурсы на расчетном створе южной части ТАМ, вычисленные по расходу подземного потока, составляют  $3,73 \text{ м}^3/\text{с}$ , то есть обеспечивают производительность централизованных и локальных водозаборов в южной зоне.

Естественные (статические) запасы подземных вод ( $V_e$ ) по результатам разведочных работ определены в количестве 6,7 млрд.  $\text{м}^3$  на площади 1070 кв.км. Работа водозаборов с расчетной производительностью (по условиям подсчета запасов) может продолжаться при значительном снижении динамических уровней (до 70% мощности пласта), с вовлечением в эксплуатацию 50% естественных (статических) запасов, то есть в объеме 3,357 млрд.  $\text{м}^3$ , что обеспечивает стабильную работу водозаборов в течение 28,7 лет.

Величиной питания подземных вод за счет потерь оросительных вод, в практических расчетах можно пренебречь. Принимая во внимание, как интенсивное внедрение в южных регионах водосберегающего капельного орошения на мелиоративных работах, так и с точки зрения создания запаса прочности при расчете приходной статьи водного баланса ( $W_o = 0$ ).

Водозаборы в основном располагаются севернее оросительного канала Аса-Талас, в удалении от предгорий (области питания). Анализ длительного опыта эксплуатации водозаборов с различной производительностью свидетельствует о локализованном характере развития депрессионной воронки, ограниченной в пределах непосредственно очагов

возмущения ( $R_{пр}=100-500$  м). В этой связи, привлечение дополнительных боковых притоков от области питания, с созданием номинального гидравлического градиента депрессии, исключается ( $\Delta Q_{\delta} = 0$ ). [2]

Естественные боковые притоки ( $Q_{\delta}$ ) учтены в суммарном объеме расхода аллювиального потока.

Ввиду незначительных радиусов влияния депрессионных воронок, некорректно учитывать инверсию эвапотранспирации ( $T=0$ ), за исключением заболоченных суффозионных западин в центральной части месторождения.

Привлекаемые ресурсы ( $Q_{пр}$ ) при существующей схеме водоотбора подземных вод, отсутствуют. Вместе с тем, они не исключаются при создании инфильтрационных водозаборов вблизи рек Асса (на правом берегу) и Талас (лево берегу, выше гор Тектурмас).

Потери (приращение) речного стока до базового расчетного створа (являются составными частями общего расхода аллювиального потока ( $V_p=0$ )).

В количественном отношении, инфильтрация атмосферных осадков непосредственно на площади месторождения, не имеет выраженного значения, и большей частью расходуется на испарение и транспирацию ( $W = 0$ ).

Таким образом, общее уравнение водного баланса (1), применительно к расчетному створу южной части ТАМ приобретает следующий вид:

$$Q_{э} = Q_e + \Delta V_e \quad (2).$$

Следует отметить о том, что уравнение (2) справедливо только для разведанных участков, за пределами которых, характер формирования подземных вод аллювиальных отложений междуречья имеют существенные различия и особенности, связанные с изменением геолого-структурных и гидродинамических условий. [1]

В целом, продуктивный водоносный комплекс верхнечетвертичных-современных аллювиальных отложений ТАМ обладает наибольшими эксплуатационными ресурсами, обеспечивающими лучшие технико-экономические показатели водозаборов, что обусловлено следующими факторами:

-наибольшие удельные дебиты скважин (и фильтрационные параметры) позволяет эксплуатацию подземных вод наиболее компактным водозабором;

-реки Талас и Асса, прорываясь из гор, разгружаются в аллювий (при этом величина разгрузки ограничена лишь свободной емкостью аллювия), то есть аллювий лучше обеспечен возобновляемыми ресурсами пресных вод;

-аллювий граничит и гидравлически связан с водоносными горизонтами плиоцена и пролювия, которые вместе с палеозойским бортом межгорной впадины являются питающим контуром и формируют водопритоки в аллювий в количестве, сопоставимом с питанием из рек;

-аллювий верхней части разреза впадины характеризуется лучшими условиями водообмена, чем залегающий ниже плиоцен;

-интенсивность водообменных процессов, которая, в конечном счете, определяет величину ресурсов пресных подземных вод (и фильтрационные свойства) аллювиальных отложений выше, чем других отложений впадины;

-подземные воды аллювиальных отложений имеет совершенную гидравлическую связь с реками Талас и Асса, по которым приняты границы подсчета балансовых запасов южной части ТАМ.

-река Асса на всем своем протяжении питает подземные воды месторождения, что создает возможность существенно увеличить производительность водозаборов в южной части ТАМ;

-при работе водозаборов в эксплуатацию привлекается не только речной сток, разгружающийся в аллювий в природных условиях, но и перехватывается подземный поток, в естественных условиях разгружающийся родниковым стоком, эвапотранспирацией и в русла рек;

-при заложении прирусловых водозаборов вблизи рек формируются дополнительные эксплуатационные ресурсы за счет привлечения речного стока в емкость аллювия, высвобождаемую водоотбором;

-залегая первым от поверхности, аллювий открыт для получения питания за счет атмосферных осадков и потерь оросительных вод, что создает дополнительные эксплуатационные ресурсы;

-аллювий имеет потенциал приращения эксплуатационных ресурсов за счет увеличения как боковых водопритоков, так и процессов перетекания из нижележащих водоносных комплексов, вследствие снижения уровня подземных вод и увеличения гидравлических градиентов в области депрессии водозаборов.

### Литература

1. Боровский Б.В. Закономерности формирования эксплуатационных запасов месторождений пресных подземных вод // Водные ресурсы. 1985. № 2. С. 162-164.
2. Джакелов А.К. Формирование подземных вод Чу-Сарысуйского артезианского бассейна, их ресурсы и перспективы использования. Автореф дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. Алма-Ата. 1983. 32 с.
3. Водный кодекс Республики Казахстан от 9 июля 2003 года № 481.
4. Трансграничные водные ресурсы – основа региональной стабильности в Центральной Азии. Материалы семинара. Алматы. 2008.

## ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ $M=6.0$ НА ПРИГРАНИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА И КИТАЯ 1 ДЕКАБРЯ 2003г: ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ГЕОМАГНИТНОЙ БУРЕЙ И ДИНАМИКОЙ РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ

Тойшиев Н.С.  
toyshiev@yandex.ru

Институт ионосферы АО «Национальный центр космических исследований и технологий»,  
г. Алматы, Республика Казахстан

*Показано, что сильное  $M=6.0$  землетрясение, произошедшее 1 декабря 2003 г. на приграничной территории Казахстана и Китая в основании геомагнитной силовой линии  $L=1.63$ , было приурочено к периоду формирования нового пояса релятивистских электронов вокруг геомагнитных силовых линий  $L\sim 1.5$  после сильнейших геомагнитных бурь в конце октября - начале ноября 2003 г. (Halloween Storm), когда отрицательные значения  $Dst$ -индекса превышали 400 нТ. Землетрясение произошло спустя  $\sim 30$  дней после начала геомагнитных бурь.*

*Ключевые слова: радиационный пояс Земли, сейсмическая активность, магнитосфера, геомагнитная силовая линия.*

В настоящее время, пока что немногочисленные работы по исследованию связи сейсмичности с геомагнитными бурями, показывают довольно противоречивые результаты. Так, в работе [1] обнаружено понижение глобальной сейсмической активности сразу после внезапного начала геомагнитной бури (SSC - storm sudden commencement). Такой результат был получен по данным о 405 землетрясениях с магнитудой  $M>5.0$ , произошедших на планете в 1973-2010 гг. В работах [2, 3] исследовалась связь с геомагнитными бурями землетрясений с энергетическим классом  $K\geq 7.0$ , произошедших, в том числе, на сейсмоактивных территориях Казахстана и Киргизской республики. Результаты показали, что в целом по региону происходит увеличение количества землетрясений после геомагнитных бурь. В то же время, более детальный анализ показал, что на локальной территории, которая подстилается породами с низкоомным электрическим сопротивлением, наблюдается четко выраженное повышение сейсмической активности через несколько суток после начала геомагнитной бури (положительный эффект), а на территориях, подстилаемых высокоомными породами – сейсмическая активность уменьшается после геомагнитной бури (отрицательный эффект). Противоречивые результаты говорят о необходимости дальнейших исследований в этом направлении.

В последнее время обсуждается идея [4,5] о возможном усилении сейсмической активности в основании геомагнитных силовых линий новых радиационных поясов, возникающих после геомагнитных бурь. При резком усилении давления солнечного ветра, провоцирующего геомагнитную бурю, геомагнитное поле может измениться таким образом, что заряженные частицы, заселяющие внешний радиационный пояс (значения геомагнитных силовых линий  $L > 3 - 3.5$ ), могут перейти на геомагнитные линии с меньшими значениями  $L$ , формируя вокруг этих линий новый квазистационарный пояс заряженных частиц, который может просуществовать от нескольких суток до нескольких лет. В 21 веке самые сильные геомагнитные бури произошли в конце октября - начале ноября 2003 г. (Halloween Storm), когда отрицательные значения  $Dst$ -индекса превышали 400 нТ. Этот факт показан на рисунке 1, где приведены значения геомагнитного  $Dst$ -индекса с 1 мая 2003 г. по 1 июня 2004 г. по данным сайта <https://cdaweb.sci.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/eval2.cgi>.

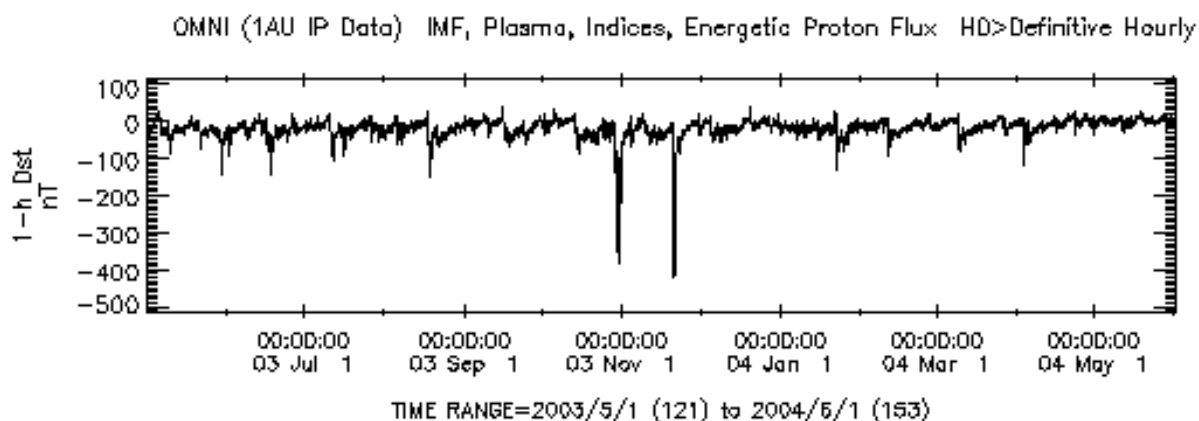


Рисунок 1 – Вариации часовых значений геомагнитного Dst-индекса с 1 мая 2003 г. по 1 июня 2004 г. по данным сайта <https://cdaweb.sci.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/eval2.cgi>

На рисунке 2 схематично показана динамика электронной компоненты радиационного пояса Земли в связи с сильнейшими геомагнитными бурями в конце октября – начале ноября 2003 г. На верхней панели рисунка показано распределение электронов в радиационном поясе перед геомагнитной бурей (17 октября 2003 г.). Видно, что электроны сосредоточены во внешней части радиационного пояса вокруг геомагнитных силовых линий  $L > 3.5$ . Сразу после магнитной бури 30 октября 2003 г. (вторая панель сверху) электронный пояс раздулся и стал занимать не только верхнюю часть магнитосферы, но и переходный слой (slot region) между внутренней и внешней частями радиационного пояса. После второй сильной бури в начале ноября 2003 г., пояс электронов сжался (третья панель сверху для 5 ноября 2003 г.), а через месяц с лишним (11 декабря 2003 г.) внешний электронный пояс восстановился практически до того состояния, которое было перед геомагнитной бурей, но дополнительно сформировался новый пояс электронов во внутренней магнитосфере (нижняя панель).

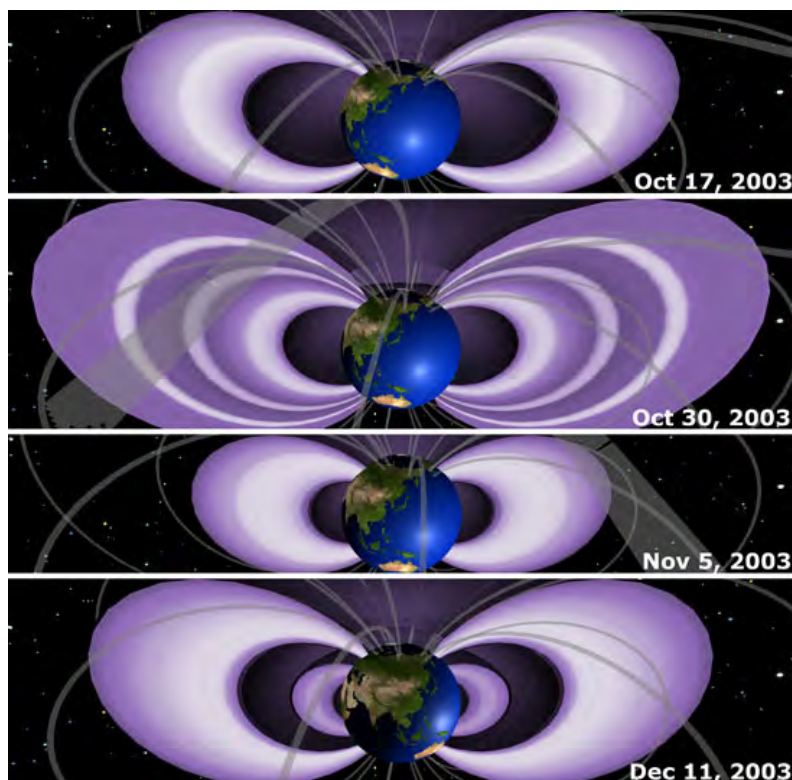


Рисунок 2 – Схематическое изображение динамики радиационного пояса в связи с геомагнитными бурями в конце октября – начале ноября 2003 г. по материалам NASA

Процесс опустошения внешнего радиационного пояса и формирования нового пояса релятивистских электронов во внутренней магнитосфере после сильнейших геомагнитных бурь в конце октября - начале ноября 2003 г. задокументировали приборы на спутнике SAMPEX (Solar Anomalous and Magnetospheric Particle Explorer). На рисунке 3 приведены результаты из работы [6], где показано распределение по геомагнитным силовым линиям потоков релятивистских электронов с энергией  $E=2 - 6$  МэВ, измеренных приборами на спутнике SAMPEX. По горизонтальной оси указаны последовательные дни с 1 января 2003 г. до 31 декабря 2005 г. По вертикальной оси указаны номера геомагнитных силовых линий (геомагнитных оболочек -  $L$ ). Видно, что в ноябре 2003 г. началось резкое опустошение внешнего электронного радиационного пояса и образование нового пояса на более низких  $L$ -оболочках, вокруг  $L \sim 1.5$ . Новый пояс просуществовал до конца 2005 г. [6].

Анализ данных глобального сейсмологического каталога за период 2000-2005 гг. показал (рис. 4), что количество землетрясений с магнитудой  $M \geq 4.5$  существенно повысилось в 2003-2004 гг. в основании геомагнитных силовых линий  $L=1.4-1.6$ , когда эти линии были наиболее интенсивно заселены релятивистскими электронами. В течение шести лет (2000-2005) на планете в основании геомагнитных силовых линий  $L=1.4 - 1.6$  (вокруг  $L=1.5$ ) произошло 2 150 землетрясений с магнитудой  $M \geq 4.5$ . В течение трех лет (2000-2002) происходило примерно по 300 таких событий в год, но в 2003 и 2004 гг. их количество возросло примерно на 70% и затем вновь уменьшилось до прежнего уровня в 2005 г.

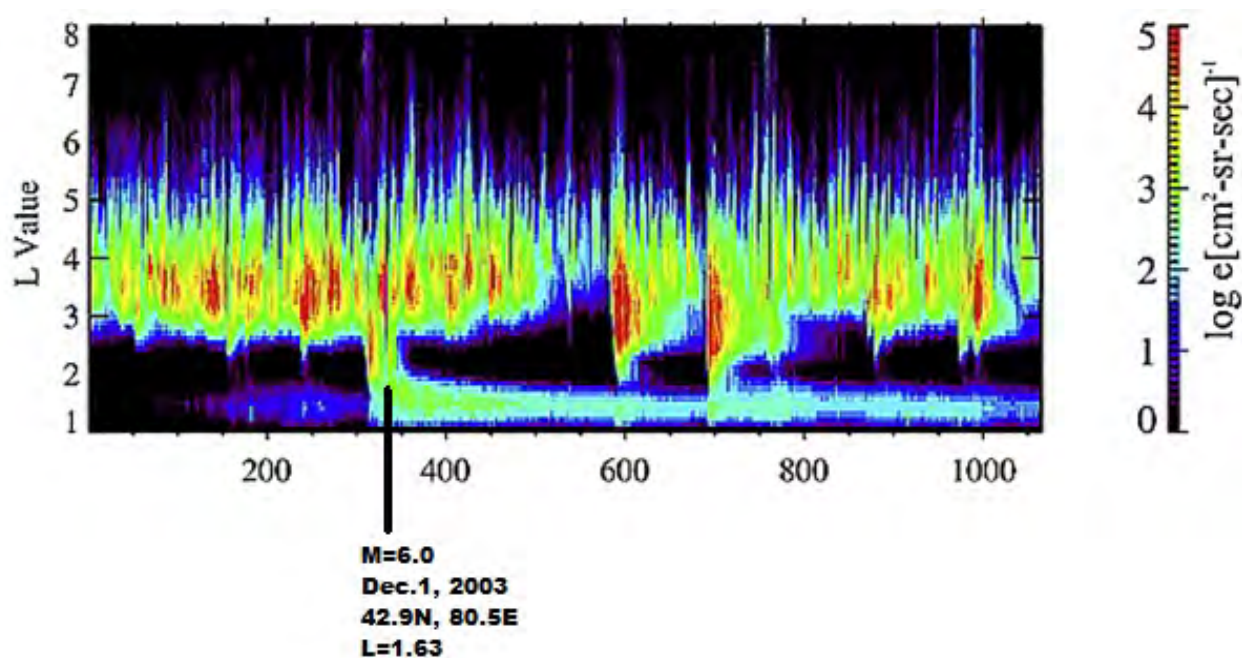


Рисунок 3 – Распределение по геомагнитным силовым линиям релятивистских электронов с энергией  $E=2-6$  МэВ в 2003-2005 гг. по данным спутника SAMPEX из работы [6]; горизонтальная ось – последовательные дни с 1 января 2003 г. до 31 декабря 2005 г.; линия внизу маркирует дату землетрясения с  $M=6$ , произошедшего 1 декабря 2003 г. на приграничной территории Казахстана и Китая



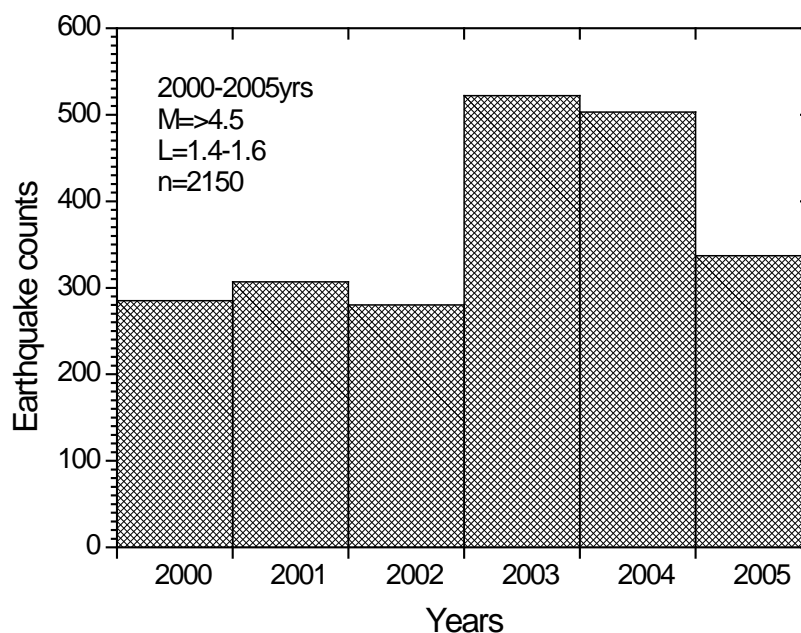


Рисунок 4 – Гистограмма распределения на планете годового количества землетрясений в 2000-2005 гг. в основании геомагнитных силовых линий  $L=1.4 - 1.6$

Эффект усиления сейсмической активности в 2003-2004 гг. проявился не только на глобальном уровне, но и на региональном. На рисунке 5 приведена гистограмма распределения годового количества землетрясений в 2000- 2005 гг. на территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии, ограниченной координатами  $42 - 44^{\circ}N$ ,  $75 - 86^{\circ}E$ . Видно, что в 2003 г. количество землетрясений с магнитудой  $M \geq 4.5$  на данной территории составило 10 событий, в то время как в соседние годы их количество составляло в среднем 4 события.

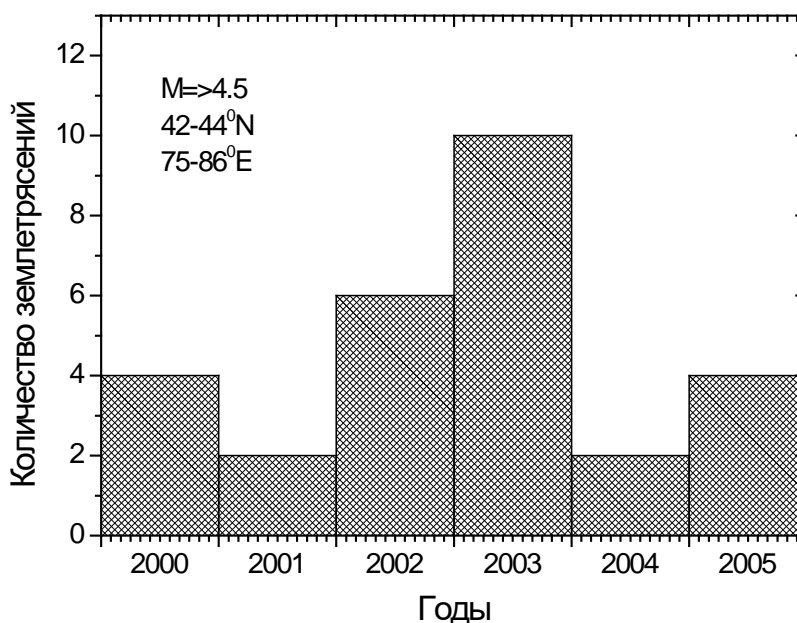


Рисунок 5 – Гистограмма распределения годового количества землетрясений в 2000 -2005 гг. на территории Северного Тянь-Шаня и Джунгарии, ограниченной координатами  $42 - 44^{\circ}N$ ,  $75 - 86^{\circ}E$

Региональное повышение сейсмической активности в 2003 г. было обусловлено сильным  $M=6.0$  землетрясением, произошедшим 1 декабря 2003 г. на приграничной территории Казахстана и Китая с координатами эпицентра  $42.9^{\circ}N, 80.5^{\circ}E$ . В общем, в этот день в этом регионе произошло четыре землетрясения с  $M \geq 4.5$  (Таблица). Все эти события произошли в основании геомагнитной силовой линии  $L=1.63$ .

Таблица 1 – Данные о землетрясениях с  $M \geq 4.5$ , произошедших на приграничной территории Казахстана и Китая 1 декабря 2003г.

	Дата	Время	Широта	Долгота	Магнитуда	L
2003	1 декабря	1,64	$42,9^{\circ}N$	$80,51^{\circ}E$	6.0	1.63
2003	1 декабря	2,11	$43,02^{\circ}N$	$80,61^{\circ}E$	5.0	1.63
2003	1 декабря	10,48	$42,99^{\circ}N$	$80,53^{\circ}E$	5.2	1.63
2003	1 декабря	14,5	$42,91^{\circ}N$	$80,48^{\circ}E$	4.8	1.63

На рисунке 3 черная линия внизу маркирует дату землетрясения  $M=6.0$ , произошедшего 1 декабря 2003 г. на приграничной территории Казахстана и Китая в основании геомагнитной силовой линии  $L=1.63$ . Видим, что это сейсмическое событие произошло непосредственно в период инъекции релятивистских электронов из внешнего радиационного пояса во внутреннюю магнитосферу, через  $\sim 30$  суток после начала геомагнитной бури в конце октября – начале ноября 2003 г.

### Заключение

В докладе рассмотрена динамика радиационного пояса Земли в связи с сильнейшими геомагнитными бурями, произошедшими в конце октября - начале ноября 2003 г. (Halloween Storm), когда отрицательные значения Dst-индекса превышали 400 нТ. Приведены данные спутника SAMPEX о распределении по геомагнитным силовым линиям релятивистских электронов с энергией  $E=2-6$  МэВ в 2003-2005 гг., которые демонстрируют, что в ноябре 2003 г. началось резкое опустошение внешнего электронного радиационного пояса и образование нового пояса на более низких L-оболочках (вокруг  $L=1.5$ ), который просуществовал до конца 2005 г. По данным глобального сейсмологического каталога NEIC для землетрясений с магнитудой  $M \geq 4.5$  показано, что в 2003-2004 гг. количество землетрясений существенно повысилось в основании геомагнитных силовых линий  $L=1.4-1.6$ , когда эти линии были наиболее интенсивно заселены релятивистскими электронами. Именно в этот период 1 декабря 2003 г. произошло сильное  $M=6.0$  землетрясение на приграничной территории Казахстана и Китая в основании геомагнитной силовой линии  $L=1.63$ . В целом, результаты показывают, что формирование дополнительных радиационных поясов в нижней магнитосфере за счет инъекции высокоэнергичных электронов из внешнего радиационного пояса во внутренний сопровождается усилением сейсмической активности в сейсмоактивных регионах, пронизанных геомагнитными силовыми линиями новых радиационных поясов.

*Выражаю глубокую благодарность доктору физика-математических наук Хачикян Г.Я. за постановку задачи и научное руководство.*

*Работа выполнена по РБП-008 «Развитие космических технологий мониторинга и прогнозирования природных ресурсов, техногенных изменений окружающей среды, создание космической техники и наземной космической инфраструктуры, исследования объектов дальнего и ближнего космоса» в рамках проекта «Разработка статистических моделей пространственно-временных вариаций характеристик сейсмичности в связи с вариациями структуры и динамики радиационного пояса Земли (2018-2020гг.)», регистрационный номер (РН) 0118PK00797.*

### Литература

1. Гульельми А.В., Лавров И.П., Собисевич А.Л. незапные начала магнитных бурь и землетрясения // Солнечно-земная физика. 2015. Т. 1. № 1. С. 98-103. DOI: 10.12737/5694
2. Закржевская Н.А., Соболев Г.А., Харин Е.П. О связи сейсмичности с магнитными бурями // Физика Земли. 2001. № 11. С. 6-15. DOI: 10.12737/5694
3. Соболев Г.А., Закржевская Н.А. О возможности влияния магнитных бурь на сейсмичность // Физика Земли. 2002. № 4. С. 3-15.
4. Khachikyan G.Ya. Observed response of Earth's lithosphere to solar wind and radiation belt variations. The Tenth Moscow Solar System Symposium (10M-S<sup>3</sup>). IKI RAS. Moscow. Russia. October 7-11, 2019. Book of Abstracts. 10MS3-PS-92. P. 474-475. <https://ms2019.cosmos.ru/docs/10m-s3-abstract-book.pdf>
5. Хачикян Г.Я. Усиление сейсмической активности в основании геомагнитных линий новых радиационных поясов, возникающих после геомагнитных бурь // Тез. докл. 15 ежегод. конф. «Физика плазмы в солнечной системе» ИКИ РАН, г. Москва, 10-14 февраля 2020 г. М. 2020. С. 149. <https://plasma2020.cosmos.ru/docs/PLASMA-2020-IKI-AbstractBook.pdf>
6. Baker D. N., Kanekal S. G., Horne R. B., Meredith N. P., Glauert S. A., Low-altitude measurements of 2–6 MeV electron trapping lifetimes at  $1.5 \leq L \leq 2.5$  // Geophys. Res. Letters. 2007. Vol. 34. № 20. - <https://doi.org/10.1029/2007GL031007>.

## **ОСОБЕННОСТИ ПОТОКОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ГОРНЫХ МАССИВОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО СКЛОНА КЫРГЫЗСКОГО ХРЕБТА)**

Урсеитова Н.Б., Ерохин С.А., Шукурбеков К.К.

*nurai.urseitova@gmail.com*

Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызстан

*На основе типизации горных родников северного склона Кыргызского хребта разработана типизация потоков подземных вод горного массива Кыргызского хребта. Многообразие подземных водных потоков было разделено на 4 типа. Для решения поставленной задачи на северном склоне Кыргызского хребта между долиной Джардыкаинды на западе и Боомским ущельем на востоке были обследованы наиболее представительные подземные воды, выклинивающиеся в виде родников из разных морфологических зон и геологических формаций. Дана краткая характеристика каждого типа потока и каждого подтипа.*

*Ключевые слова: поток подземных вод, подземные воды, родники, типы родников, характеристика типов подземных вод*

Сток горных рек Кыргызского хребта на 30-40% состоит из подземных вод, которые мигрируют от области питания, представленной горными склонами, к области разгрузки на днищах горных долин [1]. Миграция происходит в форме разнообразных потоков с различным типом циркуляции, с различной глубиной проникновения в толщу горных пород, различной длиной пути фильтрации по горным склонам, а также с различной продолжительностью времени контакта подземных вод на пути их движения с водовмещающими породами. Разгрузка потоков подземных вод происходит, либо открытым путем: в форме родников, чаще всего у подножий горных склонов, реже на склонах или на поверхности низких пойменных террас; либо скрытым путем: в рыхлые отложения речных долин. Родники представляют особый интерес, так как посредством их изучения можно охарактеризовать порождающие их потоки подземных вод, а выявление особенностей последних является целью данной работы [2].

Для решения поставленной задачи на северном склоне Кыргызского хребта между долиной Джардыкаинды на западе и Боомским ущельем на востоке были обследованы наиболее представительные родники из разных морфологических зон и геологических формаций (рис.1-3). В процессе наземного обследования определялся расход родника. Лабораторный анализ проб воды каждого родника дал нам представление об их химическом составе.

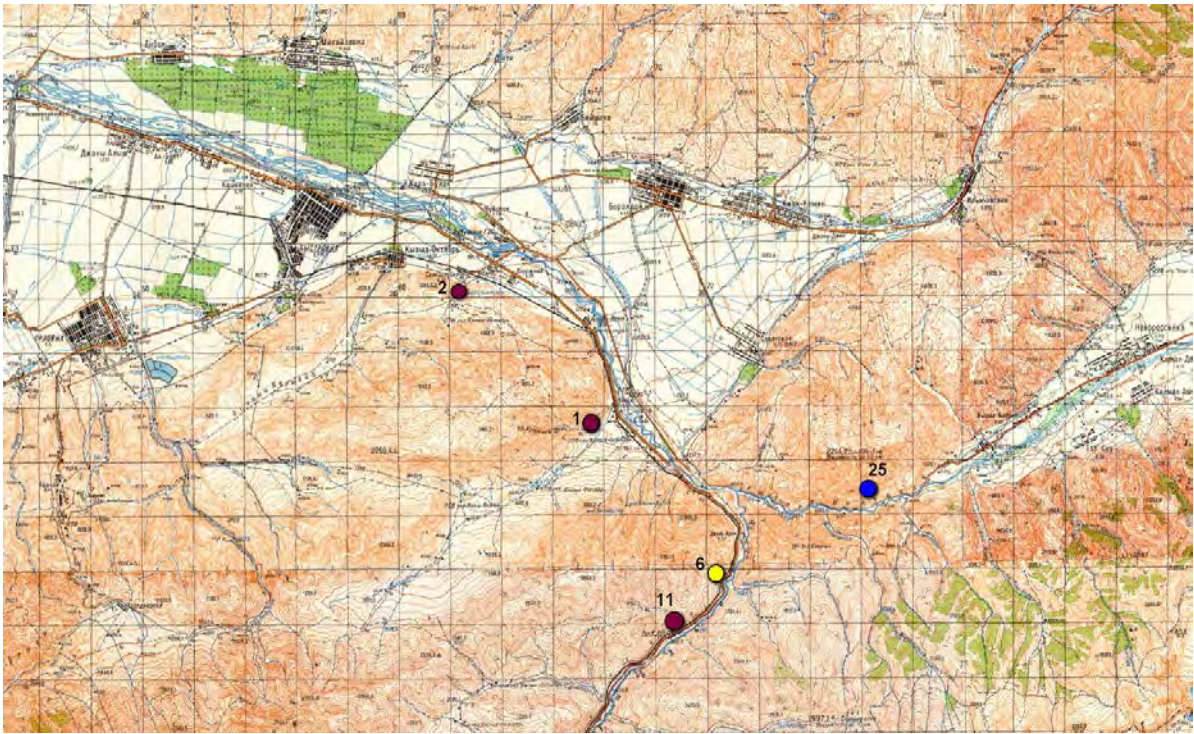


Рисунок 1 – Местоположение представительных родников Восточного участка Кыргызского хребта

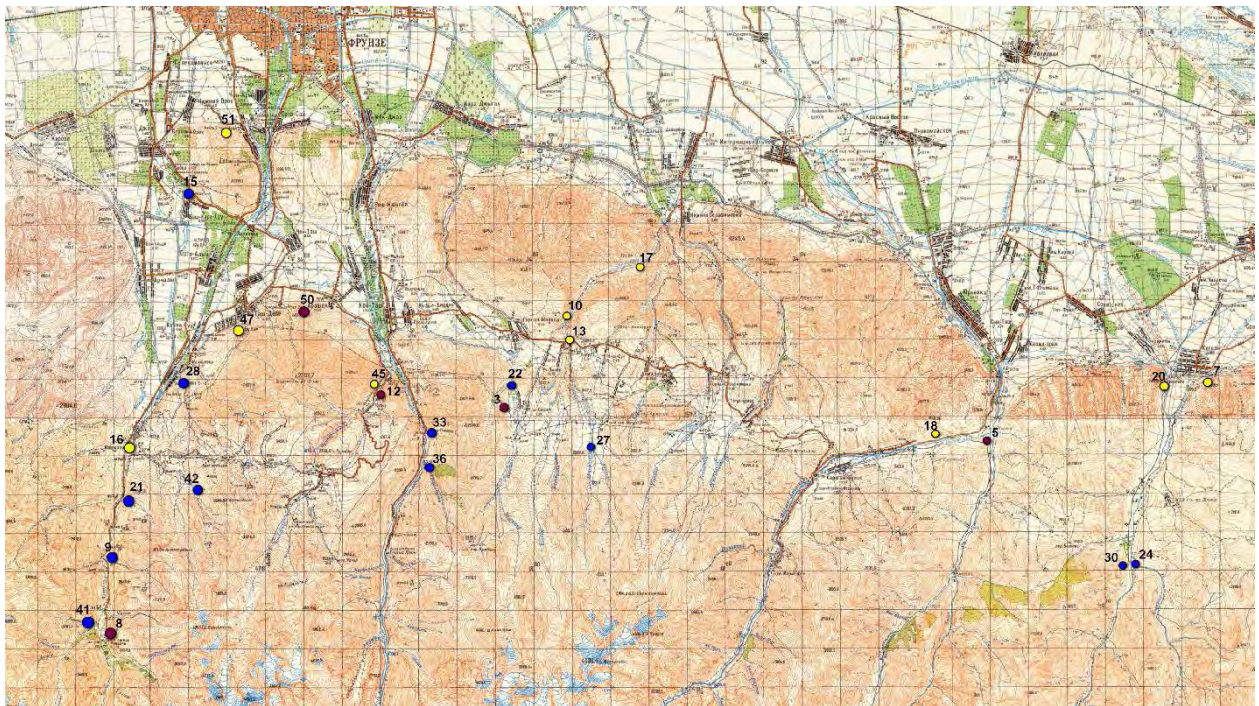


Рисунок 2 – Местоположение представительных родников Центрального участка Кыргызского хребта

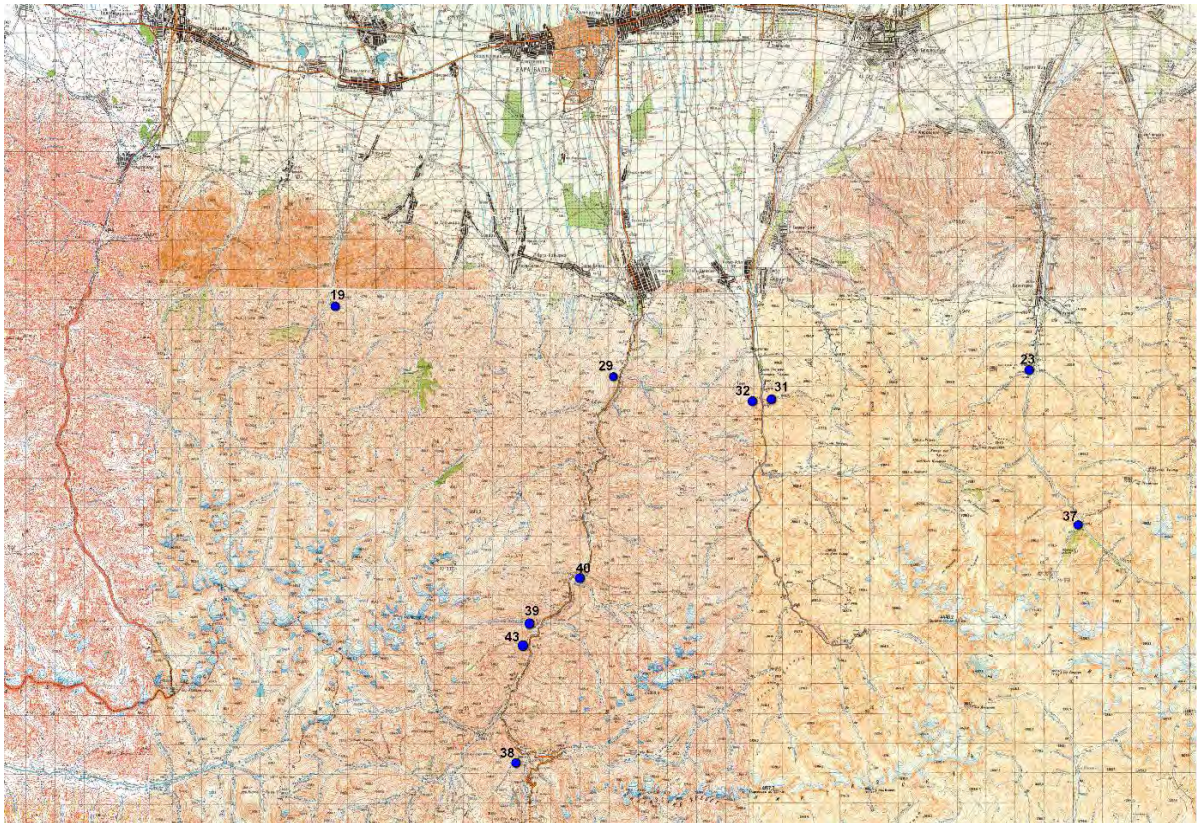


Рисунок 3 – Местоположение представительных родников Западного участка Кыргызского хребта

По генезису, составу и стратиграфии водовмещающих пород было проведена типизация родников – разделение их на типы и подтипы (рис. 4):

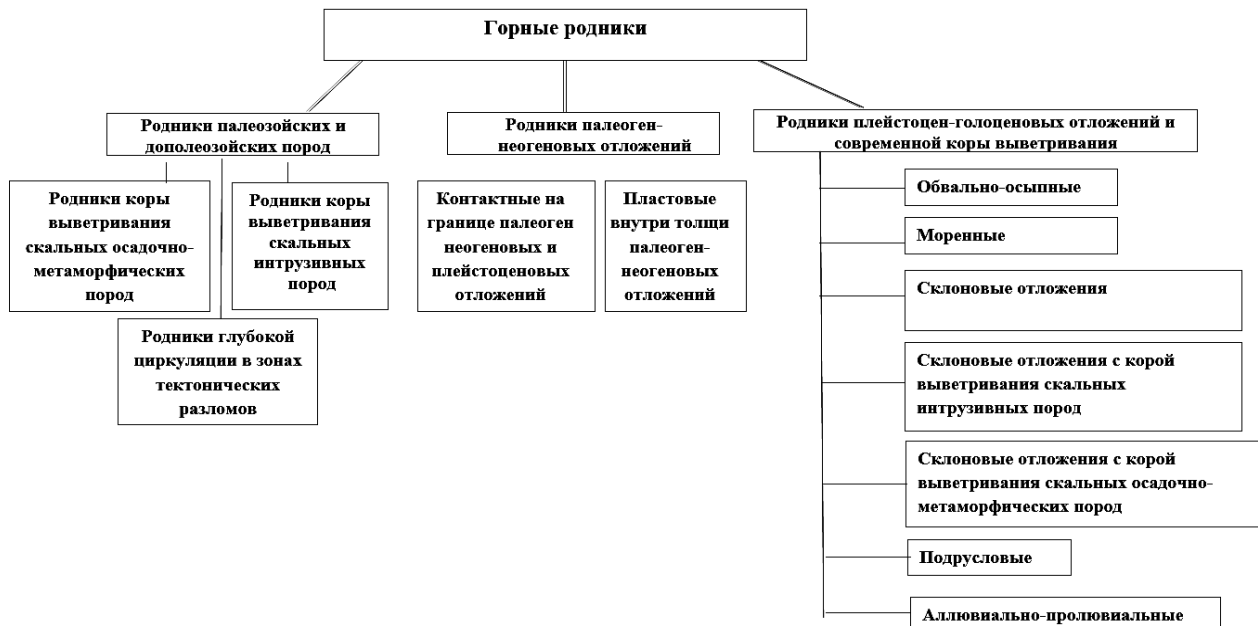


Рисунок 4 – Типы и подтипы родников по генезису, стратиграфии и составу водовмещающих пород

Наиболее представительные родники, выбранные для решения поставленной задачи и вынесенные на карту (рис.1-3), были распределены по типам и подтипам (табл.1-3).

Таблица 1 – Родники плейстоцен-голоценовых отложений и современной коры выветривания

Подтипы	Название родника	№ на карте	Расход, л/сек	Минерал-я, мг/л	Состав
Обвальные	Бойрек	21	10	272	HCO <sub>3</sub> (61.8) SO <sub>4</sub> (34) - Ca(76.5) Mg(21)
Склоновые	Родн. Кургак-Ат-Джайлоо	43	15	93.5	HCO <sub>3</sub> (71.4) SO <sub>4</sub> (17) - Ca(67) Na(28.6)
				102.5	HCO <sub>3</sub> (62) SO <sub>4</sub> (22) - Ca(81) Mg(15)
				139.5	HCO <sub>3</sub> (69) SO <sub>4</sub> (20) - Ca(75) Mg(14)
	Кашкасуу-Адыгине	41	30	167	HCO <sub>3</sub> (81.2) SO <sub>4</sub> (10.7) - Ca(71.1) Na(29)
	Против устья Алма (Джарды-Каинды)	49	15	128.5	HCO <sub>3</sub> (76.9) SO <sub>4</sub> (9.6) - Ca(64.1) Na(26.3)
Кургак-Чайыш-сай		9.7	152.5	HCO <sub>3</sub> (75) SO <sub>4</sub> (14) - Ca(75) Na(14)	
Моренные	Чайыш	38	20	165	HCO <sub>3</sub> (74) SO <sub>4</sub> (17) - Ca(69) Mg(21)
	«Беш-Таш»			141.5	HCO <sub>3</sub> (67.8) SO <sub>4</sub> (25.4) - Ca(84.7) Mg(11.3)
Склоновые отложения с корой выветривания скальных интрузивных пород	Аламедин придорожный	36	0.4	273	HCO <sub>3</sub> (68.5) SO <sub>4</sub> (9.2) - Ca(67) Na(33)
				266	HCO <sub>3</sub> (83.9) SO <sub>4</sub> (7.5) - Ca(59) Mg(24.8)
	Айбулак	35	30	234	HCO <sub>3</sub> (91.5) Cl(5.3) - Ca(72) Mg(15)
	Согонду	34	78	235	HCO <sub>3</sub> (54) SO <sub>4</sub> (37) - Ca(78) Mg(15)
	Тавдок	33	6	279	HCO <sub>3</sub> (83.3) SO <sub>4</sub> (7) - Ca(60) Mg(20.8)
	Бакпай-левый	32	16	244.5	HCO <sub>3</sub> (83.3) SO <sub>4</sub> (10.5) - Ca(62.9) Mg(18.7)
	Бакпай-правый	31	21	298	HCO <sub>3</sub> (90.5) SO <sub>4</sub> (5.8) - Ca(62.7) Mg(26.5)
	Бойрек			272	HCO <sub>3</sub> (61.8) SO <sub>4</sub> (33.8) - Ca(76.5) Mg(20.6)
	Руч. самый прав. приток Кашкасу	42	1.5	214	HCO <sub>3</sub> (88.5) SO <sub>4</sub> (7) - Ca(79) Na(17.5)
Склоновые отложения с корой выветривания осадочно-метаморфических пород	Родн. Кегеты К-1 левый	30	0.8	427	HCO <sub>3</sub> (74) SO <sub>4</sub> (19) - Mg(53) Ca(35)
				424	HCO <sub>3</sub> (77) SO <sub>4</sub> (15) - Mg(56) Ca(36)
	Родник против сая Минтукум	29	1	340.5	HCO <sub>3</sub> (61.3) SO <sub>4</sub> (27.6) - Ca(52) Na(30)
	Оору-Сай	28	11	340.5	HCO <sub>3</sub> (86.8) SO <sub>4</sub> (7) - Ca(66) Mg(20)
	Булери	44	17	242.5	HCO <sub>3</sub> (85.3) SO <sub>4</sub> (6.8) - Ca(66.6) Mg(20.5)
Подрусловые	Чичирканак	27	4.9	156.5	HCO <sub>3</sub> (81.2) SO <sub>4</sub> (9.4) - Ca(73.3) Mg(23.6)
				178	HCO <sub>3</sub> (94) SO <sub>4</sub> (3.3) - Ca(75.5) Mg(16)
				157.5	HCO <sub>3</sub> (80) SO <sub>4</sub> (9) - Ca(67) Mg(18)
	Бития-устьевой	26	34	188	HCO <sub>3</sub> (70) SO <sub>4</sub> (19) - Ca(70) Na(17)
	Бития	40	360	168	HCO <sub>3</sub> (77) SO <sub>4</sub> (12) - Ca(78) Na(12)
	Сулууатджай-ляу	39	100	94	HCO <sub>3</sub> (69.6) SO <sub>4</sub> (14) - Ca(72.2) Mg(14)
				100	HCO <sub>3</sub> (73.2) SO <sub>4</sub> (13) - Ca(73) Mg(15)
	Кунтыбес	9	10	179	HCO <sub>3</sub> (78) SO <sub>4</sub> (15) - Ca(73) Mg(18)
				189	HCO <sub>3</sub> (81) SO <sub>4</sub> (13) - Ca(73) Na(27)
Акпай	37	50	163.5	HCO <sub>3</sub> (71.1) SO <sub>4</sub> (22.4) - Ca(72.1) Na(14)	
Аллювиально-пролювиальные	Шабай-устьевой	23	2	321	HCO <sub>3</sub> (76) SO <sub>4</sub> (18) - Ca(61) Mg(21)
	Родн. Кегеты-устьевой правый. К-2. Выше устья Кольтора	24	10	296	HCO <sub>3</sub> (69) SO <sub>4</sub> (25) - Ca(62) Mg(19)
	Родник Алтынбулак	25	0.25	367	HCO <sub>3</sub> (83.3) SO <sub>4</sub> (9) - Ca(55.6) Na(44)
	Ташбашат	22	0.8	239	HCO <sub>3</sub> (79.8) SO <sub>4</sub> (9.2) - Ca(66.1) Mg(23.3)

Таблица 2 – Родники палеоген- неогеновых отложений

Подтипы	Название родника	№ на карте	Расход, л/сек	Минерал-я, мг/л	Состав
Пластовые внутри толщи палеоген-неогеновых отложений	Жантай-Ата	6	0.01	939.5	SO <sub>4</sub> (54.4) HCO <sub>3</sub> (37.5) - Mg(50.2) Na(28.3)
	Воронцовский	4	0.25	954.5	SO <sub>4</sub> (50.3) Cl(26) - Na(52.5) Ca(31.9)
	Нурай	7	0.5	1250	SO <sub>4</sub> (47.6) HCO <sub>3</sub> (33.6) - Na(43.5) Ca(31)
	Иссык-Ата нижний	18	0.8	606	SO <sub>4</sub> (45.8) HCO <sub>3</sub> (30.8) - Na(50.3) Ca(37.8)
				706.6	SO <sub>4</sub> (45.8) HCO <sub>3</sub> (30.8) - Na(50.3) Ca(37.8)
Чон-Арык		0.001	3208	SO <sub>4</sub> (72.4) - Na(59.5)	
Контактные. В зоне границы палеоген-неогеновых и плейстоценовых отложений	Норус-придорожный	13	2	424	HCO <sub>3</sub> (81.1) - Ca(44.4)
				424	HCO <sub>3</sub> (77.3) SO <sub>4</sub> (13.9) - Ca (44.4) Mg(27.7)
	Башкарасуу	15	1.8	510	HCO <sub>3</sub> (61.7) SO <sub>4</sub> (15.9) - Ca(76) Mg(17.7)
	Серебряный	16	1.5	214	HCO <sub>3</sub> (63.7) SO <sub>4</sub> (22.8) - Ca(59.9) Na(25)
				341	HCO <sub>3</sub> (74) SO <sub>4</sub> (18.5) - Ca(70) Mg(19)
				335.5	HCO <sub>3</sub> (72) SO <sub>4</sub> (19) - Ca(67) Na(33)
				216	HCO <sub>3</sub> (71) SO <sub>4</sub> (16) - Ca(56) Na(23.5)
	Дачный	17	1.8	448.5	HCO <sub>3</sub> (62.5) SO <sub>4</sub> (20) - Ca(57.6) Na(30)
	Кегети нижн. прав. К-3.	20	0.5	453.5	HCO <sub>3</sub> (72) SO <sub>4</sub> (20) - Ca(62) Mg(26)
				415	HCO <sub>3</sub> (65) SO <sub>4</sub> (25) - Ca(67) Mg(22)
	Супара	48	0.33	577	HCO <sub>3</sub> (74) SO <sub>4</sub> (11) - Ca(75) Mg(13)
	Ноорус нижн. лев.«Святой»	10	0.4	338	HCO <sub>3</sub> (72.2) SO <sub>4</sub> (17) - Ca(53.3)
				340	HCO <sub>3</sub> (72) SO <sub>4</sub> (18) - Ca(53) Na(25)
	Таштар-Ата	46	0.1	566	HCO <sub>3</sub> (64.5) SO <sub>4</sub> (18) - Ca(70) Na(17)
	Айбулак-левый	47	0.2	389	HCO <sub>3</sub> (67.4) SO <sub>4</sub> (22) - Ca(61.8) Na(22.6)
Татыр-нижний-левый	45	0.3	426.5	HCO <sub>3</sub> (66.1) SO <sub>4</sub> (21.6) - Ca(60.3) Na(39.7)	
			403.5	HCO <sub>3</sub> (64) SO <sub>4</sub> (24) - Ca(61) Na(23)	



Таблица 3 – Родники палеозойских и допалеозойских пород

Подтипы	Название родника	№ на карте	Расход, л/сек	Минерал-я, мг/л	Состав
Глубокой циркуляции в зонах тектонически х разломов	Бектоо средний левый	3	10	736	Cl(52.8) SO <sub>4</sub> (43.1) - Na(77.8) Ca(18.4)
	Родник №7	50	3	1272	SO <sub>4</sub> (56.2) Cl(26.1) - Na(55.6) Ca(27.1)
	Сазбулак	2	12	738	SO <sub>4</sub> (48.3) HCO <sub>3</sub> (31.3) - Ca(49.7) Na(25.4)
	Туюк-устьевой	5	8	645	HCO <sub>3</sub> (44.3) SO <sub>4</sub> (37) - Na(46.4) Ca(45.1)
				627	HCO <sub>3</sub> (45.1) SO <sub>4</sub> (35) - Ca(45.1)Na(35)
				624.5	HCO <sub>3</sub> (45.1) SO <sub>4</sub> (36) - Ca(49) Na(28)
	Татыр нижний правый	12	0.5	774	HCO <sub>3</sub> (38.7) SO <sub>4</sub> (38.1) - Na(60.2) Ca(38)
				793	SO <sub>4</sub> (38) HCO <sub>3</sub> (37) - Na(46) Ca(40)
				714	HCO <sub>3</sub> (40) SO <sub>4</sub> (36.1) - Na(45.6) Ca(40)
Джилъарык	1	2.5	711	HCO <sub>3</sub> (66.8) SO <sub>4</sub> (29) - Mg(42.3) Ca(36)	
Коры выветривания скальных осадочно-метаморфических пород	Кызкуйе-левый	11	1.3	718	HCO <sub>3</sub> (62.8) SO <sub>4</sub> (31.3) - Mg(43) Ca(42.1)
				708	HCO <sub>3</sub> (63) SO <sub>4</sub> (31) - Mg(43) Ca(40)
				663.5	HCO <sub>3</sub> (62.3) SO <sub>4</sub> (31.3) - Mg(42.3) Ca(40.5)
Коры выветривания скальных интрузивных пород	Бата (Ала-Арча)	8	0.8	340.5	HCO <sub>3</sub> (75.1) SO(8.7) - Ca(61.3) Na(38.7)

Родники – это проявления потоков подземных вод на дневной поверхности [3,4]. Родник – это устье подземного потока, в котором отражаются почти все его особенности, поэтому результаты обследования родников позволяют охарактеризовать свойства потоков подземных вод. Все многообразие подземных потоков можно систематизировать, используя для этого классификацию родников, ибо в типах и подтипах родников отражаются по сходству своих особенностей типы и подтипы подземных потоков.

На основе типизации родников был проанализирован характер изменения химического состава воды в подземных потоках в зависимости от глубины их проникновения в толщу горных пород, формы циркуляции воды вдоль потока, состава водовмещающих пород. В результате все многообразие подземных водных потоков было разделено на 4 типа: потоки приповерхностные, потоки пластовые, потоки глубокой циркуляции, подземные потоки зоны коры выветривания. Внутри каждого типа были выделены подтипы, за исключением типа потоков глубокой циркуляции. Всего выделено 12 подтипов (табл.4). Каждый тип и подтип потоков подземных вод имеет свои особенности.

Таблица 4 – Типы и подтипы потоков подземных вод горных массивов

Типы потоков подземных вод	Подтипы потоков подземных вод	Водовмещающие породы	Характер циркуляции	Минерализация, мг/л	Хим. состав воды	Расход родников, мг/л
Приповерхностные	Обвальные	Рыхлообломочные обвальные отложения	Порово-струйный	272	HCO <sub>3</sub> (61.8) SO <sub>4</sub> (34) - Ca(76.5) Mg(21)	10
	Склоновые	Рыхлообломочные делювиально-коллювиальные отложения	Поровый	93.5-167	HCO <sub>3</sub> (71.4) SO <sub>4</sub> (17) - Ca(67) Na(28.6) HCO <sub>3</sub> (62) SO <sub>4</sub> (22) - Ca(81) Mg(15)	9.7-30
	Моренные	Грубообломочные отложения горных ледников	Поровый	94-165	HCO <sub>3</sub> (69.6) SO <sub>4</sub> (14) - Ca(72.2) Mg(14) HCO <sub>3</sub> (71.1) SO <sub>4</sub> (22.4) - Ca(72.1)Na(14)	9.7-100
	Склоновые с корой выветривания скальных магматических пород	Делювиально-коллювиальный чехол на скальном основании из осадочно-метаморфических пород	Поровый	234-298	HCO <sub>3</sub> (68.5) SO <sub>4</sub> (9.2) - (67) Na(33) HCO <sub>3</sub> (83.9) SO <sub>4</sub> (7.5) - Ca(59)Mg(24.8) HCO <sub>3</sub> (91.5) Cl(5.3) - Ca(72) Mg(15)	0.4-30
	Склоновые с корой выветривания осадочно-метаморфических пород	Делювиально-коллювиальный чехол на скальном основании из осадочно-метаморфических пород	Поровый	242.5-340.5	HCO <sub>3</sub> (74) SO <sub>4</sub> (19) - Mg(53) Ca(35) HCO <sub>3</sub> (61.3) SO <sub>4</sub> (27.6) - Ca(52) Na(30) HCO <sub>3</sub> (86.8) SO <sub>4</sub> (7) - Ca(66) Mg(20)	1-17
	Подрусловые	Аллювиальные отложения постоянно действующих рек.	Порово-струйный	94-192	HCO <sub>3</sub> (81.2) SO <sub>4</sub> (9.4) - Ca(73.3) Mg(23.6) HCO <sub>3</sub> (70) SO <sub>4</sub> (19) - Ca(70) Na(17)	4.9-360
	Аллювиально-пролювиальные	Аллювиально-пролювиальные отложения конусов выноса	Порово-струйный	239-367	HCO <sub>3</sub> (76) SO <sub>4</sub> (18) - Ca(61) Mg(21) HCO <sub>3</sub> (83.3) SO <sub>4</sub> (9) - Ca(55.6) Na(44)	0.25-2

Пластовые	Внутрипластовые	Конгломераты и песчаники внутри толщи соленосных и гипсоносные глинами и песчаниками. Пластовые внутри толщи палеоген-неогеновых отложений	Порово-трещинные	606-3208	SO <sub>4</sub> (54.4) HCO <sub>3</sub> (37.5) -Mg(50.2) Na(28) SO <sub>4</sub> (50.3) Cl(26) -Na(52.5) Ca(31. 9) SO <sub>4</sub> (47.6) HCO <sub>3</sub> (33.6) -Na(43.5) Ca(31)	0.01-0.25
	Пластово-контактные	Контактные, в зоне границы палеоген-неогеновых и плейстоценовых отложений	Порово-трещинные	214-577	HCO <sub>3</sub> (77.3) SO <sub>4</sub> (13.9) - Ca(44.4) Mg(28) HCO <sub>3</sub> (63.7) SO <sub>4</sub> (22.8) - Ca(59.9) Na(25)	0.1-1.8
Глубокой циркуляции	Глубокой циркуляции в зонах тектонических разломов	Трещиноватость горных пород в зонах тектонических разломов	Трещинно-жильная	645-1272	HCO <sub>3</sub> (40) SO <sub>4</sub> (36.1) - Na(45.6) Ca(40) SO <sub>4</sub> (56.2)Cl(26.1) - Na(55.6) Ca(27.1) Cl(52.8) SO <sub>4</sub> (43.1) - Na(77.8) Ca(18.4)	0.5-12
Коры выветривания	Коры выветривания осадочно-метаморфических пород	Туфы. диориты, граниты, гранодиориты	Трещинная	663.5-718	HCO <sub>3</sub> (62.8) SO <sub>4</sub> (31.3) - Mg(43) Ca(42.1)	1.3
	Коры выветривания магматических пород	Алевролевролиты, песчаники, глинистые и углисто-глинистые сланцы. Известняки. Конгломераты. Слюдистые сланцы.	Трещинная	340.5	HCO <sub>3</sub> (75.1) SO(8.7) - Na(61.3) Na(38.7)	0.8

### **Характеристика потоков подземных вод приповерхностного типа**

По солевой насыщенности подземные потоки приповерхностного типа разделяются на две группы:

1) Потоки, минерализация воды в которых изменяется в пределах от 93.5 до 192 мг/л. Водовмещающими породами этих потоков являются хорошо промытые рыхлообломочные отложения горных склонов, моренные отложения и русловые аллювиальные отложения. Вода, фильтруясь через эти отложения, не проникает в подстилающие их скальные породы, разбитые трещинами в зоне коры выветривания.

2) Потоки с водой более высокой минерализации, чем в первой группе. Её значение меняется от 234 до 367 мг/л. Более высокая солевая насыщенность воды этих потоков объясняется тем, что они в своем движении фильтруются или через обвальные и аллювиально-пролювиальные отложения конусов выноса, насыщенные обломками скальных пород коренной основы горных склонов, или через трещиноватую зону коры выветривания скального основания склонов. Чем глубже проникает вода этих потоков в трещины зоны коры выветривания и чем шире фронт охвата этой зоны, тем больше поверхность контакта воды с водовмещающими породами и выше её минерализация.

Насыщение подземного водного потока солями зависит от состава водовмещающих пород. Так минерализация воды подземных потоков фильтрующихся через трещины зоны коры выветривания осадочно-метаморфических пород выше, чем минерализация воды подземных потоков, фильтрующихся через трещины в породах магматической формации. Для сравнения: 242.5-340.5 и 234-298 мг/л. Следовательно, можно заключить, что при контакте с осадочно-метаморфическими породами вода подземных потоков насыщается солями более активно, чем при контакте с магматическими породами.

О расходах подземных водотоков можно судить по дебитам родников. Сравнение дебитов родников приповерхностных потоков показывает, что их водообильность зависит от источников питания.

В питании подрусовых и обвальных потоков подземных вод участвуют речные водотоки, расходом от десятых долей до десятков м<sup>3</sup> в сек. Поэтому подземные потоки таких подтипов отличаются повышенными расходами от 10 до 360 л/сек. К ним приближаются моренные потоки, которые питаются талыми водами ледников. Их расходы изменяются от 9.7 до 100 л/сек.

Наименее водообильными являются склоновые потоки, включая те из них, которые фильтруются через трещины коры выветривания. Их расходы составляют всего 0.4-30 л/сек. Причиной их малой водообильности является ограниченность источника питания, представленного атмосферными осадками: дождевыми и снежными. Лишь 20-30% от общего количества атмосферных вод идет на питание склоновых подземных потоков, большая часть их либо стекает поверхностным путем, либо испаряется. Не отличаются большими расходами и аллювиально-пролювиальные подземные потоки устьевых конусов выноса – 0.25-2 л/сек. Это обусловлено тем, что на их питание уходит только незначительная часть подрусового стока, основная часть потока продолжает движение вдоль русла.

Химический состав приповерхностных потоков, в основном, гидрокарбонатно-кальциевый. Это естественно, так как они питаются водой атмосферных осадков и фильтруются через хорошо промытые рыхлообломочные отложения плейстоцен-голоцена. Однако если вода потоков фильтруется через зону трещиноватости скальных пород в коре выветривания, то в составе воды начинаются изменения. В частности при фильтрации через трещины осадочно-метаморфических пород среди анионов возрастает доля сульфатного иона SO<sub>4</sub> с 19 до 27,6%, а среди катионов доля Mg с 20 до 53%; Na до 30%. Минерализация воды при этом увеличивается 242.5-340.5 мг/л. При фильтрации воды по трещинам магматических пород минерализация также увеличивается, но не так значительно, с 234 до 298 мг/л. В анионном составе изменений нет, доля HCO<sub>3</sub> остается весьма значительной, но в катионном составе возрастает доля натрия Na до 33% и Mg с 15 до 24,8%.

### **Характеристика потоков подземных вод пластового типа**

Минерализация воды подземных потоков пластового типа увеличивается по мере проникновения воды в глубину толщи палеоген-неогеновых отложений. Процесс проникновения осложняется тем, что между пластами относительно водопроницаемых песчаников и конгломератов пролегают пласты водоупорных глинисто-химогенных пород (Григоренко, 1978). Фильтрация воды в потоках происходит вдоль поверхности этих водоупорных глинисто-химогенных пластов. При этом на границе контакта вода растворяет соли глинистых отложений. Ее минерализация растет тем больше, чем больше площадь контакта воды с водоупорными глинистыми отложениями и чем продолжительнее время этого контакта.

Питание пластовых потоков происходит за счет перетекания части воды из потоков приповерхностного типа. Вода этих потоков, фильтруясь через толщу плейстоцен-голоценовых рыхлообломочных отложений. Встречает препятствие в виде водоупорного пласта глинисто-химогенных пород палеоген-неогена. Далее движение воды продолжается по поверхности этого пласта до очага разгрузки в форме родника. При этом происходит обогащение воды солями из глинисто-химогенных пород, что увеличивает её минерализацию от 214 до 577 мг/л. Такие склоновые потоки подземных вод, после их контакта с глинисто-химогенными породами палеоген-неогена и значительного повышения их минерализации, получили название пластово-контактных потоков.

Однако не всегда вода пластово-контактных потоков полностью стекает к очагу разгрузки. Ее часть может инфильтроваться в более глубокие водопроницаемые пласты палеоген-неогеновых пород, представленных песчаниками и конгломератами. Инфильтрация может происходить через трещины в водоупорных пластах палеоген-неогеновой толщи. В этом случае формируется новый поток, который движется между пластами водоупорных глинистых пород по слою водопроницаемых палеоген-неогеновых пород к зоне разгрузки. Такие потоки получили название внутрипластовых. Их минерализация за счет продолжительного обширного контакта с глинисто-химогенными породами водоупорных пластов возрастает от 606 до 3208 мг/л.

Питание потоков подземных вод пластового типа происходит за счет перетекания воды, в основном из склоновых подземных потоков, расходы которых весьма ограничены. Поэтому расходы пластовых потоков еще более ограничены. Более водообильны пластовые контактные потоки. Дебиты их родников изменяются от 0.1 до 1.8 л/сек. Выходы на дневную поверхность потоков пластовых вод чаще всего представляют собой очаги высачивания с редкими струйными выходами расходом 0.01-0.25 л/сек.

Химический состав пластовых потоков подземных вод, по сравнению с составом питающих его вод атмосферных осадков, изменяется тем значительнее, чем глубже проникает поток в толщу палеоген-неогеновых пород.

Вода контактно-пластовых потоков только соприкасается с кровлей толщи глинисто-химогенных пород палеоген-неогена, поэтому в её составе сохраняется преобладание гидрокарбоната среди анионов, а среди катионов – кальция. Однако их доля уменьшается ( $\text{HCO}_3^-$  – с 77.3 до 63.7 %; Ca – с 59.9 до 44.4%), а увеличивается доля сульфатов, магния и натрия ( $\text{SO}_4^{2-}$  – с 13,9 до 22,8%; Mg – до 28%; Na – до 25%). Минерализация воды увеличивается незначительно с 214-577 мг/л.

Состав воды внутрипластовых потоков меняется кардинально: с гидрокарбонатно-кальциевого, он преобразуется в сульфатно-хлоридно-натриево-кальциевую или сульфатно-гидрокарбонатно-магниевую-натриевую. Минерализация при этом возрастает с 606 до 3208 мг/л.

### **Характеристика потоков подземных вод глубокой циркуляции**

По зонам разломов, обладающих более интенсивной трещиноватостью, вода проникает на большую глубину в толщу горных массивов, где может обогащаться солями и значительно изменяет свой состав. Источником питания потоков подземных вод в зонах

разломов являются дождевые воды, талые воды снежников и ледников, оттоки воды из приповерхностных подземных потоков. Область их питания может быть значительно удалена от очагов разгрузки. Характерным признаком родников, которые являются очагами разгрузки потоков подземных вод глубокой циркуляции, является их морфология: они располагаются обычно на горных склонах, чаще всего вблизи и выше их подножий.

Расходы родников не такие значительные, как у приповерхностных потоков подземных вод, чаще от долей литра до нескольких литров. Но встречаются уникальные родники с повышенным расходом – до 10-12л/сек. Например, родник Сазбулак в Кеминском районе или Бектоо в бассейне реки Нооруз (рис.4).



Рисунок 4 – Родник Бектоо-левый состоит из двух очагов выклинивания, которые являются очагами разгрузки подземного потока вод глубокой циркуляции

Химический состав воды потоков глубокой циркуляции значительно изменен по сравнению с водой атмосферных осадков. В составе анионов начинают преобладать сульфатный  $SO_4$  и хлоридный  $Cl$  ионы, а доля гидрокарбоната  $HCO_3$  значительно уменьшается. Состав катионов стал натриево-кальциевым  $Na-Ca$  и даже  $Mg-Ca$  (родник Джильарык, табл.3). Хотя в некоторых родниках (например Туяк-устьевой) ионы кальция преобладают, но их долевое содержание упало до 49.7%.

**Характеристика потоков подземных вод коры выветривания.** Подземные потоки, циркулирующие только в зоне коры выветривания скальных пород, – явление редкое, так как большинство потоков охватывает по фронту своего движения и рыхлообломочные отложения приповерхностного чехла. Площадь их питания ограничена выходами на поверхность скальных массивов. Часть воды атмосферных осадков, выпадающих на площадь этих массивов, инфильтруется в трещины коры выветривания, формируя подземные потоки. Направление движения этих потоков на первом этапе вертикальное, сверху вниз, до уровня водонасыщения скальных трещин. На втором этапе движение продолжается вниз по склону к его подножию, где поток разгружается либо родниками, либо скрытым подземным путем фильтруется в отложения днища долины или сая, пополняя таким образом подрусовые потоки.

Расходы подземных потоков коры выветривания не велики, 0.8-1.3л/сек, что естественно в условиях ограниченного питания. Химический состав воды потоков формируется при её контакте с поверхностью стенок трещин. Поскольку трещиноватость коры выветривания постоянно увеличивается, то омывающие её потоки подземных вод увеличивают свое солевое насыщение. Концентрация солей в них возрастает от 340.5 до

718мг/л. При этом химический состав воды из гидрокарбонатно-кальциевого становится гидрокарбонатно-натриевым и гидрокарбонатно-магниевым.

По различию в составе солей и их содержанию потоки подземных вод коры выветривания разделяются два подтипа: потоки коры выветривания осадочно-метаморфических пород и потоки коры выветривания магматических пород. Величина минерализации первых превышает минерализацию вторых более чем в два раза (718 против 340мг/л, табл.4). Химический состав подземных вод потоков первого подтипа гидрокарбонатно-сульфатно-магниевый-кальцевый, вода потоков второго подтипа гидрокарбонатно-натриевая.

### **Заключение**

На основе типизации горных родников северного склона Кыргызского хребта разработана типизация потоков подземных вод горного массива Кыргызского хребта. Все многообразие подземных водных потоков было разделено на 4 типа: потоки приповерхностные, потоки пластовые, потоки глубокой циркуляции, подземные потоки зоны коры выветривания. Внутри каждого типа были выделены подтипы. Всего выделено 12 подтипов. Дана краткая характеристика каждого потоков каждого подтипа: зоны питания и разгрузки, водообильность потоков, минерализация и химический состав их воды, особенности циркуляции, глубина проникновения воды каждого потока в толщу горного массива.

### **Литература**

1. Григоренко П.Г. Подземные воды бассейна реки Чу и перспективы их использования. Фрунзе: Илим. 1979. 187 с.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР / Под ред. М.Н. Большакова. Т. 14. Средняя Азия. Вып. 2: Бассейны озера Иссык-Куль, рек Чу, Талас, Тарим. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 308 с.
3. Геологический словарь / Под ред. К.Н. Паффенгольца. Т.1. М: Недра. 1973. 486 с.
4. Геологический словарь / Под ред. К.Н. Паффенгольца. Т.2. М: Недра. 1973. 456 с.

## ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧНОСТИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА

Хамидов Х.Л.<sup>1</sup>, Ибрагимов Ф.И.<sup>2</sup>  
*hayrulla\_classic@mail.ru*

<sup>1</sup>Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*Для обеспечения устойчивой эксплуатации гидротехнических сооружений в фоне естественных и техногенных сейсмических процессов необходимо получить более точные сейсмометрические данные о механизмах колебания горных массивов в зонах водохранилищ. Без создания современных цифровых систем мониторинга достичь этого практически невозможно. В статье рассмотрена возможность оценки изменения параметров сейсмичности в зоне влияния крупных водохранилищ Южного Узбекистана с использованием возможности реализованной цифровой системы мониторинга сейсмичности в зонах водохранилищ Южного Узбекистана. На примере апробации работы сети, пользуясь разными типами оборудования и одинаковыми базовыми сейсмометрами, оценены колебания плотин и выявлены изменения параметров локальной сейсмичности.*

*Ключевые слова: сейсмические станции, плотина, организация сейсмического мониторинга, режим, водохранилище, эксплуатация, сейсмичность.*

### Введение

Исследования влияния техногенных факторов возникающих от строительства крупных водохранилищ требует выполнения большого объема наблюдений. В ранее проведенных исследованиях собраны информации о крупных водохранилищах Южного Узбекистана, где фиксированы возможные изменения уровня сейсмичности от их эксплуатации [1]. Анализированы параметры сейсмичности в разные интервалы: до, во время и после строительства водохранилищ [2,3]. Для обеспечения устойчивой эксплуатации таких объектов в фоне естественных и техногенных сейсмических процессов необходимо получить более точные сейсмометрические данные о механизмах колебания горных массивов в зонах водохранилищ. Без создания современных цифровых систем мониторинга достичь этого практически невозможно. Поэтому стал востребованным поиск путей совершенствования системы сейсмического мониторинга в зонах крупных водохранилищ Узбекистана. Исследованиями, проведенными с 1972 года по 2007 годы Н.М.Джуравым, И.Х. Тимбековым и др. [2,3], практически началась реализация первичной основы сейсмического мониторинга в зонах водохранилищ. Эти исследования базировались в основном на аналоговых системах регистрации землетрясений. Совершенствование системы мониторинга локальной сейсмичности в других водохранилищах Узбекистана в этот период не проводилось. Инженерно-сейсмометрическая служба основанная на старой, частично аналоговой аппаратуре работала в основном в Чарвакском (Ташкентский вилоят), Андижанском (Андижанский вилоят) водохранилищах.

С 2010 года началось организация цифрового мониторинга существующей до этого аналоговой системы инженерно-сейсмометрических наблюдений в водохранилищах Гиссарак и Тупаланг с современной базой обработки сейсмометрической информации. В настоящей работе представлены некоторые результаты и поиск возможностей для совершенствования мониторинга сейсмичности крупных водохранилищ Южного



Узбекистана для определения механизмов колебания береговых склонов и тела плотины во время землетрясений на базе современных информационно-коммуникационных систем.

Исследования базируются на методах оценки локальной сейсмичности, методе цифровой регистрации сейсмических волн, математических методах определения собственных частот колебаний плотин и методах обработки, многолетних данных изменений локальной сейсмичности в зонах крупных водохранилищ Узбекистана.

### **Постановка задачи**

В Постановлении Президента Республики Узбекистан, от 9 августа 2017 года за №3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», отмечена необходимость дальнейшего развития методологии мониторинга риск образующих сейсмических факторов и состояния уязвимости крупных гидросооружений на основе современных аппаратных, информационных, телекоммуникационных технологий и модельных представлений [4].

Ранее контроль над сейсмичностью в Гиссаракском и Тупалангском водохранилищах проводился в целях сейсмического микрорайонирования зоны строительства и эксплуатации [5]. Поэтому судить об исторической сейсмичности регионов, их расположении можно только по данным либо региональных сейсмических сетей, либо служб других организаций, охватывающих обработкой данных эти районы. Исследования проведены в соответствии с Государственными нормативными документами Республики Узбекистан об обеспечении геодинамической и сейсмической безопасности водохранилищ. Используются результаты организации инженерно-сейсмометрических наблюдений в период эксплуатации водохранилищ до 2007 года, выполненных в соответствии с требованиями СНиП-II-7-81 (плотины относящихся к сооружениям 1 класса капитальности и расположенных в зоне высокой сейсмичности- 8-9 баллов) [6]. Нами с 2007 года по настоящее время выполнены исследования (в соответствии с требованиями ШНК 2.06.11-04, пункта 1.12) для сооружений I-II классов. Где указано обязательное включение в состав исследований по организации инструментальных наблюдений за поведением сооружений, их оснований и береговых склонов при динамических воздействиях (землетрясения, взрывы и др.) с требованиями обязательного приложения 1 (стр.92, ШНК 2.06.11-04) [7].

### **Объекты и возможности локального сейсмического мониторинга в зонах водохранилищ**

Исследования влияния техногенных факторов от строительства водохранилищ и разработок месторождений полезных ископаемых на окружающую среду, и особенно, на природу сейсмичности, требует выполнения большого объема наблюдений. Первичная основа мониторинга сейсмичности, где осуществлен сбор данных о сейсмических событиях, анализируется в пределах водохранилищ Гиссарак и Тупаланг. При установке новой аппаратной системы определены постоянные, рассчитаны частотные характеристики всех сейсмоканалов в Гиссаракском и Тупалангском водохранилищах. Необходимо подчеркнуть, что состав контрольных наблюдений, их методика, календарные сроки и оценка безопасной работы сооружения разрабатываются на основе предварительно проведенных натурных исследований по гидросооружению. Объем контрольных наблюдений определяется типом сооружения, характером основания и степенью ответственности гидроузла.

*Гиссаракское водохранилище (Кашкадарьинская область)* находится в среднем течении р. Аксу, берущее своё начало в горах на северных склонах Гиссарских горных систем. Долина реки, где расположено водохранилище, характеризуется крутыми бортами, большими уклонами русел, сравнительно малым сохранением террасовых поверхностей, слабым распространением молодых четвертичных отложений. Основание плотины Гиссаракского водохранилища расположено в едином тектоническом блоке, и в зонах

сейсмичностью 7 и 8 баллов. Расстановка 24-х сейсмоприемников в этом районе проектирована таким образом, чтобы обеспечить трехмерное окружение объема пород, представляющего интерес в плане оценки устойчивости. Для достижения этого сейсмоприемники были размещены как на поверхности и на площадках уступов карьера Гиссаракского водохранилища, так и в вертикальных шахтах глубиной 8-10м, на верхнем контуре плотины. Расстояние между сейсмоприемниками составляет порядка 100-200м, при этом наблюдениями охватывается объем пород с максимальным поперечным размером 300-500м. Электрические сигналы с сейсмических датчиков поступают на регистрирующие модули. Здесь происходит их фильтрация, оцифровка и предварительная обработка. Установка аппаратур и наложение работы локальной цифровой сейсмометрической сети в районе расположения Гиссаракского водохранилища предназначены для инженерного обеспечения мониторинга землетрясений в зоне влияния данного объекта. Гиссаракское водохранилище расположено в зоне с высокой сейсмичностью - 8 баллов и оно относится к сооружениям первого класса по капитальности. Высота плотины по проекту 140 м (объем водохранилища 170 млн. м<sup>3</sup>) [8].

Инженерно-сейсмометрические наблюдения (ИСН) на объекте были организованы в конце 1986 г., в начале строительства. В период наблюдений с 1987 г. по 1989 г., когда еще высота плотины не достигала проектной отметки, ИСН проводились по временной схеме расположения сети сейсмостанций, и, начиная с 1990 г., ИСН были усовершенствованы к 2007-2017 гг. и перешли на постоянную схему наблюдений (рис.1) [9].

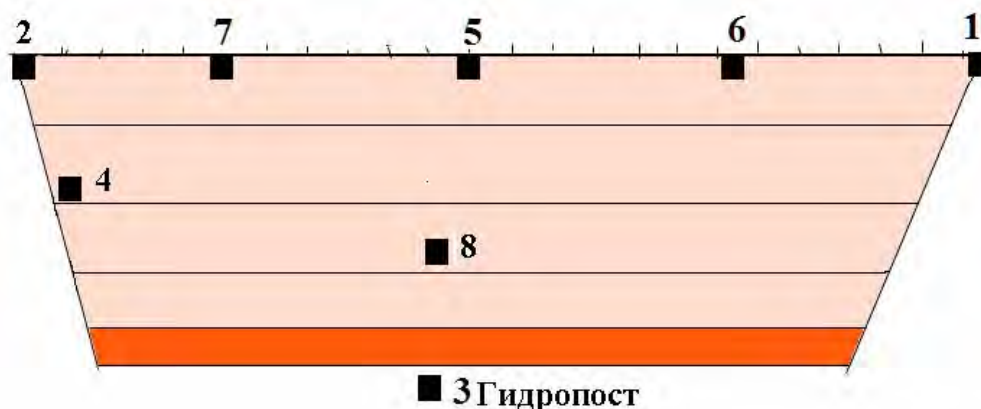


Рисунок 1 – Схема размещения измерительных точек на Гиссаракском водохранилище [9]. По временной схеме в 1988-89 гг. (ИТ 1, 2, 3 и 4); постоянно схеме в 1990-93 гг. (ИТ 1, 2, 3, 4 и 8) и цифровой с 2007 года по 2017 год (ИТ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8)

*Тупалангское водохранилище (Сурхандарьинская область, Южный Узбекистан).* Территория Тупалангского водохранилища расположена в южной части Гиссарского горного хребта, ближней зоне южно Тянь-Шанского разлома, в переходной зоне к Памирскому оргену и ограничена хребтами с запада Сурхантау и с востока Мачетли. В этом районе происходили сильные и разрушительные землетрясения как Каратагское силой 9-10 баллов ( $M \geq 7$  и эпицентр расположен очень близко к водохранилищу), Байсунское 8-9 баллов (в 80-90 км к юго-западу от водохранилища) и Чуянчинское (в 70-80 км к северо-востоку от водохранилища) с  $M \geq 6$ . Сейсмические исследования, проведенные в период 1973-1981гг, и в последующие годы показали, что территория характеризуется высокой сейсмичностью, где могут происходить землетрясения силой 9 баллов ( $M \geq 7$ ) [10].

Исследованиями на территориях водохранилищ установлено, что землетрясения силой 7, 8 и 9 баллов ( $M \geq 5$ ) имеют тенденцию повторения один раз в 300 лет, 1000 лет и 4000 лет. Створ плотины расположен в зоне 8 и 9 балльной сейсмической интенсивности. ИССН по временной схеме проводились аналоговыми сейсмостанциями в нескольких измерительных точках (ИТ): ИТ 1 - установлена на левом, а ИТ 2 - на правом берегу на

отметках соответствующие высоте плотины (в штольнях на расстоянии- 18м. от устья) и ИТ 3 в основании каньона; ИТ4 - установлена на правом берегу на отметке 60 метров (в штольнях на расстоянии- 12м от устья). Все ИТ установлены на скальных грунтах (конгломераты, известняки). При переходе на постоянную схему ИСН, количество ИТ увеличилось до 8. Из них ИТ в противоположных бортах и основании остались в прежнем положении и новые ИТ установлены на гребне и в нижнем бьефе плотины (рис.2).

Установкой 7 цифровых сейсмических рабочей станции «СРС-КМ/V-F» EL 108.00.00-v4 по схеме рис.1 и рис.2 в зоне Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ обеспечено изучение поведения бортов и основания каньона от землетрясений с учетом синхронности колебаний.

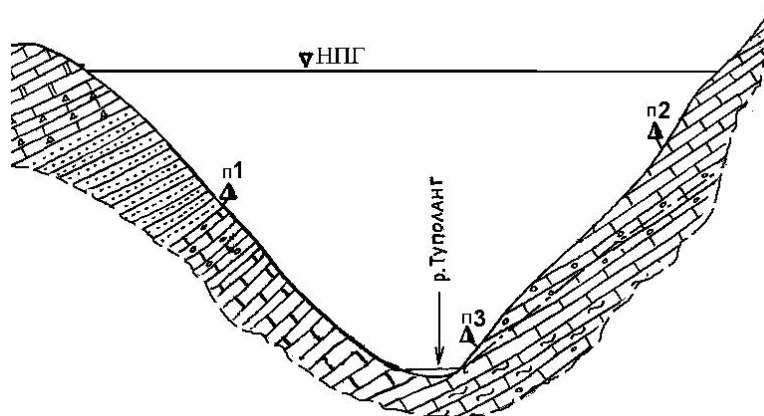


Рисунок 2 – Места установки временных пунктов сейсмометрических наблюдений [10]

Обеспечено производство обработки сейсмографического материала, полученного при регистрации землетрясений небольшой энергии на указанных в рис.1 и рис.2 ИТ сейсмометрических наблюдений. Эти пункты оборудованы каждое в отдельности цифровой записью по трем каналам и идентичным сеймоканалами и единой маркой времени во всех пунктах наблюдений. На хорошо выделенных одноименных отдельных фазах произведена нумерация до конца участка обработки сейсмограммы [9,10].

В результате проведенных работ создана и сдана в эксплуатацию цифровая сейсмостанция для дальнейших инженерно-сейсмометрических наблюдений в зоне влияния Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ. Сейсмометрические данные станций участвуют также по мере необходимости в Республиканской системе срочных сейсмологических донесений. Станции оборудованы высокочувствительными сейсмографами для записи местных и близких землетрясений типа СКМ-3 и СМ-3 с увеличением каналов в зависимости от фона помех 1-го рода от 10000 – 50000. Диапазон периодов полосы пропускания 0.2-1.2 с амплитудно-частотных характеристик каналов соответствует главной части спектра сейсмических волн слабых близких и местных землетрясений [8,9]. Для обеспечения динамического диапазона, необходимого для регистрации сильных землетрясений, использован канал регистрации с увеличением в 25 раз меньше, чем обычные каналы. Результаты контрольных наблюдений и специальных исследований после их обобщения могут быть использованы при эксплуатации гидротехнических сооружений.

### Обсуждение результатов

Выявление и анализ особенностей проявления сейсмичности в связи с эксплуатацией объекта для сейсмоэкологического контроля требует длительного непрерывного наблюдения с накоплением сейсмостатистики не только по сильным, но и в основном по слабым землетрясениям менее 10 энергетического класса. Такие крупные объекты, как Гиссаракое и Тупалангское водохранилища при эксплуатации оказывают влияние на окружающую

геологическую среду, изменяют напряженное состояние и характер сейсмических проявлений. Что особенно ощутимо в районах их расположения. Имеющаяся региональная сеть сейсмостанций не всегда позволяет получить информацию о слабых землетрясениях вблизи изучаемого объекта. Составлен местный каталог землетрясений за период с 2012 по 2018гг, где представлены землетрясения с классом от 7 до 12 произошедших в радиусе 100км от Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ.

На рис.3 показано распределение очагов землетрясений в ближних зонах Гиссаракского, Пачкамарского и Тупалангского водохранилищ. Распределение построено на базе составленной совершенствованной системы сейсмического мониторинга с использованием каталога локальных землетрясений произошедших в 2019 году.

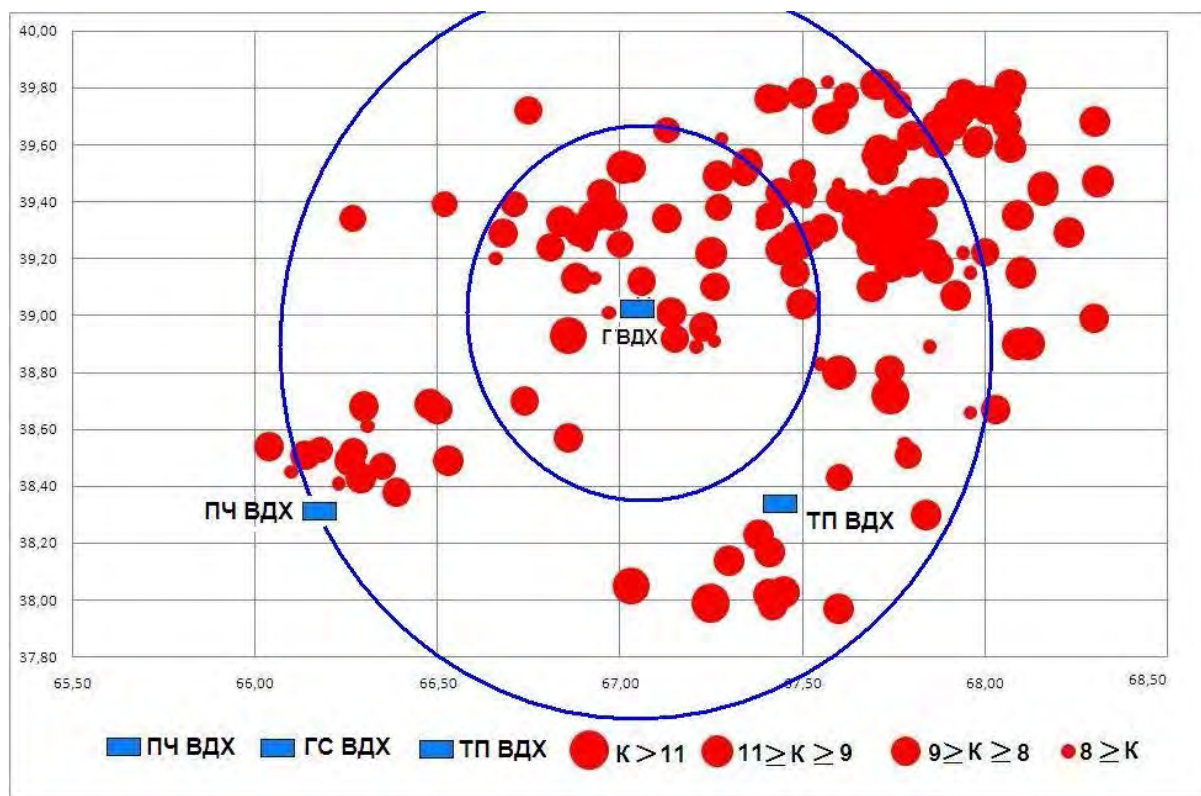


Рисунок 3 – Распределение очагов землетрясений произошедших в 2019 году в ближних зонах Гиссаракского (ГС ВДХ), Пачкамарского (ПЧ ВДХ) и Тупалангского (ТП ВДХ) водохранилищ Южного Узбекистана. К - энергетический класс землетрясений; синий круг – радиус от ВДХ Гиссарак соответственно:  $R=50$  км и  $R=100$  км

Можно полагать, что увеличение  $\gamma$  связано с усилением слабой сейсмичности в области будущего сильного землетрясения, а последующее уменьшение вызвано объединением разрывов и образованием более крупных. Сопоставление значений параметров графика повторяемости за отдельные временные интервалы периоды 1966-1973 гг. (до строительства в районе водохранилища), 1973-1983 гг. (в период строительства и начала заполнения водохранилища) и 1987-2010 гг. (в период эксплуатации) показывает, что последний характеризуется уменьшением параметра с  $\gamma=0,57$  до  $\gamma=0,36$ . Значения параметра  $\gamma$ , полученные для различных сроков осреднения, показывают, что сейсмический режим в период, включающий первый цикл начала строительства водохранилища (1972-1983 гг.), отличается от второго цикла начала заполнения водохранилища (1985-1987 гг.). Они также различаются с третьим циклом эксплуатации водохранилища (1987-2007 гг.) и четвертым циклом с 2008 по 2018 гг. Второй цикл заполнения, соответствующий близким к уровню водохранилища  $H_{max}=120$ м, характеризуется значительным увеличением средней

сейсмической активности в районе. Это позволяет говорить о зависимости сейсмического режима от режима заполнения водохранилища.

Количество землетрясений  $N$  (в 1 год) с  $K \geq 8$  за период наблюдений 1990-2007 гг. по годам различно. Наибольшее количество ( $N=23$  и  $24$ ) приходится на 2001 и 2000 гг. соответственно. Наименьшее количество землетрясений  $N=0, 5, 6, 7$  и  $8$  приходится на 1996-1999 гг. и 2002-2014 гг. Следует заметить, что эти периоды характеризуются более стабильными значениями  $N=5 \div 8$  и наблюдается для периодов 1996-1999 гг., 2002 г. и 2004-2014 гг.

Из вышеприведенного следует, что в районах Гиссаракского и Тупалангского водохранилищ в период их заполнения и эксплуатации происходили изменения параметра  $\gamma$ . Известно, что подготовка сильного тектонического землетрясения в районе водохранилищ характеризуется значимым уменьшением параметра  $\gamma$  [8,9,10]. Перед землетрясениями  $M=4,04 \div 4,6$  уменьшение  $\gamma$  происходило на 16%, перед землетрясением  $M=5,0$  уменьшение составляло 28%. Также выделяется, что для землетрясений  $M=3,9 \div 4,3$ , вызванных воздействием водохранилища - резким снятием нагрузки наблюдался обратный эффект - увеличение параметра  $\gamma$  до 20%.

Количество эпицентров и густота их расположения на этой площади в разные годы отличаются между собой. Однако, контур скопления и густота эпицентров и их приуроченность к отдельным геоструктурным элементам, в целом, остаются похожими. Например, скопление эпицентров землетрясений в районе Гиссаракского водохранилища наблюдается на карте эпицентров за 1955÷1996 гг. с  $K \geq 9,0$  и на карте за 1996÷2006 гг. с  $K \geq 7,0$  с значительно меньшей плотностью. Такая ситуация наблюдается и для  $K \geq 8,0$  в 2019 г. (рис.3).

### Заключение

Обработка данных о сейсмических событиях сети сейсмических станций в водохранилищах, где введена первичная основа сейсмического мониторинга, показала, что совершенствования системы в зонах водохранилищ Гиссарак и Тупаланг Южного Узбекистана дали возможность изучения ранее неизвестных особенностей проявления сейсмичности в период эксплуатации.

Для обеспечения динамического диапазона, необходимого для регистрации сильных землетрясений, использовался канал регистрации с увеличением в 25 раз меньше, чем обычные каналы. Удобства этих систем основываются на том, что программные обеспечения промышленных компьютеров сейсмостанций детектирует и классифицирует сейсмические воздействия непрерывным образом.

Приведенный анализ является предварительным и недостаточным для получения полного представления о том, как изменяется сейсмический режим районов водохранилищ. Возникает необходимость произведения набора соответствующих сейсмометрических данных о последующих землетрясениях и расчет сейсмических параметров для конкретной исследуемой площади водохранилищ, их изменение во времени с учетом характера протекания сейсмических событий за периоды наблюдений - в различный период эксплуатации.

Исследования поддержаны Министерством инновационного развития РУз и АН РУз в рамках Госпрограмм фундаментальных и прикладных исследований грантами № ФА-Ф-8-008 и № ПЗ-2017091115.

### Литература

1. Хамидов Л.А., Шукуров М.А. Локальная сейсмичность зоны деформационного влияния Гиссаракского водохранилища // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Материалы III Междунар. сейсмологической школы, г. Кисловодск, 20-24 окт. 2008 г. Обнинск. 2008. С. 211-216.

2. Джураев Н.М., Зияудинов Ф.Ф., Джураев А., Нурмухамедов К.Ш. Об инженерно-сейсмогеологических условиях территории строительства Тупалангского водохранилища // Проблемы оценки сейсмической опасности, риска и прогноз землетрясений (Проблемы сейсмологии в Узбекистане). Ташкент: ИС АН РУз. 2004. № 1. С. 436-446.
3. Тимбеков И.Х., Джураев Н.М., Туйчиева М.А. О достижениях комплексных инженерно-сейсмологических исследований, проведенных в районе предстоящего строительства гидротехнических сооружений в сейсмоактивных зонах Узбекистана // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. Ташкент: Янги авлод. 2006. № 3. С. 54-63.
4. Постановление Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года за №3190 «О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан», Прил. № 1, разд. № 1, пункт № 4.
5. Сайт: [http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact\\_id=3303614](http://lex.uz/pages/getpage.aspx?lact_id=3303614)
6. Namidov Lutfulla. Local Seismicity of Reservoir Areas Based on Digital Seismometric Observations // J. Problems of Cybernetics and Informatics, 2012.-vol. III.- Baku, Azerbaijan.- P. 85-88.
7. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования (СНиП II-7-81). М.: Стройиздат, 1982. 49 с.
8. Градостроительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. Гидротехнические сооружения. ШНК 2.06.11-04. Изд. официальное. Гос. комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. Ташкент. 2006. 103 с.
9. Зияудинов Ф.Ф., Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л., Фахриддинов Ж.Ф. Результаты инженерно-сейсмометрических наблюдений в зоне Гиссаракского водохранилища // Геология и минеральные ресурсы. 2016. № 5. С. 58-65.
10. Хамидов Х.Л., Артиков Ф.Р. Развитие цифрового сейсмометрического наблюдения в зоне активного влияния водохранилищ Южного Узбекистана // XVIII Уральская молодежная научная школа по геофизике, г. Пермь, 13-17 марта 2017 г. Пермь. 2017. С. 233-238.
11. Хамидов Л.А., Артиков Ф.Р., Хамидов Х.Л. Возможности организации слежения местной сейсмичности в ближних зонах водохранилищ Узбекистана // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей. Девятые научные чтения памяти Ю.П. Булашевича, г. Екатеринбург, 18-22 сент. 2017 г. Екатеринбург. 2017. С. 426-430.

## ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С АНОМАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ СОДЕРЖАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТИЯ, МАГНИЯ, ВАНАДИЯ

Хасанова Г.И.<sup>1</sup>, Кудратов А.М.<sup>2</sup>, Бакиев С.А.<sup>3</sup>

*khasanova.gulhayo@mail.ru*

<sup>1</sup>Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>2</sup>Ташкентский архитектурно-строительный институт, г. Ташкент, Республика Узбекистан

<sup>3</sup>Государственное предприятие “Институт ГИДРОИНГЕО”, г. Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье представлены результаты гидрогеохимического мониторинга, проведенного в скважинах Текстиль, Назарбек и Овощеводство Ташкентского гидродинамического полигона, а также мониторинга количественных изменений макро- и микрокомпонентов в подземных водах в периоды сейсмической активности.*

*Ключевые слова: гидрохимический мониторинг, подземные воды*

Химический микро- и макрокомпонентный состав подземных вод и содержание редкоземельных элементов являются индикаторами сейсмических и геоэкологических состояний подземных вод и могут использоваться при мониторинге водных объектов. Актуальность проблемы определяется слабой изученностью механизма и характера поведения элементов в подземных водах [1]. Для решения этой проблемы нами проведено исследование распределения редкоземельных элементов в подземных водах Ташкентского полигона. Отдельно проанализированы группы тяжелых и легких редкоземельных элементов, а также по отдельности группы скважин Текстиль, Назарбек и Овощеводство, принадлежащие Ташкентскому полигону.

Уровни содержания редкоземельных элементов в изученных водах крайне низки (доли мкг/л). В скважине Текстиль гидрогеохимические исследования проводятся с 1973 года (глубина скважины составляет 2400 м), в скважине Назарбек – с 1980 года (глубина скважины 1200 м), в скважине Овощеводство – с 1970 года (глубина скважины составляет 1640 м). В скважинах анализы проводятся по хлору, гидрокарбонат-ионам, рН, Eh, соли и газам, растворенных в воде. Начиная с июля 2019 года были переведены экспериментальные анализы по 64 микрокомпонентам из трех вышеперечисленных скважинах с использованием современных новых методов масс-спектрометрического анализа (ICP-MS), а в последнее время – приборов ICP-MS высокого разрешения.

Результаты наблюдений показывает, что 6 ноября 2019 года на территории Афганистана наблюдалось землетрясение магнитудой  $M=5$  баллов, глубиной  $h=200$  км, в 470 км от Ташкентского полигона. В 2020 году 24 января произошло землетрясение магнитудой  $M=5,5$  баллов на территории республики Таджикистан, глубиной  $h=10$ . В Ташкентском полигоне это землетрясение чувствовалось в 2-3 балла. Эпицентр находился в 317 км от Ташкента (по данным Республиканского центра Сейсмопрогностического мониторинга) [2]. Анализы проведенные в результате мониторинга показывает, что количество микрокомпонентов, таких как литий, магний, ванадий, увеличивается до тех пор, пока не произойдет землетрясение.

Таблица 1 – Результаты мониторинга воды из скважины Текстиль

Даты	Количество Li, мкг/л	Количество Mg, мкг/л	Количество V, мкг/л
17.07.2019 г.	80	870	100
23.07.2019 г.	89	1100	100
31.07.2019 г.	79	830	97
05.09.2019 г.	92	890	100
20.08.2019 г.	69	740	60
27.08.2019 г.	69	860	82
04.09.2019 г.	48	700	57
11.09.2019 г.	99	1100	100
18.09.2019 г.	98	1200	98
25.09.2019 г.	110	1100	99
03.10.2019 г.	120	1300	100
10.10.2019 г.	75	870	73
17.10.2019 г.	81	920	68
24.10.2019 г.	29	720	67
30.10.2019 г.	59	870	88
06.11.2019 г.	160	1700	130
13.11.2019 г.	63	840	73
18.11.2019 г.	66	810	72
27.11.2019 г.	65	760	66
11.12.2019 г.	68	1300	83
19.12.2019 г.	89	1000	100
04.01.2020 г.	70	880	77
09.01.2020 г.	44	580	100
15.01.2020 г.	420	2400	180
23.01.2020 г.	130	1200	110

Литий – химический элемент, относящийся к 1 группе периодической системы Д.И. Менделеева, широко распространенный в природе, в пересчете на массовую долю земной коры составляет 6,5-10~3%. Известно более 150 его минералов. Количество лития в таблице выражается в Li, мкг/л. [3,4].

Магний как элемент расположен во 2-й группе периодической системы и входит в состав щелочноземельных металлов. Природный магний состоит из трех стабильных изотопов и широко распространен в природе. Хорошо реагирует с галогенами, образуя различные соли и более 100 минералов [3,4]. Количество магния в таблице выражается в Mg, мкг/л.

Ванадий входит в состав природных руд, основные минералы: ванадинит, деклюаз, карнотит и многие другие. Его соединения также участвуют в процессе роста. Количество ванадия в таблице выражается в V, мкг/л.



Таблица 2 – Результаты мониторинга воды из скважины Назарбек

Дата	Количество Li, мкг/л	Количество Mg, мкг/л	Количество V, мкг/л
17.07.2019 г.	53	750	97
23.07.2019 г.	68	940	110
31.07.2019 г.	61	850	110
05.09.2019 г.	61	880	100
20.08.2019 г.	58	870	95
22.08.2019 г.	78	1000	110
27.08.2019 г.	48	750	94
04.09.2019 г.	36	410	69
11.09.2019 г.	60	780	100
18.09.2019 г.	63	940	100
25.09.2019 г.	41	580	71
03.10.2019 г.	70	970	100
10.10.2019 г.	53	690	90
17.10.2019 г.	72	950	100
24.10.2019 г.	22	340	58
30.10.2019 г.	38	760	100
06.11.2019 г.	110	1400	140
13.11.2019 г.	45	830	91
18.11.2019 г.	44	690	89
27.11.2019 г.	49	740	79
11.12.2019 г.	53	920	100
19.12.2019 г.	66	960	100
04.01.2020 г.	54	1000	110
09.01.2020 г.	31	500	85
15.01.2020 г.	260	1900	110
23.01.2020 г.	72	1100	200

Мониторинговые наблюдения показывают, что за период сейсмической активности количество лития в скважине Назарбек увеличилось с 53 мкг/л до 110 мкг/л, количество магния увеличилось с 750 мкг/л до 1400-1900 мкг / л.

Из результатов мониторинга гидрогеохимического мониторинга скважин Текстиль, Назарбек и Овощеводство Ташкентского полигона, можно сделать вывод, о том, что помимо макрокомпонентов содержащихся в подземных водах в сейсмически активные периоды, изменяются и микрокомпоненты. Пробы из этих скважин были проанализированы на 64 микрокомпонентах в приборе ICP-MS и было установлено, что в экспериментах также увеличивалось количество компонентов с повышенным минеральным содержанием подземных вод. Если посмотреть на примере лития, его количество увеличивалось с 53 мкг/л до 110 мкг/л, в период сейсмической активности достигло 260 мкг/л.

Таблица 3 – Результаты мониторинга воды из скважины Овощеводство

Дата	Количество Li, мкг/л	Количество Mg, мкг/л	Количество V, мкг/л
17.07.2019 г.	65	940	180
23.07.2019 г.	86	840	95
31.07.2019 г.	79	1100	220
05.09.2019 г.	66	810	290
20.08.2019 г.	82	1100	200
22.08.2019 г.	97	1000	240
27.08.2019 г.	57	920	250
04.09.2019 г.	49	800	150
11.09.2019 г.	65	860	190
18.09.2019 г.	70	980	220
25.09.2019 г.	70	980	220
03.10.2019 г.	66	800	210
10.10.2019 г.	61	720	190
17.10.2019 г.	65	790	180
24.10.2019 г.	24	520	110
30.10.2019 г.	44	690	200
06.11.2019 г.	120	1200	310
13.11.2019 г.	49	670	190
18.11.2019 г.	49	640	190
27.11.2019 г.	54	640	160
11.12.2019 г.	50	960	90
19.12.2019 г.	68	850	220
04.01.2020 г.	64	990	170
09.01.2020 г.	34	540	240
15.01.2020 г.	190	1400	430
23.01.2020 г.	69	780	200

### Литература

1. Киссин И.Г. Землетрясения и подземные воды. М.: Наука. 1982. 176 с.
2. Республиканский центр Сейсмопрогностического мониторинга МЧС РУз. Каталог Центральной Азии. [https://rcsm.fvv.uz/ru/catalog\\_reg](https://rcsm.fvv.uz/ru/catalog_reg)
3. Султанходжаев А.Н., Зиган Ф.Г. Микрокомпоненты подземных вод Ферганской долины. Ташкент: Фан. 1975. 158 с.
4. Гидрогеосейсмологические предвестники землетресений / Под ред. Г.А. Мавлянова. Ташкент: Фан. 1983. 136 с.

## ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ТАШКЕНТА

Хусамиддинов А.С., Ёдгоров Ш.И., Садиров Ф.Х.  
*ahrorhs1980@mail.ru*

Институт сейсмологии им. Г.А. Мавлянова Академии наук Республики Узбекистан,  
г. Ташкент, Республика Узбекистан

*В статье рассматривается оценка критериев современного состояния комплексного геологического риска для территории города Ташкента. При составлении интегральной карты для территории города Ташкента учитывались следующие геологические характеристики: мощность четвертичного покрова, глубина залегания уровня грунтовых вод, мощность антропогенных отложений, крутизна поверхности при расчлененном рельефе местности, степень просадочности лёссовых пород и влияние палеодолин. Оценка уровней риска для условий города Ташкента осуществляется на основе экспертной оценки инженерно-геодинамических условий и планирования землепользования. Приводится краткая характеристика каждого из четырех уровней. На основании выделенных уровней риска составлены схематические карты комплексного геологического риска города Ташкента.*

*Ключевые слова: геологический риск, сейсмический риск, комплексная матрица, географические информационные технологии.*

Потенциальная величина сейсмического риска городских территорий зависит от ряда факторов [1-8], в числе которых показатель комплексного геологического риска (КГР). Показатель КГР характеризуется природными и техногенными составляющими фактора риска. Природные факторы КГР предопределены такими характеристиками района исследований как: особенности истории геолого-тектонического развития и современное состояние их активности; геолого-литологического строения; мощности четвертичного покрова и их литологического состава; наличия регионального водоупора и расположения его кровли; распространения и глубины залегания подземных вод, их режима, химического состава и степени агрессивности [1-8].

Для успешной реализации поставленных в проекте задач по оценке потенциальной величины сейсмического риска территории г. Ташкента с применением современных технологий, нами был организован сбор материалов характеризующих природные и техногенные составляющие комплексного геологического риска и их параметры для урбанизированных территорий Узбекистана, находящихся в различных геологических организациях Узбекистана, с целью произвести анализ собранного материала и сделать экспертную оценку. Геологический риск определяется вероятностью развития ущербобразующих природных или природно-техногенных процессов и явлений в результате активизации инженерно-геодинамических процессов, которые создают угрозу безопасности жизни населения и объектам экономики.

С целью пространственного отображения комплексного взаимодействия всех факторов геологических рисков с видами землепользования строится карта комплексного геологического риска. Геологической Службой Финляндии в ходе реализации в 2003-2005гг. проекта «KallioINFO-project», инициатором которого стало Финское агентство по привлечению инвестиций для технологических и инновационных проектов, была разработана и использована методика построения карты комплексного геологического риска. В рамках указанного проекта проводилась оценка соответствия конкретной местности строительным требованиям. В интегральной карте соответствия при этом учитывались лишь

три геологические характеристики: тип почвы, глубина залегания водоносного горизонта и крутизна склона. Подобная работа была проведена для территории г. Санкт-Петербурга. В случае Санкт-Петербурга задача была существенно осложнена необходимостью интеграции семи факторов риска. Совместный анализ факторов геологического риска и информации о видах землепользования осуществлялся с применением технологии геоинформационных систем. Все картографические наборы данных, характеризующие территорию города, были преобразованы в растровый формат с размером ячейки 50×50 метров. Каждой ячейке были присвоены геологические характеристики в соответствии с их классификацией, а также соответствующий вид землепользования. На следующем этапе, для каждой ячейки были определены 7 частных значений риска в соответствии с матрицей геологических рисков.

Комплексный показатель геологического риска определялся по формуле:

Комплексный геологический риск = пригодность для строительства \* 1 000 000 + влияние палеодолин \* 100 000 + неотектонические зоны \* 10 000 + крутизна склона поверхности \* 1 000 + карстовые процессы \* 100 + участки образования биогаза \* 10 + уровень радоновой опасности.

В соответствии с приведенным выражением был построен интегрированный растр, каждая ячейка которого содержит значение от 0000000 до 4444444. Первая слева цифра характеризует пригодность для наземного строительства в контексте той или иной формы землепользования, вторая – влияние палеодолин, третья – неотектонические зоны, четвертая – крутизну склона поверхности, пятая – карстовые процессы, шестая – участки образования биогаза, а седьмая – уровень радоновой опасности. За величину комплексного геологического риска в каждой ячейке принимается максимальное значение среди семи частных параметров. Таким образом, если в ячейке растра имеется, хотя бы одна характеристика со значением 4, это означает, что в данном месте имеется потенциально высокий риск для выбранного вида землепользования и обязательно должна быть обеспечена система учета факторов риска. На комплексной схематичной карте геологического риска отражен уровень геологических опасностей (потенциал риска), показанный четырьмя различными оттенками коричневого цвета. Тёмно коричневый указывает на очень высокий потенциал, менее тёмный – высокий, ещё менее тёмный – умеренный, а светлый – низкий потенциал. Для анализа структуры комплексного геологического риска в Атласе приводятся также карты семи частных рисков.

Потенциал геологического риска оценивается для каждого типа землепользования и каждого класса факторов геологического риска в отдельности. Он имеет четыре уровня и определяется в условных величинах от 1 до 4. Оценка уровней риска осуществляется на основе растровой экспертной оценки.

Для условий Санкт-Петербурга оценку выполняли четыре эксперта, специализирующиеся в вопросах геологии и планирования землепользования. Ниже приводится краткая характеристика каждого из четырех уровней.

Уровень риска 1: Потенциально низкий геологический риск для данного вида землепользования, необходимости в системе учета факторов риска нет. Данная категория выбирается, если учитываемые в комплексной матрице геологические характеристики указывают на очень низкую вероятность опасности и ожидаемые при данном виде землепользования потенциальные последствия незначительны. Необходимости в системе мер для снижения потенциала опасности или вероятности опасности нет.

Уровень риска 2: Потенциально умеренный геологический риск для данного вида землепользования, рекомендуется система учета факторов риска. Данная категория выбирается, если учитываемые в комплексной матрице геологические характеристики указывают на возможность возникновения опасного события, масштаб потенциальных последствий которого потребует некоторых усилий для восстановления прежнего состояния. Рекомендуется система мер для снижения потенциала опасности или вероятности риска.

Уровень риска 3: Потенциально высокий геологический риск для данного вида землепользования, необходима система учета факторов риска. Данная категория выбирается,

если одна или несколько геологических характеристик в комплексной матрице указывают на возможность возникновения опасного события, масштаб потенциальных последствий которого потребует значительных усилий для восстановления прежнего состояния. Следует рассмотреть систему мер для снижения потенциала опасности или вероятности риска.

Уровень риска 4: Потенциально очень высокий геологический риск для данного вида землепользования, система учета факторов риска обязательна. Данная категория выбирается, если одна или несколько геологических характеристик в комплексной матрице указывают на высокую вероятность возникновения опасного события, масштаб потенциальных последствий которого потребует значительных усилий для восстановления прежнего состояния. Во многих случаях прежнее состояние можно восстановить лишь частично. Следует обеспечить всестороннюю систему мер снижения потенциала ущерба или вероятности риска.

При интерпретации результатов интегральной оценки геологических рисков, полученной с помощью описанной методики, необходимо принимать во внимание следующие ее особенности. Применение для характеристики риска описанной выше системы условных значений обусловлено тем, что оценка в абсолютных и измеряемых величинах требует специальных исследований в каждом конкретном случае. При этом появляется необходимость учета детальной информации об условиях строительства и типах возводимых или планируемых к возведению на конкретном участке строений. Для некоторых территорий массового строительства, обозначенных на карте высоким уровнем риска, возможно, уже был проведен комплекс мероприятий по их учету. В таких случаях показанный на карте уровень можно рассматривать, как рекомендацию по организации мониторинга геологической среды в процессе эксплуатации.

В описанной методике риски рассматриваются как потенциальные, поскольку матрица рисков описывает только предпосылки для их возникновения. Таким образом, значение фактора геологического риска, присвоенного конкретной территории, характеризует предпосылки, способствующие возникновению того или иного типа опасности на ней, однако не может рассматриваться, как оценка вероятности возникновения опасного события (например, частота подъема уровня грунтовых вод, или скорость развития карста и т.д.). С другой стороны, существующие виды землепользования не определяют непосредственный потенциальный ущерб при возникновении опасного события (возможное число пострадавших, стоимость материальных потерь). Они указывают на предпосылки, способствующие увеличению этого ущерба: концентрация людей в новых жилых массивах, строительство дорогостоящих сооружений или элементов жизненно важной инфраструктуры. При этом для решения потенциальных проблем, связанных с рисками, требуются специальные исследования. Описанная методика пространственного анализа семи факторов геологических рисков в комплексе с условиями наземного строительства является первым опытом оценки соответствия перспектив городского развития условиям геологической среды. В данном случае при расчете величины комплексного геологического риска было принято предположение о равнозначности всех семи факторов. Однако методика дает возможность использовать, при необходимости, систему весовых коэффициентов, позволяющую подчеркнуть вклад каждого фактора. В частности, возможно также применение среднего значения по всем характеристикам (с равными весами), что, однако, может привести к сглаживанию величины комплексного риска и исчезновению отдельных существенных, локально высоких.

При определении комплексного геологического риска (КГР) для территории г. Ташкента использована методика, приведенная выше. При экспертной оценке КГР для территории г. Ташкента в интегральной карте соответствия, нами учитывались четыре геологические характеристики: мощность четвертичных отложений; глубина залегания уровня грунтовых вод и его режим; крутизна поверхности при расчлененном рельефе местности; степень просадочности лёссовых пород при наличии просадочных свойств лёссовых отложений; влияние палеодолин при их наличии и степень сейсмической

опасности (рис. 1). Совместный анализ факторов геологического риска и информации о видах землепользования осуществлялся с применением современной технологии геоинформационных систем. Все картографические наборы данных, характеризующие территорию исследований, были преобразованы в растровый формат с размером ячейки 250×2500 метров. Каждой ячейке были присвоены геологические характеристики в соответствии с их классификацией, а также соответствующий вид землепользования. На следующем этапе, для каждой ячейки были определены 4 частных значений риска в соответствии с матрицей геологических рисков. Комплексный показатель геологического риска определялся по формуле:

Комплексный геологический риск = пригодность для строительства \* 1 000 000 + влияние уровня залегания грунтовых вод \* 100 000 + крутизна склона поверхности \* 10 000 + степень проницаемости лёссовых пород если они есть \* 1 000 + влияние палеодолин \* 100 + степень сейсмической опасности\*10.

В соответствии с приведенным выражением был построен интегрированный растр, каждая ячейка которого содержит значение от 0000 до 4444. Первая слева цифра характеризует пригодность для наземного строительства в контексте той или иной формы землепользования, вторая – влияние уровня залегания грунтовых вод, третья – крутизну склона поверхности; четвертая – мощность четвертичных отложений, или влияние палеодолин. За величину комплексного геологического риска в каждой ячейке принимается максимальное значение среди четырех частных параметров. Таким образом, если в ячейке растра имеется, хотя бы одна характеристика со значением 4, это означает, что в данном месте имеется потенциально высокий риск для выбранного вида землепользования и обязательно должна быть обеспечена система учета факторов риска. На интегральной схематической карте комплексного геологического риска отражен уровень геологических опасностей (потенциал риска), показанный четырьмя различными оттенками коричневого цвета. Для анализа структуры комплексного геологического риска в Атласе приводятся также карты четырех частных рисков и поперечные литологические профили по характерным линиям для анализа особенностей геолого-литологического строения конкретной местности.

В интегральной схематической карте комплексного геологического риска для территории г. Ташкента, (рис. 1) к четвертой категории КГР с очень высоким потенциалом риска относятся территории занятые овражно-балочной сетью долины ар.Каракамыш которая прослеживается с севера на юг на западе от Ташкента на поверхности пролювиальной равнины среднечетвертичного периода осадконакопления плейстоцена (pQ<sub>pts</sub>), сложенной лёссовыми породами мощностью от 15-20 до 70-80м. Овражно-балочная сеть представлена аллювиальными песком, супесью и лёссовидными отложениями (aQ<sub>III-IVgl-Sd</sub>) верхнечетвертичного и голоценового периода. Кроме того к этой-же категории относятся территории занятые долиной р. Чирчик на юго-востоке Ташкента поверхность первой и частично второй надпойменной террасы р. Чирчик сложенной аллювиальными гравийно - галечными отложениями с песчаным заполнителем голодностепского (aQ<sub>IIIgl</sub>) среднечетвертичного периода плейстоцена и раннесырдарьинского (aQ<sub>IVSd<sub>2</sub></sub>) периодов осадконакопления голоцена. К третьей категории КГР с высоким потенциалом риска относятся поверхность второй (aQ<sub>IVSd<sub>1</sub></sub>) и третьей (aQ<sub>IIIgl</sub>) надпойменной террасы р. Чирчик расположенной на юго – востоке Ташкента сложенная аллювиальными лёссовидными отложениями и гравийно-галечными с супесчано-суглинистым заполнителем (aQ<sub>III-IVgl-Sd<sub>1</sub></sub>) к третьей категории по КГР. Ко второй категории КГР с умеренным потенциалом риска относятся относительно ровная поверхность пролювиальной равнины по левому берегу каналов Каракамыш вытянутой с северо-востока на юго-запад. Поверхность сложена мощной толщей лёссовых отложений среднечетвертичного периода плейстоцена (pQ<sub>pts</sub>). К первой категории КГР с низким потенциалом риска относятся относительно ровная поверхность пролювиальной равнины по правому и левому берегам каналов Салар и Бозсу вытянутой с северо-востока на юго-запад параллельно течению каналов. Поверхность

сложена мощной толщей лёссовых отложений среднечетвертичного периода плейстоцена (рQ<sub>nts</sub>).

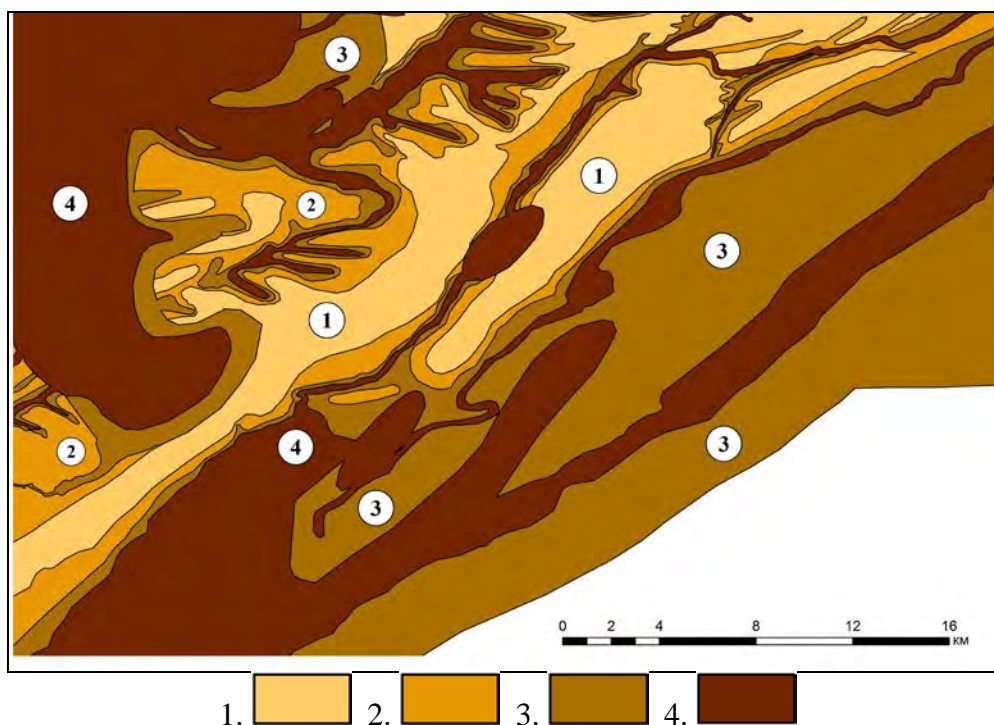


Рисунок 1 – Схематическая карта комплексного геологического риска г. Ташкента. Потенциал геологического риска: 1 – низкий; 2 – умеренный; 3 – высокий; 4 – очень высокий

### Литература

1. Кофф Г.Л., Рюмина Е.В. Сейсмический риск (виды, оценка, управление). М.: НИЦ «Геориск». 2003. 107 с.
2. Методика оценки комплексного геологического риска. М. 2006. Источник: [http://infoecogis.ru/gisgeo/geoinform\\_res/risk\\_metod.htm](http://infoecogis.ru/gisgeo/geoinform_res/risk_metod.htm)
3. Рекомендации по оценке геологического риска на территории г. Москвы. 2002. Источник: [http://www.znaytovar.ru/gost/2/RekomendaciiRekomendacii\\_po\\_oc4.tml](http://www.znaytovar.ru/gost/2/RekomendaciiRekomendacii_po_oc4.tml)
4. Туйчиева М.А., Джураев Н.М., Джураев А. и др. Закономерности формирования и изменения инженерно-геологических условий и факторов сейсмического риска на урбанизированных территориях Узбекистана. Ташкент: Навруз. 2015. 335 с.
5. Худайбергенов А.М., Нурмухамедов К.Ш., Туйчиева М.А., Джураев Н.М., Ёдгоров Ш.И. Геоэкология и сейсмоэкология городов Узбекистана. Ташкент: Иктисодиёт. 2014. 309 с.
6. Туйчиева М.А., Джураев Н.М., Сапаров А., Ёдгоров Ш.И., Артиков Ф.Р., Хусамиддинов А.С. Оценка комплексного геологического риска на урбанизированных территориях Западного Узбекистана (на примере территории г. Карши и его окрестностей) // Сергеевские чтения. Вып. 17. Инженерно-геологические и геоэкологические проблемы городских агломераций. М.: Российский университет дружбы народов. 2015. С. 98-101.
7. Туйчиева М.А., Джураев Н.М., Ёдгоров Ш.И., Артиков Ф.Р. Особенности формирования природно-техногенных изменений геоэкологических условий урбанизированных территорий Узбекистана // Экологические проблемы промышленных городов. Сб. науч. тр. по материалам 7-й Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием в г. Саратове. Ч. 1. Саратов. 2015. С. 118-120.
8. Туйчиева М.А., Джураев Н.М., Ёдгоров Ш.И., Артиков Ф.Р. Оценка комплексного геологического риска для территории Бухары с целью расчета сейсмического риска // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире (Геориск – 2015). Сб. науч. тр. 9-ой междунар. науч.-практ. конф. по пробл. снижения природных опасностей и рисков. М. 2015. С. 115-117.

---

**Механика и  
междисциплинарные доклады**

---



## MATHEMATICAL MODEL OF PHOTVOLTAIC MODULE IN SIMULINK GRAPHICAL SIMULATION ENVIRONMENT

Akhmetshin A.T., Akhmetshina E.M., Yarmukhametov U.R.

*artur-2506@mail.ru*

Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia

*A mathematical model of the photovoltaic module has been developed in Simulink graphical simulation environment, which allows to reproduce the characteristics of modules with different parameters and assess the influence on their output characteristics of both internal and external factors.*

*Keywords: solar photovoltaic cell, solar photovoltaic module, mathematical model, Simulink graphical simulation environment, voltage-current characteristics, voltage-watt characteristics.*

In recent years, the most active work has been done on the development of solar installations with photovoltaic modules that directly convert solar radiation into electrical energy. When designing and studying different solar installations with photoelectric modules, it is necessary to take into account the influence of different factors on the output energy characteristics of these modules.

Experimental determination of characteristics or investigated parameters of solar photoelectric module in natural conditions requires carrying out a number of experiments directly depending on weather conditions, day of year and time of day, availability of necessary measuring devices and involves other organizational difficulties.

It is therefore of interest to develop a mathematical model, a particular case of which is simulation modeling, allowing for comparison with natural experiment to provide a significant reduction in complexity, to take into account the influence of a large number of parameters on the characteristics of a solar photovoltaic module and to reduce the time and funds required to carry out the necessary calculations and studies.

Mathematical modeling was based on a classical model of a photovoltaic converter with p-n transition allowing to determine voltage dependence  $U$  on current  $J$  A/cm<sup>2</sup>, [1]:

$$U = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[ \frac{(J_{\phi} - J)}{J_o} + 1 \right] - JR, \quad (1)$$

где  $k$  - Boltzmann constant,  $J \cdot K^{-1}$ ;

$T$  - operating temperature of the photovoltaic converter,  $K$ ;

$q$  - the charge of the electron,  $C$ ;

$J_{\phi}$  - photocurrent proportional to the intensity of solar radiation  $I$ , incident on the surface photovoltaic converter  $\left( \frac{J_{\phi}}{I} = const \right)$ ,  $A/cm^2$ ;

$J_o$  - reverse saturation current,  $A/cm^2$ ;

$R$  - internal electrical resistance,  $\Omega \cdot cm^2$ ;

$A$  - dimensionless parameter of curvature of voltage-current characteristic (VCC),  $A = 1 \dots 2$  [2].  $A = 1 \dots 5$  [3].

The reverse saturation current, determined by the properties of the original semiconductor and the manufacturing technology of the solar cell, is determined by:

$$U_{XX} = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[ \frac{(J_\phi - J)}{J_o} + 1 \right] \Rightarrow J_o = \frac{J_\phi}{\exp \left( \frac{U_{XX} \cdot q}{A \cdot k \cdot T} \right) - 1}. \quad (2)$$

где  $U_{XX}$  - no-load voltage,  $V$ .

The photovoltaic module consists of a combination of series-parallel connected photovoltaic solar cells depending on the required output parameters (voltage, current, power of the module) determined on the basis of the following ratios:

$$U_M = U \cdot N_{PC}; \quad (3)$$

$$J_M = J \cdot N_{PP}; \quad (4)$$

где  $N_{PC}$  - number of series-parallel connected cells,  $pcs$ ;

$N_{PP}$  - number of parallel connected cells,  $pcs$ .

In real conditions of operation, the characteristics of photovoltaic modules are variable, due to changes in environmental parameters (solar radiation intensity and air temperature).

The effect of changes in the solar radiation intensity and operating temperature on the VCC of a photovoltaic cell can be written in the following of expressions [3]:

$$J_{K.3.} = J_{o_{K.3.}} + \Delta J_I + \Delta J_T; \quad (5)$$

$$U_{XX} = U_{o_{XX}} + \Delta U_{I1} + \Delta U_{I2} + \Delta U_T, \quad (6)$$

where  $J_{o_{K.3.}}$  и  $U_{o_{XX}}$  - initial short-circuit current and no-load voltage measured under standard lighting conditions AM1 ( $I_0 = 1000 Bm / m^2$ ) and operating temperature ( $T_0 = 25^\circ C$ );

$\Delta J_I, \Delta U_{I1}, \Delta U_{I2}$  - corrections taking into account changes in the solar radiation flux density;

$\Delta J_T, \Delta U_T$  - corrections taking into account changes in the operating temperature:

$$\Delta J_I = \frac{I - I_0}{I_0} J_{o_{K.3.}}; \quad (7)$$

$$\Delta U_{I1} = -\Delta J_I \cdot R_{II}; \quad (8)$$

$$\Delta U_{I2} = \kappa \cdot \lg \left( \frac{I}{I_0} \right); \quad (9)$$

$$\Delta J_T = \beta_I \cdot J_{o_{K.3.}} (T - T_0); \quad (10)$$

$$\Delta U_T = \beta_U \cdot U_{XX} (T - T_0), \quad (11)$$

where  $R_{II}$  - consistent resistance of the solar cell;

$\kappa$  - coefficient depending on the type of solar cell;

$\beta_I, \beta_U$  - current and voltage temperature coefficients,  $1/^\circ C$ .

All the above mentioned expressions were taken into account in the developed mathematical model of the photovoltaic module implemented in the Matlab/Simulink software environment. For ease of use and unloading of the working window from the volumetric model information, interconnected subsystems were assembled into a single subsystem based on the SubSystem block (figure 1).

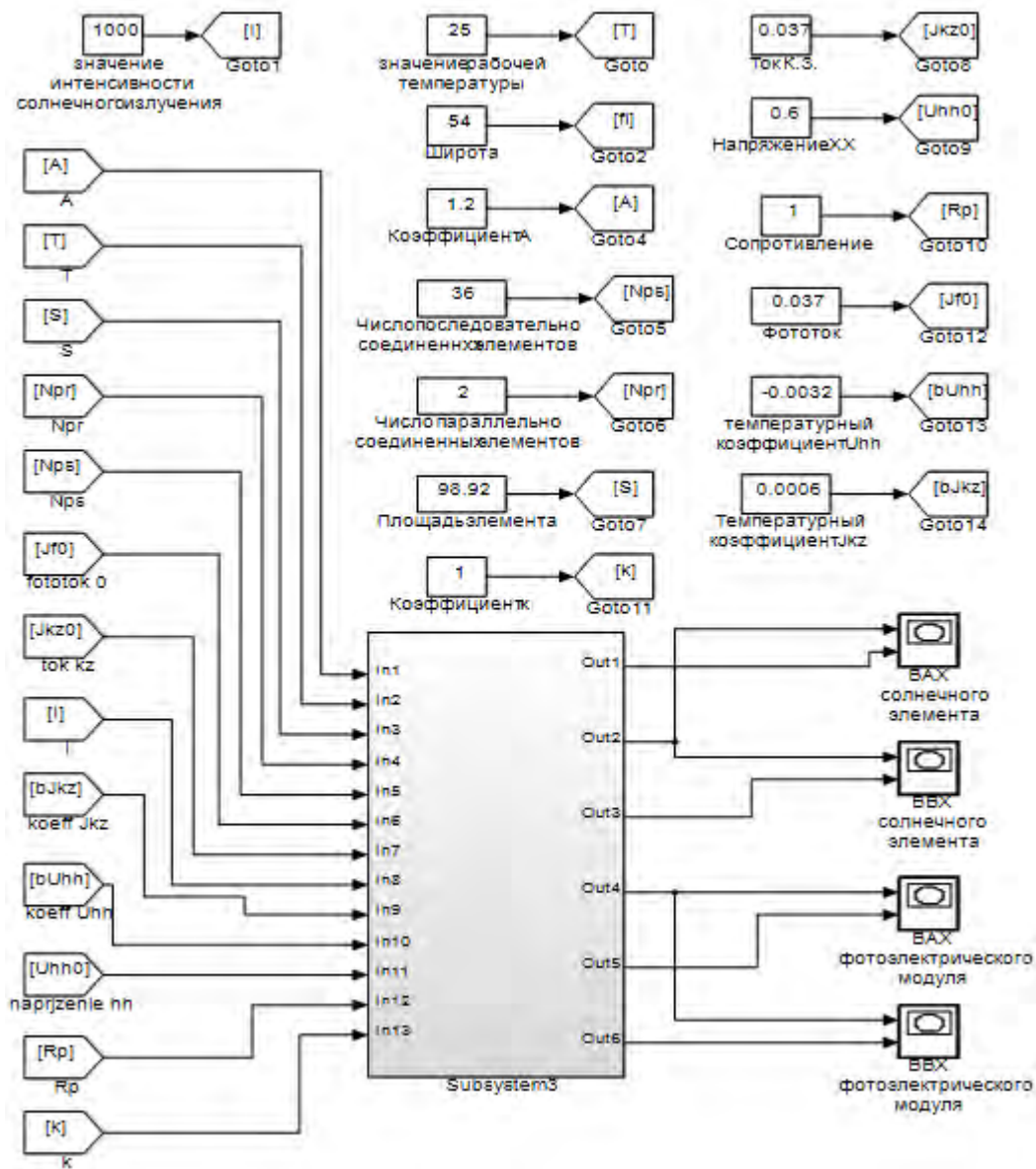
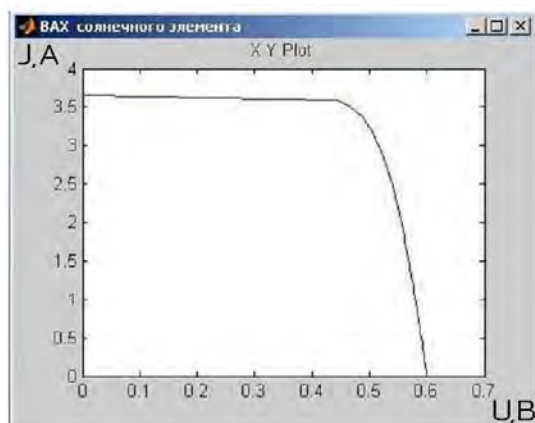


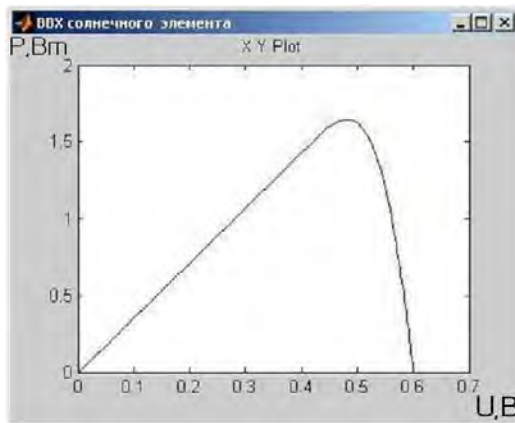
Figure 1 – Model of photovoltaic module in Matlab / Simulink

In order to test it, VCC and voltage-watt characteristics (VWC) are made for one solar cell and a module consisting of 2 parallel connected blocks (with 36 series connected elements in each) under standard conditions (Fig.2). Monocrystalline silicon solar cells have the following characteristics:  $J_{o_{K.3.}} = 37 \text{ mA/cm}^2$ ;  $U_{o_{XX}} = 600 \text{ mV}$ ;  $R = 1 \Omega \cdot \text{cm}^2$ ; square  $S = 98,92 \text{ cm}^2$ ;  $\beta_I = 0,0006^\circ\text{C}^{-1}$ ,  $\beta_U = -0,0032^\circ\text{C}^{-1}$ . The values of the coefficient  $A = 1, 2$  [2].

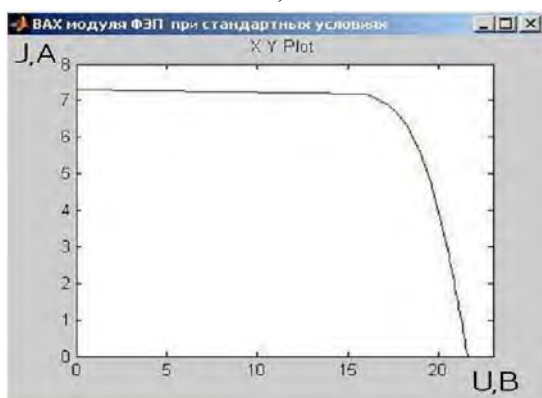
Photovoltaic module, according to its specifications, gives the maximum power  $P_{\max} = 120 \text{ W}$ ,  $U_{XX} = 22 \text{ V}$ ,  $J_{K.3.} = 7,34 \text{ A}$ , optimum operating voltage  $U_{OIT} = 18 \text{ V}$  and current  $J_{OIT} = 6,66 \text{ A}$ .



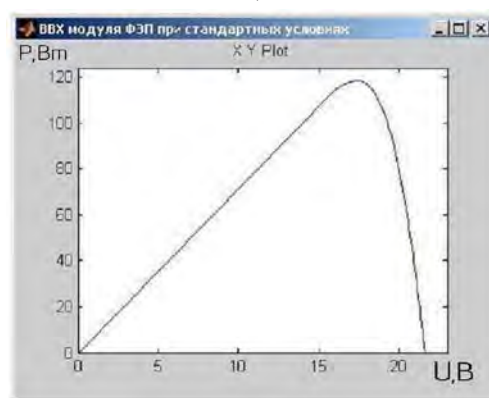
a)



b)



c)



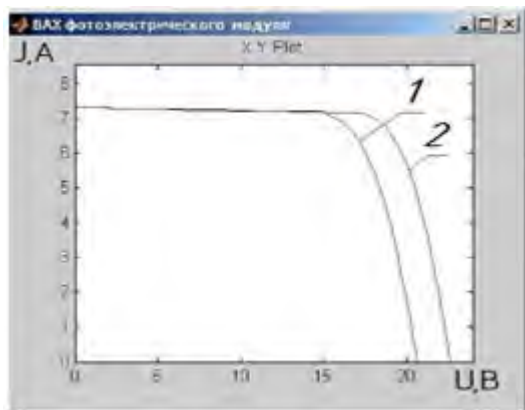
d)

Figure 2 – Characteristics of the solar cell (top) and photovoltaic module (bottom) under standard conditions: a, c - VCC; b, d – VWC

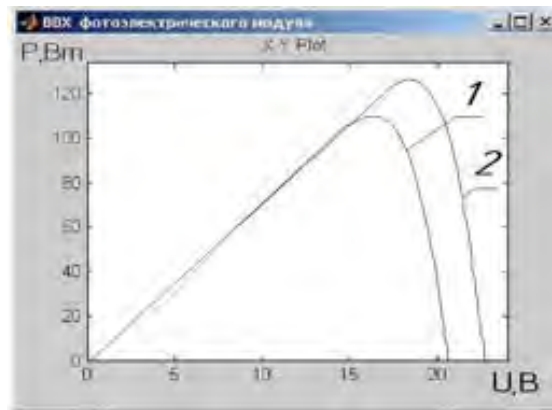
As seen in Fig. 2 (a-d)) the values  $U_{XX}$  и  $J_{K.3.}$  of both the module and the solar cell are proportional according to the given ratios (expressions (3) and (4)), the obtained characteristics (c, d) coincide with the specifications of the module, which confirms the adequacy of the developed model.

After testing the model, at different values of the working temperature of the module, the following characteristics were obtained (Fig.3).

As is known, an increase in the temperature of the solar cell leads to a decrease in the no-load voltage and a decrease in power, which is clearly shown by the graphs.



a)



b)

Figure 3 – Characteristics of photovoltaic module (a - VCC, b - VWC) at working temperature: 1– 40°C; 2 – 10°C

For the most accurate approximation of the characteristics of the module obtained in the developed mathematical model with the real characteristics of the module, the coefficients  $A$  and  $K$  are introduced, which can be obtained by comparing the theoretical and experimental curves of the VCC of specific photovoltaic modules.

In our case, at  $A = 1,2$  characteristics (Fig.2 (c), (d)) most exactly coincide with the specifications of the photovoltaic module considered as an example.

Fig.4 shows the VCC at various values of the coefficient  $K$ .

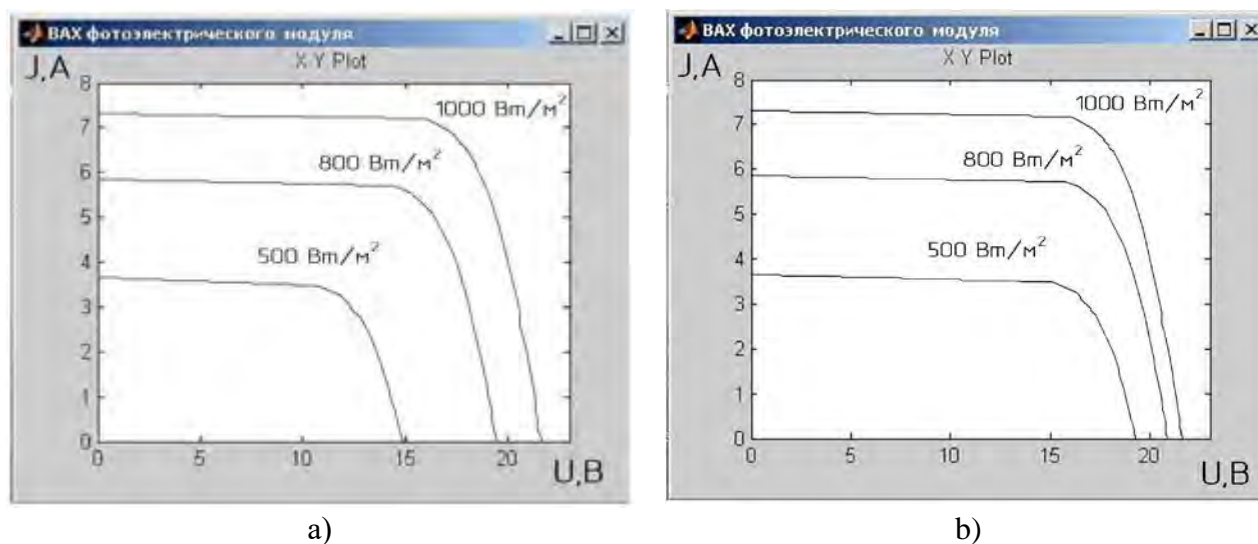


Figure 4 – CC: a – at  $K = 0,5$ ; b – at  $K = 0,2$

As shown in VCC (Fig.4) the characteristics shifts along the axis of tension are heavily influenced by the coefficient  $K$ , that's why for the most accurate approximation of a VCC to the real characteristics, this coefficient must be obtained experimentally, and do not take approximately of the intervals of values given in different sources.

The developed mathematical model allows to reproduce the characteristics of both individual solar cells and photovoltaic modules with different parameters and to assess the influence on their output characteristics of internal ( $J_{0K.3}$ ,  $U_{0XX}$ ,  $R$ ,  $S$ ,  $\beta_I$ ,  $\beta_U$ ,  $N_{PC}$ ,  $N_{PP}$ ) and external factors ( $I$ ,  $T$ ). The results of the model tests confirm its adequacy

The model is developed for the designing and research of solar installations with photovoltaic modules. For example, with known values of external factors, this model can be used to study the operating parameters of the photovoltaic module in a particular area and choose the optimal or rational parameters of the module [4].

### References

1. Bezrukikh P.P., Arbuzov Yu.D. Resources and efficiency of renewable energy sources in Russia. St. Petersburg.: Science. 2002. P. 27-33, 39-41.
2. Akhmetshin, A.T., Yarmukhametov U.R. Mathematical model for determining air temperature and solar radiation intensity on horizontal and inclined surfaces // Prospects of innovative development of agriculture: materials of the international scientific and practical conference within the XXIV international specialized exhibition "AgroComplex-2014". Part II. Ufa: Bashkir state University. 2014. P. 201-207.
3. Rauschenbach G. Guidebook of solar cell designing. Moscow: Energoatomizdat, 1983. 360 p.
4. Yarmukhametov U.R., Akhmetshin A.T. Determining the values of solar radiation intensity and ambient temperature for modeling the operation of solar installations // Proceedings of the VI all-Russian scientific and practical conference of young scientists (December 10, 2013). Ufa: Bashkir state university. 2013. P. 211-214.

## MAIN IMPORTANCE OF GROUNDWATER FOR SUPPLYING OF VEGETATION IN THE KARAGACHEV GROVE

Mamedov E.

*mamedov\_e@auca.kg*

American University of Central Asia, Bishkek, Kyrgyzstan

*The importance of many processes occurring in nature strongly affects life around the world. Groundwater plays an important role in the development of geological processes as a cause (karst swamps, melting glaciers, suffusion, quicksand), and the conditions of their factors of development. This research work is a long list of studies on the presence of groundwater in the area Karagachev groves, into which groundwater flow during glacial melting, as this area is a low relief of the city of Bishkek. This topic is relevant both in the study and analysis of the presence of underground water, as well as many factors that contribute to the rapid assimilation of mineralogical properties of the soil due to the assimilation of the nutritional properties of water in all its manifestations. Therefore, this topic reveals the real potential of many factors that are important both economically and socially for conducting and solving many complex problems for the city of Bishkek and the surrounding villages.*

*Key words: groundwater, water supply, electrical exploration, value.*

### Introduction

By the concept of underground waters are minted all types of water located in pores and cracks of rocks. Most groundwater is widespread in the Earth's crust, and the study of them is of great importance in solving issues: water supply to settlements and industrial enterprises, hydraulic engineering, industrial and resort-sanatorium business, etc. Geological activities of groundwater have extensive topics now of the relevance of study and research. Karst processes in soluble rocks, destruction of mineral deposits and formation of them in new places are connecting with underground waters. Therefore, mostly groundwater and its origin, distribution, movements underground, are the subject of study of special science - such as hydrogeology, one of the branches of geology [1].

### Area of study

The Karagach grove is located at 42.9066329.74.6192841, located in the lower reaches of the city of Bishkek and below the Great Chuy Canal since groundwater seeps into the ground during the melting of glaciers and flows and accumulates in the lowlands. And it was this zone that was chosen for this study because it has great potential for access to groundwater resources (Figure 1a).

In the current research work, the whole prospect of the study is concentrated on an analytical study on the accumulation of groundwater and its movement to the lowlands of the city of Bishkek. Just as there is movement of groundwater from the melting of glaciers in the mountains, it has the specific task of studying their accumulation in the Karagachev grove zone. The basis of many studies [2,3,4 and 5] shows the multiple angles of its support in the field of hydrogeological processes, such as the basis of the permeability of water-related substances that flow under urban landscapes. Subsequently, the melting of glaciers that seep through permeable rocks and have an important response in how many waters move in one direction and accumulate in one place and have a long and complex objective significance of the study. Therefore, this study gave us an analytical approach to investigate soils that are an important material or barrier that holds water resources and gives multiple distributions in the Karagachev Grove zone. Underground water is formed during the melting of glaciers in the mountains, after the melting of glaciers, a liquid is formed that goes underground. Based on this position definition of groundwater formation the essay

presents a map of the city of Bishkek which has an accurate description. (Figure 1b) An important source of those resources formed in the aftermath of groundwater that move underground accumulating in one area.

The research work is dividing into several very important chapters, which throughout the study will reveal the validity of the data studied that are available in the database and their statistical analysis.

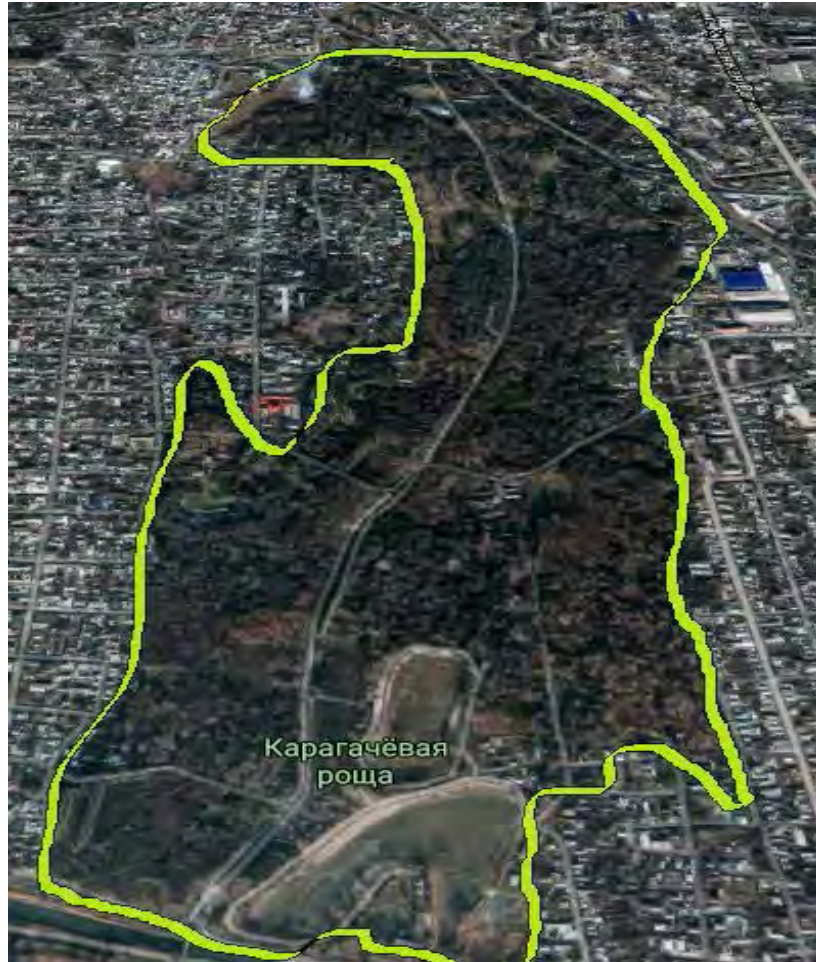


Figure 1a – Map of Karagach Groves, (Bishkek, Kyrgyzstan) [6]

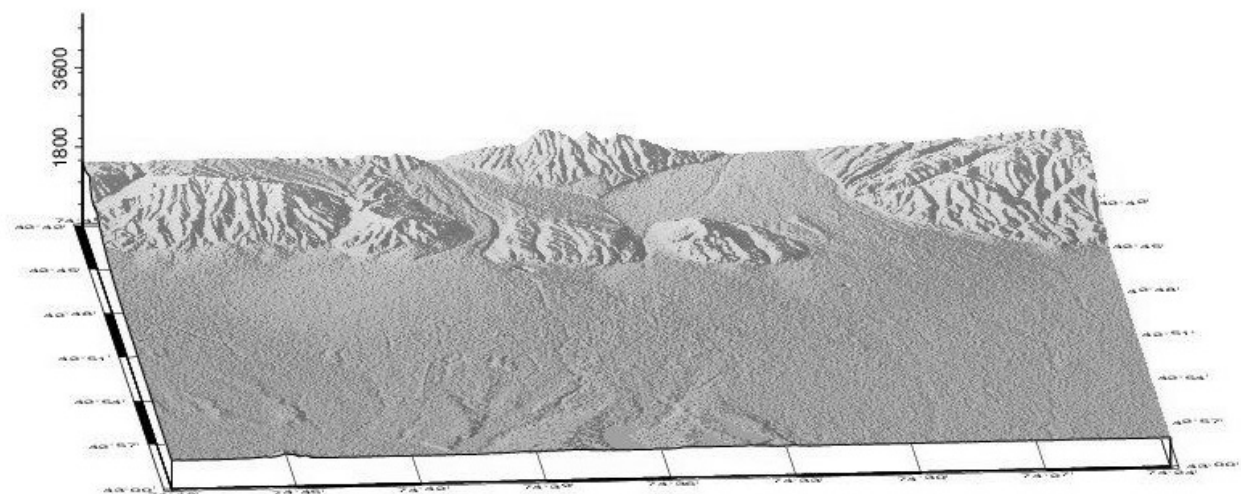


Figure 1b – 3D map of the city Bishkek, using srtm1-data [7]

## **Methodology**

Methodology the study of groundwater has a complex and time-consuming way of analysis. In the chapter of Methodology, everything clearly reveals the method of investigation and obtaining a more specific analytical solution, and programs that have the prospects of disclosing this study. In this study, will be revealed as much data as possible obtained by the method of vertical electric sounding, and important phenomena obtained in this area. All the main research topics are aimed at concluding that how underground water and the concentration of their salts in the zone of our study are useful for supplying the vegetation of this zone. Data analysis is concentrated in the chapter of the Methodology and the research obtained has experience in the chapter of the Result. The subject matter of this study itself is complex and confusing, but it has an interesting main answer: how can a person use groundwater in the Karagachev Grove zone to irrigate vegetation and supply water resources to other areas of the grove [8].

The study of groundwater is extremely important for various sectors of the economy which is the Foundation of many processes. Groundwater is an important factor in the main supply of rivers; it is of exceptional importance for living organisms; it is of great practical importance in the water supply of settlements, etc. The basis of methods for studying groundwater is a system of Electric exploration of soil structures. Basically, at the moment, a more relevant method for studying groundwater is Vertical Electric Sensing. At the moment, electric probing remains one of the most widely used electric exploration methods.

For the groundwater research methodology of this study, LandMapper ERM-03 and ERM-04 Geophysical Instruments were used that can be used to measure the electrical resistivity or conductivity of soils, as well as natural electrical potentials [9].

After the data obtained by analysis of vertical electrical sensing are detected by plotting in electrical exploration and based on the results of the analysis, this study will give a concrete conclusion.

## **Results**

During the fieldwork carried out for study, the main attention was paid to the important advantages of the availability of groundwater in the Karagachev Grove area. Many factors were revealed that showed how groundwater seeping into the soil during the melting of glaciers, and how they had the prospect of moving under the city of Bishkek and accumulated in one place. The basis of much field work shows significant studies of many factors about the presence of groundwater in the Karagachev grove zone, which is a related issue in the decisive approach of the analytical review [1].

Depending on the research approach, the most important procedures for the efficient analytical viewing of many data through the IPI2Win program, which is designed for one-dimensional interpretation of VES data for one observation profile, are shown. Many of the information in this study clearly and specifically describe and review the most important strategic plans to which our State turns a blind eye. The fact is that when glaciers melt, this has the right natural relationship in the process of obtaining drinking water, which is very important to get artesian water when drilling wells [2].

The first result was obtained in this study of the study of the map and how groundwater flows from the mountains to the lowlands of the relief city of Bishkek. As a result of the obtained map with the GMT program, there was the prospect of the data obtained in relation to many considerations, the data that built the map and the path of the flow of groundwater towards the borders with Kazakhstan. Figure 2 shows a map obtained by the GMT geographic information system, which is systematized with an indication of the path of groundwater to the cluster area in the Karagachev grove zone. The map obtained by the geographical information system has two objects on figure 2, one of which is a map of the city of Bishkek and its districts below the border, and the second object is a graph of the descent from the sides of the mountain in the lowlands of the city of Bishkek. The graphical representation of the data when studying the Bishkek map from the



mountains has great potential as an open research point, which in this study must be with an important understanding of a single combination of data.

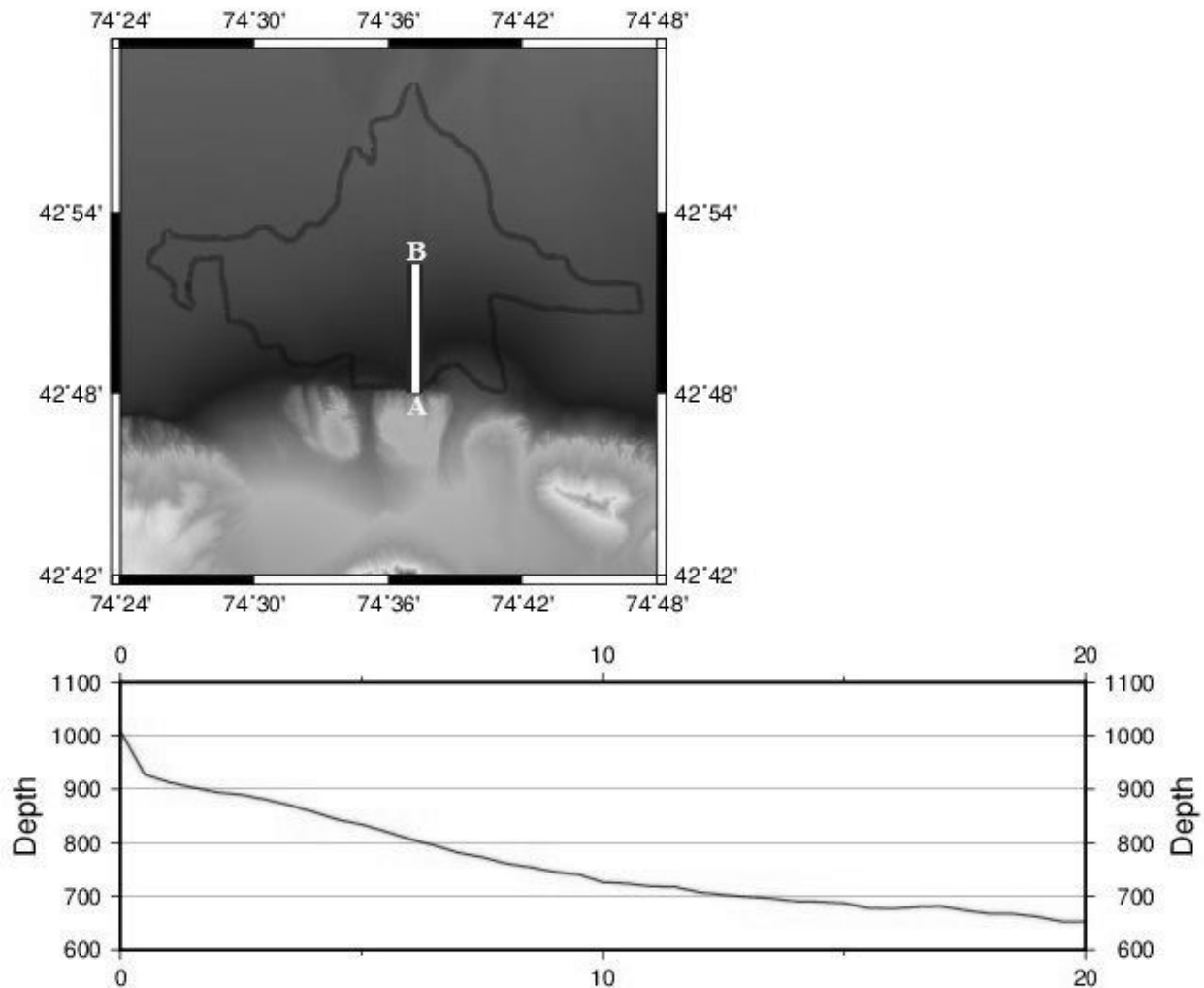


Figure 2 – Graph with a border map of Bishkek City

Therefore, the description of this kind of data may seem more complicated, but in a nutshell you can find two important things. What is the relevance of this schedule and how it has serious consequences in the study of many factors, the resolution in this region into which the regions of the Karagachev grove were derived. The importance of this graph shows how the main topic of the study is the topic of the presence of groundwater in the Karagachev Grove in large quantities, and how the movement of water and its accumulation in the lowlands of Bishkek is the basis of many insoluble discussions [10].

The graphs obtained by reconnaissance data used by the program IPI2WIN also have an important analytical track for many studies in the Karagachev Grove area. Figure 3a, 3b, and 3c show graphs that were identified for the three summer months of June, July, and August.

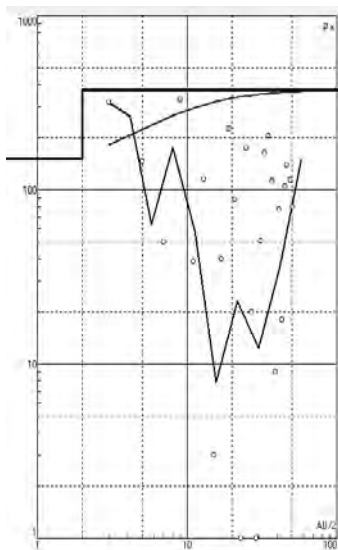


Figure 3a – June Scale

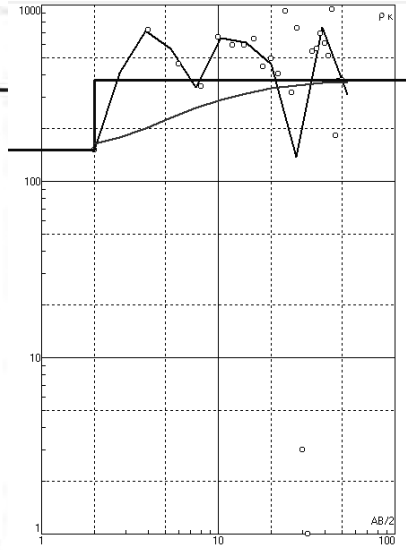


Figure 3b – July Scale

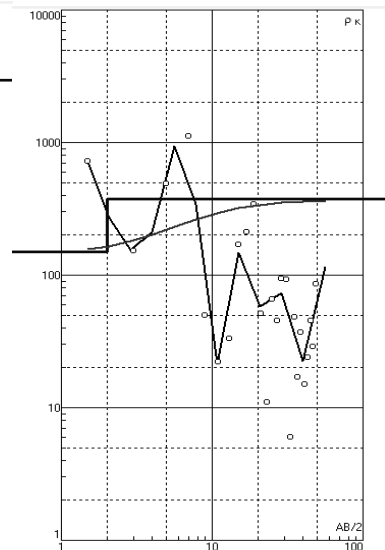


Figure 3c – August Scale

Research data from the summer period and in the region had great potential for warming and high temperatures, which contributed to large losses of melting glaciers in the mountains. Figure 3a shows a graph of the month of June, the main basis of the analysis shows how high the permeability is based on the high data that is presented on the graph; of the current obtained, by the electrical exploration, of Vertical Electric Sounding.

According to the data obtained during the fieldwork, the permeability of the current had a great development potential, which showed how it was possible to use this inflow of water that accumulated and flowed from the Karagachev Grove to the borders of Kazakhstan. In this study, vertical electrical sensing had a 100-meter distance profile of water permeability through rocks and had high analysis scores. The analytical basis summed up in the study about the presence of large amounts of groundwater volume gives a lot of experience in the disclosure of many natural factors that occur in the circular process of many relationships. This is done by the appearance of a graphical representation as an ordinary method of the basis of many relative geophysical distributions of groundwater analysis in the study area. Therefore, based on the planning of graphic data, we come to the fact that the first month of the summer had both complex and very favorable volumes of groundwater availability.

The second month of the summer of July, compared with the data of the previous month, the even larger basis of the shocks in the graphical representation had important bases for the interpretation of the presence of underground water and their number also has a high potential for the well-being of the entire study area. The basis of the study of the systematic validity of the data for the month of July should take into account the importance of many factors that are associated with natural melting of glaciers in the environment. The high temperature of the city of Bishkek in these months, especially in the month of July, had a higher relativity of the legal ratios of the analytical data result. Therefore, based on natural factors, it is also necessary to take into account that there is underground water in which large quantities of underground water are moving accumulating in the zones and areas of the Karagachev Grove.

The last month of summer, received results in August explained lower indicators of groundwater volumes compared to the previous months, which suggests that in the autumn the water level below the soil flow remained in the lowlands due to lower permeability, which shown in the graph (Figure 2d) [11].

Therefore based on the above we will conclude from the results that in two months the flow of groundwater accumulated enough in huge quantities which suggests that the availability of volumes depends on the season and time of study of the region. Based on this underground water moves at a high speed which leads to many factors that occur naturally in the mountains and the generated water flows down the urban terrain to areas of lower slope such as below the river zones

of the Karagacheva Grove. Groundwater and soils form a single dynamic interconnected system, they largely determine the development of geological processes that occur naturally – the third main component of the geological environment [12].

The flow of groundwater mainly depends on the terrain, so in our case, the graphs shown on the map and the location of the urban landscape, which increasingly has a slope in which it has the potential of groundwater flow in the direction of the Karagacheva grove. The free flow of water leads to a decrease in the level of groundwater within the depression that showed us the results of the last month in August.

### **Conclusion**

The essence of the relevance of this topic of research is the basis of how the state can use the data for good deeds for drilling wells, and so in the lowlands of the city of Bishkek, water accumulates in large volumes, but at the same time, it flows to the neighboring territory of Kazakhstan. And this indicates what kind of favorable needs of nature at the same time Kyrgyzstan loses from its own territory during the drainage of groundwater through the territory of Bishkek, which is an economically disadvantageous role in examining the situation in the region. Also, the water that flows into these zones has great potential for both irrigation and artesian water well drilling, which also has a high potential for studying from an economic point of view. Basically, the Karagachev grove is a park in which there is a sufficient amount of vegetation, so for them to be watered without pulling pipes into these zones, you can have the opportunity to build borehole pipes for watering the vegetation in this zone [13].

### **Recommendation**

As everyone knows, Kyrgyzstan is the second country after Russia in the post-Soviet space with large volumes of clean drinking water. In this study, we addressed the importance of irrigation of the vegetation of the Park Karagach grove. How much the importance of this letter is a more effective basis for resolving conflicts based on the use of natural resources is an important priority of peace and harmony. But an important tactic of research and disclosure of the rules of uniform use of water leaves an important trace on the papers and documentation of the development of many factors in nature as a whole. Therefore, this topic is more thorough disclosure of many studies in the field of hydrogeology about the right to use water that is located underground by pumping out drilling wells. Based on the analytical solution, I think that the potential for studying groundwater is at the stage of extinction, so it would be possible to Finance several projects in this course of Affairs, the importance of which is based on the use of water in all spheres of humanity.

### **References**

1. Burgaard S. Groundwater and Surface Water Connections // Natural Resources & Environment, 2016, Vol. 31(1), P. 54-55.
2. Daly D. GROUNDWATER—THE 'HIDDEN RESOURCE' // Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy, 2009, Vol. 109B(3), P. 221-236.
3. Ohgaki S., Takizawa S., Kataoka Y., Kuyama T., Herath G., Hara K., Moon H. Sustainable Groundwater Management in Asian Cities. Institute for Global Environmental Strategies, 2007, P. 3-18, Rep.
4. Kataoka Y., Herath G., Hara K., Ohgaki S. (Rep.). Institute for Global Environmental Strategies. 2006.
5. Ohgaki S., Takizawa S., Kataoka Y., Kuyama T., Herath G., Hara K. Moon. Sustainable Groundwater Management in Asian Cities (pp. 19-24, Rep.). Institute for Global Environmental Strategies, 2007.
6. Karagchov Grove Google Map  
<https://www.google.com/maps/place/%D0%9A%D0%B0%D1%80%D0%B0%D0%B3%D0%B0%D1%87%D1%91%D0%B2%D0%B0%D1%8F+%D1%80%D0%BE%D1%89%D0>

%B0/@42.9914507,74.3608088,93288m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x389eb8215c42f673:0x816e6595893b3b36!8m2!3d42.8981213!4d74.6195474?hl=ru

7. Orunbaev S., Kulenbekov Zh., Asanov B. Assessment of Flooding Impact on Northern Part of Bishkek City Using Modern Geophysical Techniques // Report of USAID Project: “Building The Future” Project, 2018.
8. Landviser, LLC. (2016). Measuring Electrical Properties of Natural Systems with (Vol. 888-306-LAND). Davis Rd., League City, USA. doi: 888-306-LAND (5263)
9. Djebbar T., Erle C. Donaldson. Petrophysics: theory and practice of measuring reservoir rock and fluid transport properties. BOSTON: GULF PROFESSIONAL, 2012, P. 976
10. Litvak, R. G., Nemaltseva, E. I., & Tolstikhin, G. M. Groundwater Environment in Bishkek, Kyrgyzstan // Groundwater Environment in Asian Cities / Edited by Sangam S., Vishnu P., Shashidhar T.: Butterworth-Heinemann, 2016, P. 383–412.
11. Frenken, K. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Irrigation in Central Asia in Figures. AQUASTAT Survey, 2012. 228 p.
12. United Nations. (2009). Environmental Performance Reviews. Kyrgyzstan: 2nd Review: Vol. 2nd ed. United Nations Publications.
13. Orolbaeva L.E. Technogenic Transformations of the Hydrogeosphere of the Kyrgyz Republic // Izvestiâ Ural'skogo Gosudarstvennogo Gornogo Universiteta. 2018, Vol. 4(52), P. 68-73.
14. Shrestha S., Pandey V. P., Shivajoti B. R., Thatikonda S. Groundwater Environment in Asian Cities : Concepts, Methods and Case Studies. Butterworth-Heinemann: 2016, P. 542.

## ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ ПЕРСПЕКТИВ КВАНТОВОЙ СИМУЛЯЦИИ

Абдыкаимов И.З.

*interstruirovanie@gmail.com*

Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*При рассмотрении задач горного производства возникает необходимость в инструментах моделирования и анализа процессов, происходящих внутри массивов горных пород. Для численного моделирования таких явлений требуются большие объёмы вычислительных ресурсов. Поэтому вычислительный подход, предоставляемый квантовой информатикой, рассматривается в данной работе как альтернативный и, возможно, более продуктивный по сравнению с классическим. Концепции квантовых алгоритмов в некоторых задачах перебора по сложности выполнения демонстрируют теоретическое превосходство над классическими аналогами. Это даёт основание предположить, что для решения современных ресурсоёмких задач горного производства возможно составлять квантовые алгоритмы, дающие более эффективные подходы в решении. В настоящей работе постановка данного вопроса рассматривается в перспективе его разрешения в некоторых областях горного производства.*

*Ключевые слова: горный массив, кристаллическая решётка, фононный спектр, микродефекты, трещинообразование.*

Целью данной работы является исследование возможностей квантовых вычислений для моделирования процессов в горном массиве и их анализе. В квантовых вычислениях приход к искомому состоянию достигается за счёт интерференции преобразуемых компонент вектора состояний. Чтобы использовать эту особенность для реализации некоторого явления, можно исследовать волновые свойства соответственной системы, если таковые есть. Качественное взаимное соответствие волнового поведения данной системы и некоторой последовательности квантовых преобразований становится основой для квантового алгоритма. За счёт интерференционного характера квантовых явлений в некоторых случаях может быть достигнуто превосходство квантового алгоритма над классически по сложности своей реализации [1].

В работе выявляется наличие волновых свойств у процессов, протекающих в горном массиве при буровзрывных работах и сейсмическом воздействии, что позволяет на основе существующих подходов рассмотреть возникающие волновые явления при помощи методов квантовой механики. Используется представление волнового пакета в виде комбинации элементарных импульсов:

$$\Psi(\vec{r}, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{A}(w, k) e^{-i(\omega(\vec{k})t - \vec{k}\vec{r})} d\vec{k}.$$

Каждый элементарный импульс рассматривается в виде комбинации квазичастиц одной моды – квантов возмущения. Данный приём сводит описание сложной колебательной системы к описанию газа из квазичастиц [1, 2]. Волновая функция этого газа описывает распределение вероятностей вариантов нахождения квазичастиц в рассматриваемом пространстве событий. Такое пространство событий определяется исходами измерений некоторой физической величины системы: например, энергии. Волновая функция содержит информацию о возможных переходах в состояние с тем или иным законом распределения энергии или импульса:

$$\Psi(\vec{r}, t) = \sum a_i \Psi_i(\vec{r}, t),$$

где  $\Psi_i(\vec{r}, t)$  – состояния, в которые система может перейти при измерении физической величины с соответственными вероятностями перехода, равными  $(|a_i|)^2$  (рассматриваются функции, нормированные на единицу).

В работе рассматриваются конкретные области горного производства, для которых исследуется потенциальная применимость квантовой симуляции: 1) дилатонный механизм возникновения микродефектов, 2) спектральный анализ сейсмических сигналов, 3) методы термического, электротермического и лазерного бурения, 4) модель трещинообразования в массиве породы с кристаллической решёткой.

Например, в модели разрушения, вероятность разрыва возрастает в областях концентрации фононов – квантов тепловых колебаний [3]. Особенности в структуре породы могут быть резонаторами компонент волновой функции. Поэтому усиливаются вероятности перехода волновой суперпозиции системы в некоторые собственные состояния. Такие резонаторы играют роль усилителей числа исходов данного варианта развития событий в массиве, например, перехода в диапазон пластических деформаций [3, 4]. Таким образом, поведение концентраций тепловой энергии можно качественно моделировать на фотонах в системе с полупрозрачными резонаторами.

Также в работе рассматривается, при каких условиях спектральный анализ сейсмических сигналов может быть реализован посредством квантового преобразования Фурье. При этом необходимо данные, представляемые в виде сейсмограммы перевести в формат вектора значений отклонения от точки равновесия. Каждой компоненте данного вектора соответствует момент времени происходящего колебания. Сам преобразователь организуется с помощью квантовых вентилях, за счёт чего достигает превосходства над классическим алгоритмом по сложности [5].

Термическое бурение – особый вид воздействия на породу посредством огневой или нагретой газовой струи, при котором достигается шелушение, расширение микродефектов и тепловые пробои [6]. Описание процесса на квантовом уровне производится с помощью фононной модели распространения тепла: вводится оператор рождения и уничтожения фонона, соответственно:  $a^* = \frac{\hat{x} + i\hat{p}}{2}$  и  $a = \frac{\hat{x} - i\hat{p}}{2}$  для описания системы в терминах гамильтониана, как оператора энергии в уравнении Шрёдингера (размерность у координаты и импульса при этом приводится к единой с помощью умножения на соответственные множители).

Области накопления фононов соответствуют ослаблению связей в поле потенциальной энергии взаимодействия атомов [6]. При электротермическом бурении производится воздействие электротоком на породу, при котором может возникать как тепловой пробой, так и электрический. Вероятность обнаружения электрического пробоя в работе описывается с использованием понятия тока вероятности, характеризующее интенсивность потока вероятности нахождения частиц, в частности, электронов. И при описании термического и электротермического бурения важную роль играет распределение параметров моделируемой среды в пространстве.

При описании лазерного бурения рассматривается взаимодействие когерентного состояния электромагнитного поля с веществом породы, причём само когерентное состояние поля описывается состоянием:  $|\alpha\rangle = e^{-\frac{|\alpha|^2}{2}} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\alpha^n}{\sqrt{n!}} |n\rangle$ ,

где  $|n\rangle$  - состояние поля с  $n$  квантами рассматриваемой моды.

В результате взаимодействия с некоторой вероятностью происходит шелушение и раскол породы. Для организации качественной модели также важна точность отображения параметров среды в системе предполагаемого моделирования.

Таким образом, в работе рассматриваются определённые процессы в горных массивах, в соответствии со спецификой которых можно выделить волновые явления. В концепции квантовой механики в нормальных модах рассматриваются элементарные импульсы – квазичастицы. В соответствии с динамическим состоянием газа квазичастиц описывается аналоговая квантовая система, способная качественно симулировать данное явление. При

этом выявляются характеристики симулирующего процесса, необходимые для качественного описания реального процесса с квазичастицами. В результате введённые допущения помогают определить некоторые условия организации квантовой системы, где эволюция поля возбуждений с определённым приближением моделирует развитие рассматриваемого реального процесса в некоторой области горного массива.

### Литература

1. Feynman. R. Simulating Physics with Computers // International Journal of Theoretical Physics. 1982. Vol. 21, Iss. 6 / 7. P. 467–488.
2. Журков С.Н. Кинетическая концепция прочности твёрдых тел. (Термофлуктуационный механизм разрушения) // Вестник АН СССР. 1968. № 3. С. 46-52.
3. Додис Я.М., Нифадьев В.И. Разрушение горных пород при бурении и взрывании. Бишкек: КРСУ. 2006. 374 с.
4. Марадудин А. Дефекты и колебательный спектр кристаллов. Пер. с англ. М.: Мир. 1968. 432 с.
5. Shor P.W. Polynomial-Time Algorithms for Prime Factorization and Discrete Logarithms on a Quantum Computer // Foundations of Computer Science: Conference Publications. 1997. P. 124–134.
6. Лейбфрид Г. Микроскопическая теория механических и тепловых свойств кристаллов. Пер. с англ. М.: Физматгиз. 1963. 312 с.

## **ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

Аскарбеков С.Н.

*sultanaskarbekov@mail.ru*

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе представлен анализ повреждаемости трубопроводов систем водоснабжения в результате воздействия на них чрезвычайных ситуаций.*

*Ключевые слова: чрезвычайные ситуации, землетрясения, питьевая вода, экономический ущерб, эксплуатация.*

В системе водоснабжения присутствуют ряд основных объектов, сооружений и оборудований, такие как: источник водоснабжения, водозаборные сооружения открытого или подземного типа, распределительные сети, состоящие из труб различного материала и диаметра, напорные водоводы, стальные и железобетонные резервуары и водонапорные башни, а также насосное оборудование и обеззараживающие установки.

В процессе эксплуатации на вышеуказанные сооружения и оборудования, влияют различного рода воздействия природного и техногенного характера, которые могут послужить причиной выхода их из строя. За период с 2000 по 2015 годы в Кыргызской Республике произошли 3818 чрезвычайных ситуаций, в том числе 264 землетрясения различной интенсивности и 656 техногенных аварий и крупных пожаров [1].

С 2017 года, за счет привлечения средств международных доноров и республиканского бюджета проводятся активные работы по строительству и реабилитации систем сельского водоснабжения в ряде населенных пунктов Кыргызской Республики. Согласно [2], к 2026 году планируется обеспечить питьевой водой население в 1805 сельских населенных пунктах.

При строительстве и реабилитации систем водоснабжения широко применяются полиэтиленовые трубы класса ПЭ 100 отечественного и зарубежного производства. В настоящее время, подробные данные о повреждаемости полиэтиленовых труб при воздействии чрезвычайных ситуаций или в период их эксплуатации в организациях, которые эксплуатируют такие сети отсутствуют.

В связи с этим, для оценки степени повреждения трубопроводов на существующих и реабилитируемых системах водоснабжения при возможных чрезвычайных ситуациях и в процессе эксплуатации в настоящей статье рассмотрены данные на примере Ашхабадского землетрясения 1948 года, землетрясения в г. Кобе (Япония) 1995 года и в процессе эксплуатации на примере работы системы водоснабжения города Санкт-Петербург, где основными факторами, приводящими к отказам, являются период и режим эксплуатации.

В ночь с 5 по 6 октября 1948 года произошло Ашхабадское землетрясение интенсивностью 9 баллов по шкале MSK-64. Очаг землетрясения находился в 20-25 км к юго-востоку от г. Ашхабад, глубина очага 20-30 км. Землетрясение охватило территории современного Узбекистана, Таджикистана и Северного Ирана [3].

Водопроводная система г. Ашхабад состояла из нескольких отдельных водопроводных сетей: городская водопроводная сеть, водопроводные сети на железнодорожной станции и нескольких предприятиях. Отдельные участки эксплуатировались с 1894 года и на момент землетрясения, состояли из труб различных материалов (чугун, сталь, асбестоцемент, железобетон). Общая протяженность водопроводных сетей города составляла 111,98 км, из которых на долю асбестоцементных



труб приходилось 36,77 км (33%), чугунных - 42,33 км (38%), стальных - 32,88 км (29%), уложенных на глубине от 0,7 до 1,8 м. Давление в трубах составляло 0,3-0,4 МПа.

Асбоцементные трубы соединялись с помощью муфт типа «симплекс» и «жибо». Стыковые соединения чугунных труб - раструбные со свинцовой или цементной зачеканкой или типа муфт «жибо». Стыковые соединения стальных труб были резьбовые, муфтовые, фланцевые или сварные. Железобетонные трубы соединялись с помощью подвижных муфт.

Грунты в основной части города представлены однородными лессовидными суглинками, подстилаемыми на различных глубинах коренными породами, грунтовые воды располагались на глубине 10-15 м [3].

Повреждаемость трубопроводов города в результате землетрясения была значительной. Основными причинами послужили коррозия труб, их физико-механическое состояние, а также необходимо отметить зависимость повреждений от диаметра и материала труб.

На рис. 1 приведены сведения по материалам и диаметрам трубопроводов и их протяженности в системе водоснабжения г. Ашхабад по состоянию на 6 октября 1948 г [3].

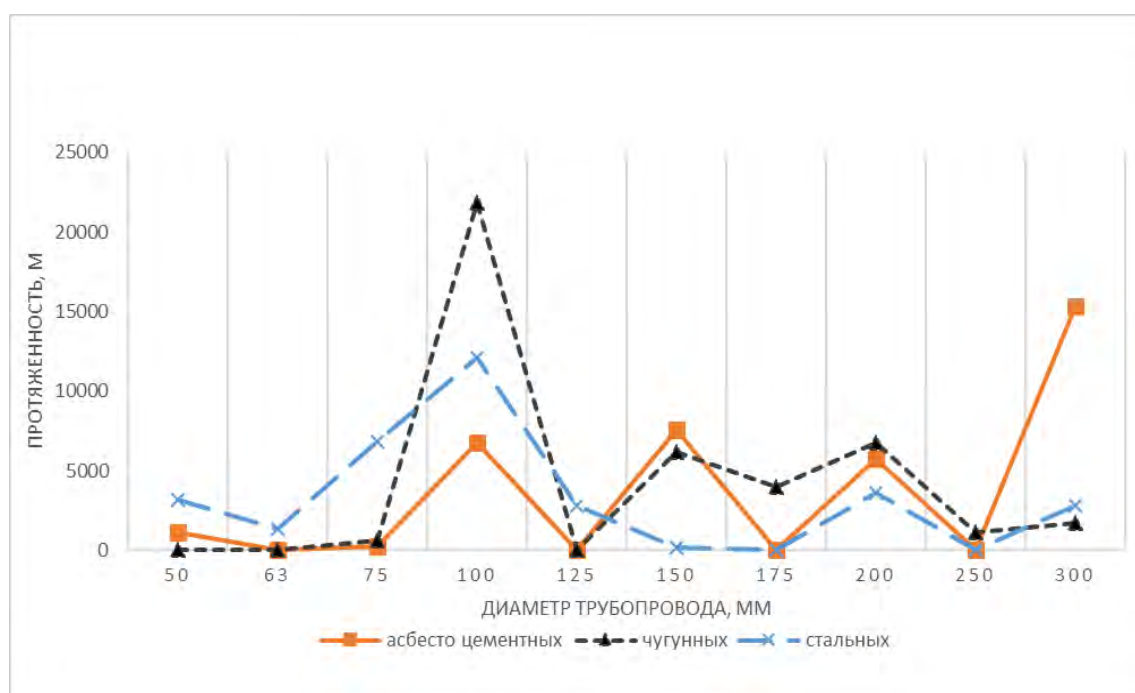


Рисунок 1 – Материал и диаметр трубопроводов и их протяженности в системе водоснабжения г. Ашхабад (6 октября 1948 г)

На рис. 2 приведены сводные данные по повреждениям на стальных трубопроводах за время их эксплуатации в зависимости от глубины заложения трубопроводов [3].

Анализ представленных данных свидетельствует, что стальные трубы диаметром 150 и 200 мм получили повреждения, в основном, в местах соединения - срыв резьбы на соединительных муфтах, излом труб и фасонных частей. Также согласно информации, изложенной в источнике [3] отмечается, что на внутренней сети железнодорожной станции, состоящей из стальных труб малого диаметра повреждения, были минимальны.

Множество повреждений были зафиксированы на железобетонных трубах диаметром 250 и 300 мм, на которые пришлось 13 и 36 повреждений соответственно.

Значительные повреждения произошли на чугунных и асбестоцементных трубопроводах - переломы, разрушение на участках стыковых соединений.

Следует отметить, что пострадали в основном трубопроводы, направление которых совпало с направлением распространения сейсмических волн. Большое количество повреждений произошло в местах присоединения распределительных отводов к главным

магистральным трубопроводам, а также на участках подключения к резервуарам, колодцам и другим сооружениям.

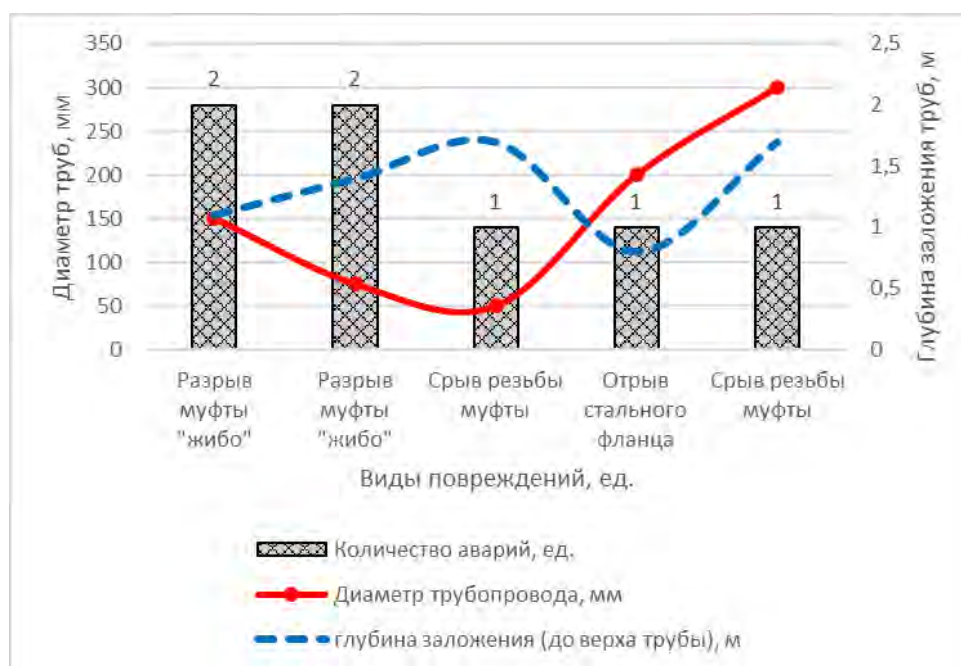


Рисунок 2 – Сводные данные повреждений стальных трубопроводов

Наибольшая аварийность на 1 км отмечена на железобетонных трубопроводах - 3,82, на чугунных и асбестоцементных - 0,3. Самая низкая аварийность была отмечена на стальных трубопроводах - 0,073, что можно их объяснить гибкостью и одинаковой прочностью всего трубопровода, включая стыковые соединения.

В [4] приведен статический анализ более 3000 аварий в работе водопровода города Санкт-Петербург, который показал, что 77% аварий пришлось на чугунные трубы - разрыв швов из-за деформации почвы. Также одной из важных причин разрывов швов являются гидравлические удары (79%), причиной образования сквозных отверстий является коррозия (85%), деформация почвы явилась причиной разломов (73%) и трещин (57%).

На рис. 3 приведен график распределения количества аварий в зависимости от диаметра трубопроводов, вызванных гидравлическими ударами, приходящиеся на 1 км трубопровода [4].

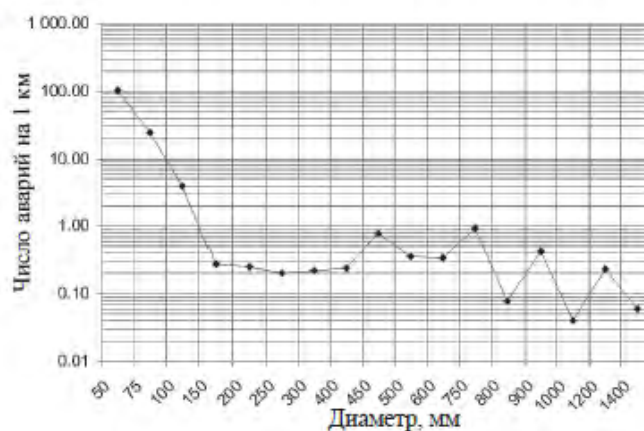


Рисунок 3 – Распределение аварий по диаметрам трубопроводов, вызванных гидроударами на 1 км трубопровода

Анализ повреждений, связанных с гидравлическим ударом на рис. 3, показал, что происходят они в основном в чугунных и стальных трубах диаметром до 300 мм. На трубах большего диаметра от 1000 до 1200 мм аварии происходят меньше.

Повреждения, связанные с коррозией, происходят на трубопроводах, уложенных более 20 лет.

В анализе нет данных об авариях на трубах из полиэтилена. За 9 лет были зарегистрированы только пять случаев повреждений, возникших в муфтах на соединительных участках полиэтилена с металлом.

В техническом источнике [5] приводятся данные о повреждаемости труб, изготовленных из различных материалов в результате землетрясения в г. Кобе (Япония). Землетрясение произошло 17 января 1995 года. Очаг землетрясения располагался на глубине 15-20 км.

В результате землетрясения были разрушены около 200 000 зданий, ущерб составил 102,5 млрд. долларов США. Так по данным [5] и как показано на рис. 4 наибольшее число разрушений на 1 км зафиксированы на асбестоцементных трубах - 1,782, при этом повреждений на полиэтиленовых трубах не зафиксированы.

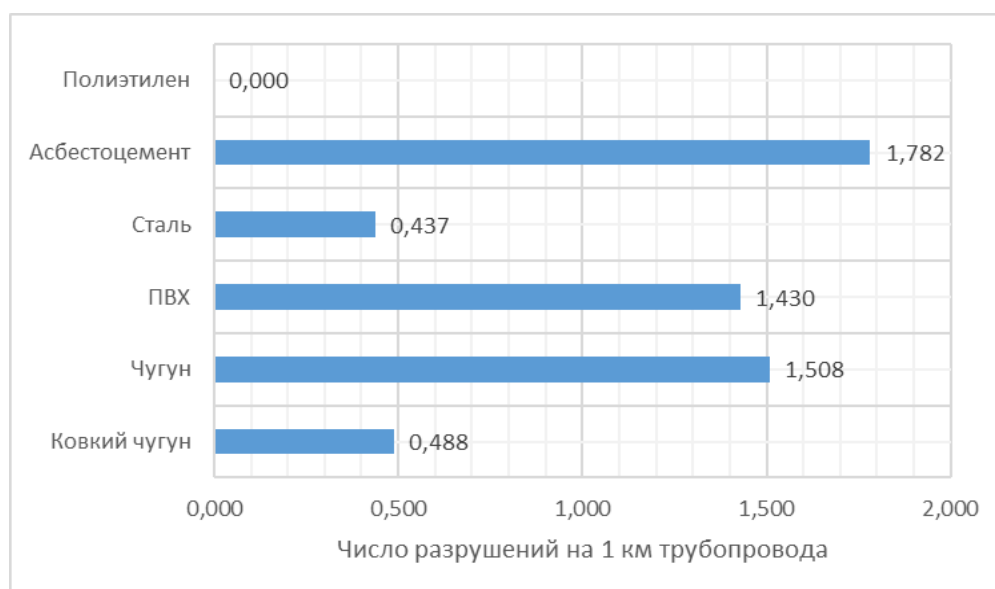


Рисунок 4 – Распределение разрушений на 1 км трубопровода в результате землетрясения в г. Кобе (Япония)

Таким образом, анализируя данные вышеперечисленных источников можно сделать следующие выводы:

1. Существует прямая зависимость степени повреждения трубопроводов на 1 км от глубины заложения в грунте, диаметра труб, от вида материала труб и их физико-механических свойств трубопроводов и грунтов, а также периода и режима эксплуатации.

2. Наименее подвержены разного рода авариям трубопроводы, изготовленные из полиэтилена и стали, что можно объяснить равной прочностью трубы по всей длине и в стыковых участках.

3. Стальные и полиэтиленовые трубы отличаются большей гибкостью, чем железобетонные, чугунные или асбестоцементные трубы.

4. Наиболее «слабыми» участками являются стыковые участки трубопроводов, места соединения труб с колодцами, резервуарами и на участках ввода в здания.

### Литература

1. Аскарбеков С.Н. Обеспечение питьевой водой населения Кыргызской Республики в условиях чрезвычайных ситуаций // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XI Междунар. конф. молодых ученых и студентов. В 2 т. Т. 1 / Под ред. Забияковой О.Б. Бишкек: НС РАН. 2019. С. 263-268.
2. Стратегия развития систем питьевого водоснабжения и водоотведения населенных пунктов Кыргызской Республики до 2026 года [Электронный ресурс] / <http://cbd.minjust.gov.kg/act/view/ru-ru/99118?cl=ru-ru>
3. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности / Отв. ред. О.А. Савинов. М.: Наука. 1980. 171 с.
4. Захаревич М.Б., Ким А.Н., Мартьянова А.Ю. Повышение надежности работы систем водоснабжения на основе внедрения безопасных форм организации их эксплуатации и строительства. СПб.: СПбГАСУ. 2011. 62 с.
5. Коврига В. Полиэтиленовые трубы выдерживают землетрясения // Полимерные трубы. 2006. №3(12). С. 26-27.

## **AB INITIO ИССЛЕДОВАНИЕ СУЛЬФИДОВ НИКЕЛЯ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ**

Базарбек А.Б.<sup>1</sup>, Сагатов Н.Е.<sup>2</sup>

*asyl.bazarbek.92@mail.ru*

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, г. Нур-Султан,  
Республика Казахстан

<sup>2</sup>Институт геологии и минералогии имени В.С. Соболева, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

*В данной статье проведен детальный поиск новых структур сульфидов никеля при высоких давлениях, соответствующих условиям внутреннего ядра Земли, на основе теории функционала плотности. С помощью алгоритма предсказания структур установлены стабильные и метастабильные структуры системы Ni-S в диапазоне давлений от 100 ГПа до 400 ГПа.*

*Ключевые слова: ядро Земли, компьютерное моделирование, кристаллическая структура, теория функционала плотности, квантовая механика, выпуклая оболочка*

### **Введение**

В последнее время состав и строение глубинных оболочек Земли продолжают оставаться одной из наиболее интригующих проблем современной геологии. В течении многих лет ведутся исследования с помощью разных геофизических измерений и лабораторных экспериментов при высоких давлениях и температурах ядра и нижней мантии Земли. Однако, число прямых данных о веществе глубинных зон весьма ограничено и возникают еще множества вопросов, касающиеся состава и строения внутреннего ядра нашей планеты, которые по-прежнему требует большего внимания и исследования [1].

Современные знания о химическом составе ядра нашей планеты основаны на сейсмических наблюдениях, геофизическом моделировании и экспериментах при высоких давлениях и температурах. На сегодняшний день общей точкой зрения мирового научного сообщества является то, что ядро Земли состоит в основном из железо-никелевого сплава и нескольких весовых процентов легкого элемента. Возможными кандидатами на роль легкого элемента являются углерод, кислород, водород, кремний, фосфор и сера [2,3]. В связи с этим, проявляется большой интерес к изучению никеля с примесью легкого элемента серы, а так же структур и свойства систем Ni-S. В добавок, понимание поведения соединений данной системы имеет огромное значение для обсуждения и ограничения свойств планетарных ядер.

### **Методика**

В виду трудности проведения экспериментальных исследований при высоких температурах и давлениях, соответствующих условиям внутренних оболочек Земли, особую актуальность приобретают численные методы для расчета термодинамических, упругих и магнитных свойств сульфидов никеля как важных составляющих ядра Земли. Учитывая нынешний колоссальный прогресс в развитии техники и скорости вычислений, возникает следующая тенденцию - «экспериментальные исследования становятся дороже, а теоретические расчеты дешевле» [4]. В связи с этим, одним из вспомогательных подходов, которые предназначены для создания непротиворечивых моделей состава и структуры Земли, являются *ab initio* расчеты.

Моделирование с использованием *ab initio* методов помогает решить задачи из первых основополагающих принципов без привлечения дополнительных эмпирических предположений. Иными словами, широко используется прямое решение уравнений квантовой механики.

Все структуры в расчётах были отрелаксированы с помощью теории функционала плотности (density functional theory, DFT) в обобщённом градиентном приближении (generalized gradient approximation, GGA) с использованием метода проектор-присоединённых волн (projector-augmented wave, PAW) [5,6]. В расчётах базис включал плоские волны с кинетической энергией до 800 эВ.

### Результаты

В данной статье мы провели детальный поиск новых структур сульфидов никеля при высоких давлениях на основе теории функционала плотности и алгоритмов поиска кристаллических структур. Важно отметить, что расчеты по поиску структур проводились без учета нулевых колебаний ( $T = 0$  К) в диапазоне давлений от 100 ГПа до 400 ГПа. Поиск стабильных структур в системе Ni-S выявил множества соединений:  $Ni_{13}S$ ,  $Ni_{12}S$ ,  $Ni_8S$ ,  $Ni_6S$ ,  $Ni_{11}S_2$ ,  $Ni_5S$ ,  $Ni_4S$ ,  $Ni_3S$ ,  $Ni_5S_2$ ,  $Ni_2S$ ,  $Ni_5S_3$  и  $NiS_3$ . На основании полученных результатов можно судить о том, что  $Ni_5S$ ,  $Ni_4S$  и  $Ni_2S$  стабильны во всем исследуемом диапазоне. Показано, что сульфиды  $Ni_3S$ ,  $Ni_{12}S$ ,  $Ni_{13}S$  стабилизируются относительно изохимической смеси выше 300 ГПа,  $Ni_8S$ -выше 400 ГПа.

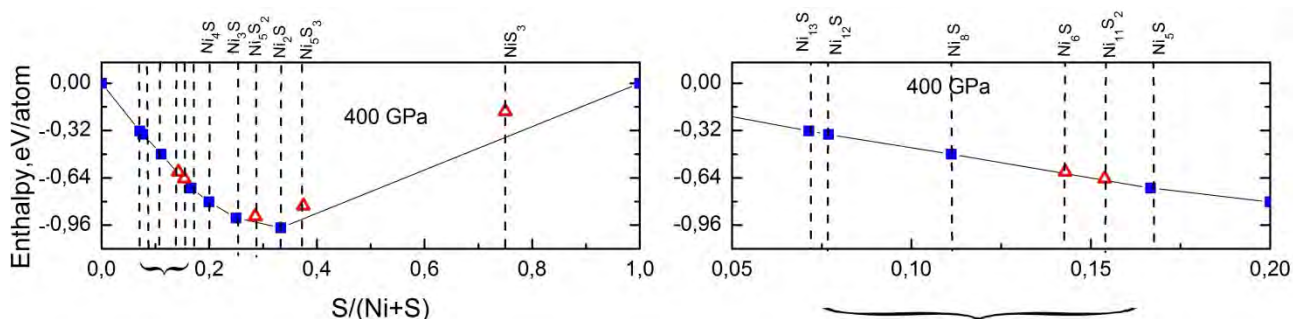


Рисунок – Выпуклая оболочка системы Ni-S при давлении 400 ГПа и нулевой температуре (заполненные синие квадраты обозначают стабильные структуры, открытые красные треугольники-метастабильные структуры).

На рисунке 1 приведены полученные в ходе расчётов выпуклые оболочки для системы Ni-S при давлении 400 ГПа, а также построенная на их основе фазовая диаграмма состав-давление. Наиболее устойчивые фазы образуют «выпуклую оболочку» (т.е. семейство точек, лежащих ниже всех линий, соединяющих любую пару других точек на диаграмме).

### Выводы

В данной работе рамках теории функционала плотности изучено поведение системы Ni-S при высоких давлениях. С помощью алгоритма предсказания структур установлено, что в диапазоне давлений от 100 ГПа до 400 ГПа и  $T = 0$  К в системе Ni-S стабильны только три соединения:  $Ni_5S$ ,  $Ni_4S$  и  $Ni_2S$ . В дальнейшем будут произведены дополнительные расчеты с учетом термических эффектов, которые позволят установить стехиометрические соединения, что способствует предсказыванию возможных существующих структур серы с никелем во внутреннем ядре Земли. Полученные результаты свидетельствуют о том, что современные методы компьютерного моделирования материалов являются надёжным и качественным исследовательским инструментом, позволяющим решать разнообразные задачи физики конденсированного состояния.

### Литература

1. Пушаровский Д.Ю., Пушаровский Ю.М. Состав и строение мантии Земли. Наука о Земле // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 11. С. 111-119.
2. Halliday A., Wood B. The composition and major reservoirs of the earth around the time of the moon-forming giant impact // Treatise on Geophysics. 2007. P. 13-50.

3. Terasaki H., Fischer R. Deep Earth: Physics and Chemistry of the Lower Mantle and Core // Geophysical Monograph. 2016. V. 317. P. 1-10.
4. Литасов К.Д., Шацкий А.Ф. Современные представления о составе ядра Земли // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. № 1. С. 31-62.
5. Blochl P. Projector augmented-wave method // Physical Review. 1994. V. 50. P. 17953-17979.
6. Przemyslaw D., Barbara L., Lauren A., Borkowski and etc. High-pressure polymorphism of Fe<sub>2</sub>P and its implications for meteorites and Earth's core // Geophysical Research Letters. 2008. V.35. P. 10301-10306.

## УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ БУРЕНИЯ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОБХОДИМЫХ СВЕДЕНИЙ О ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВАХ ВЗРЫВАЕМОГО МАССИВА

Виноградов Д.Д.  
siteddv@gmail.com

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Использование цифровых технологий для получения данных непосредственно с бурового станка в процессе бурения взрывных скважин, в том числе энергоемкости бурения, как способа получения необходимых сведений о свойствах взрываемого массива.*

*Ключевые слова: энергоемкость, крепость, бурение, скважина, ПТК «Blast Maker», АССД БС «КОБУС».*

### Введение

Зачастую открытые горные работы ведутся в условиях недостаточной информации о свойствах разрабатываемого объекта. К понятиям технологических свойств объекта относятся совокупные характеристики горных пород, определяющие буримость, взрываемость и т.д. Такие классификации применяются, в основном, на стадиях проектирования предприятий, а также в работе геологической и маркшейдерской служб карьеров. Взрываемый массив, как правило, крайне неоднороден по петрографическому составу и по технологическим свойствам и поэтому требуется найти метод, обеспечивающий успешную оценку свойств разрабатываемого массива для ведения буровзрывных работ [1].

Качество взрыва зависит от крепости, трещиноватости и блочности горного массива, в целом характеризующих его взрываемость. Таким образом, первостепенной задачей информационного обеспечения горных работ на карьерах считается оперативная оценка сопротивляемости пород начальному процессу разработки, то есть разрушению.

В результате поисков критерия для оперативной оценки крепости и неоднородности пород в пределах разрушаемого блока был выбран показатель удельной энергоемкости шарошечного бурения как простой в измерении и наиболее объективный в оценке указанных свойств [2].

Данный подход привлекателен прежде всего тем, что не нарушает существующего на карьере режима работ и не требует затрат на проведение дополнительных геофизических работ по детализации свойств горных пород взрываемого блока.

В соответствии с теоретическими положениями системы разработана аппаратура регистрации параметров бурения с последующим определением прочностных характеристик породы. Система «КОБУС» - важная составная часть программно-технического комплекса «Blast Maker», устанавливается на буровых станках и собирает сведения о прочностных свойствах горных пород, слагающих разрабатываемый массив. Устройство «КОБУС» представляет собой мощный бортовой компьютер собственного изготовления с операционной системой Linux. Вычислительная машина создана специально для работы в условиях горнодобывающих предприятий. В основу работы системы положена методика определения прочностных характеристик массива по данным удельной энергоемкости бурения, которая зависит от таких параметров, как: нагрузка на шарошечное долото (осевое давление), сечение скважины, тип шарошечного долота, скорость вращения бурового става, вращающий момент шарошечного долота, скорость проходки скважины, и др. [3] (рис.1).



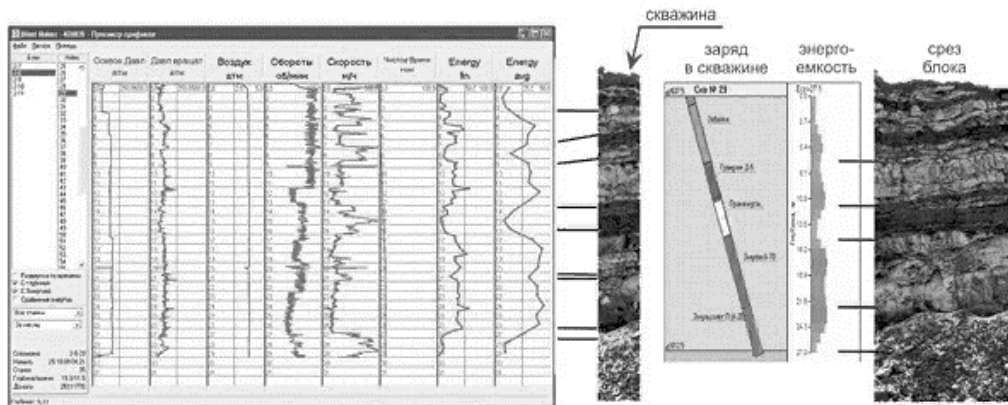


Рисунок 1 – Сравнение геологических данных с показателями, полученными бортовым вычислительным устройством КОБУС® и оптимальная конструкция заряда скважины для данного массива, рассчитанная по энергоемкости

Результатами соответствующей обработки полученных данных от системы КОБУС® являются детализированное пространственное распределение удельной энергоёмкости бурения, прочностные характеристики пород, распределение крупных трещин и др. (рис.2).

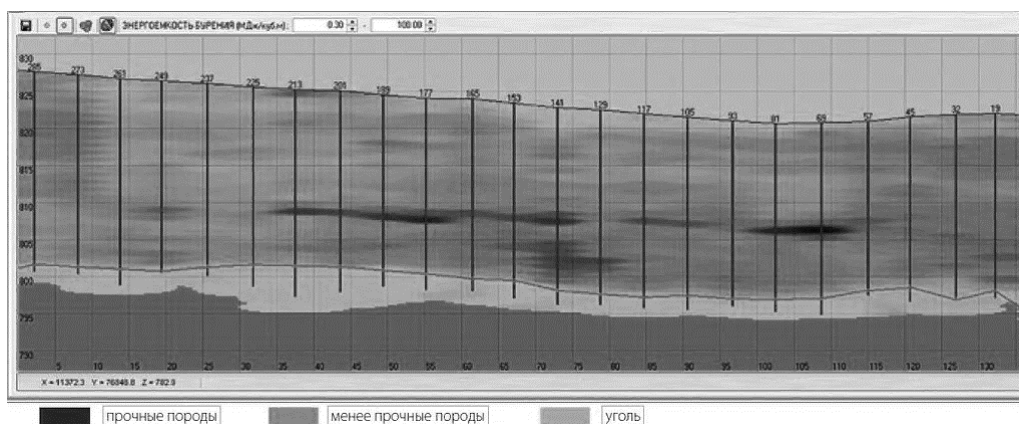


Рисунок 2 – Энергоемкость бурения и выделенная угольная кровля на примере разреза «Тугнуйский»

После накопления достаточной статистической информации появляется возможность идентифицировать породы по прочностным характеристикам, что позволяет получить такие геологические характеристики блока, как, например, для угольного месторождения, залегание кровли угольного пласта, положение кондиционных и некондиционных пластов, расщепление пластов, угол падения, нарушения, контакты породы и др. Такой массив информации сопоставим с комплексом геофизических исследований.

При этом, например, данные по энергоёмкости бурения скважин обеспечивают получение информации о залегании кровли угольного пласта с гораздо большей точностью, чем данные геологической разведки (рис.3, рис.4, рис.5).



Рисунок 3 – Разрез Тугнуйский

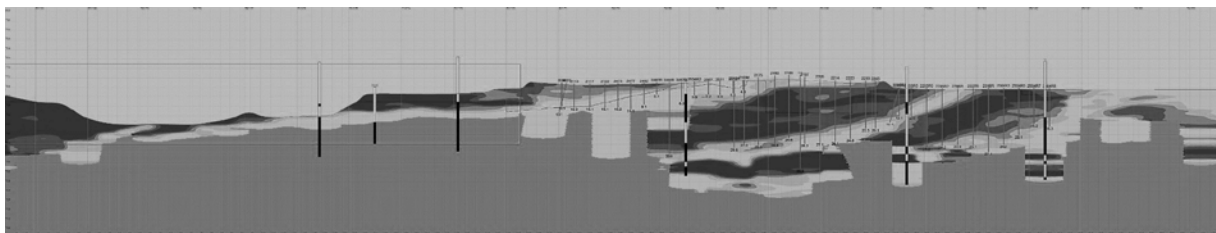


Рисунок 4 – Данные энергоемкости, полученные системой «КОБУС» при разведочном бурении на разрезе Тугнуйский

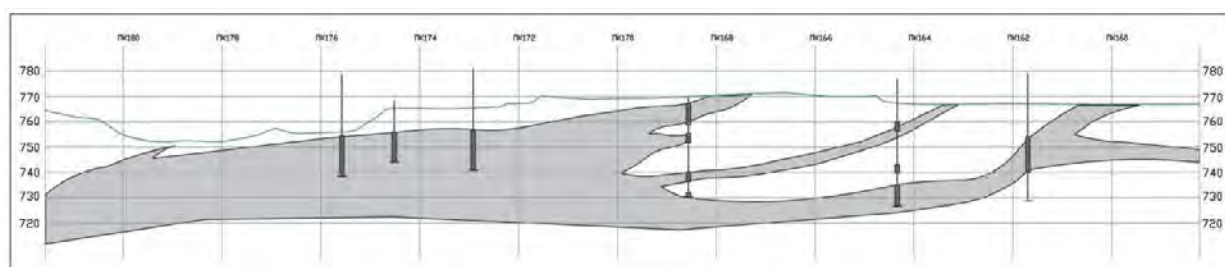


Рисунок 5 – По данным главного геолога разреза Тугнуйский Е.Платова

**Целью и задачей** данного исследования ставится подтверждение идеи показателя удельной энергоемкости бурения как критерий для оперативной оценки крепости и неоднородности пород в пределах разрушаемого блока.

#### Методика

Для выполнения поставленной задачи было проведено исследование зависимости прочностных свойств горных пород, слагающих разрабатываемый массив от энергии, потраченной на бурение в нем взрывных скважин. Данные энергоемкости бурения разрушаемого блока были получены с автоматизированной системы сбора и передачи данных «КОБУС», устанавливаемом на буровых станках.

#### Результаты

В результате проделанной работы были выявлены зависимости между энергией, затрачиваемой на ударно-вращательное шарошечное бурение взрывной скважины и прочностных свойств пород, слагающих разрабатываемый массив.

#### Заключение

На основе результатов проделанной работы можно сделать вывод о том, что энергоемкость бурения взрывной скважины является оптимальным критерием оптимальной оценки крепости и неоднородности пород в пределах разрушаемого блока.

#### Литература

1. Коваленко В.А., Тангаев И.А. Энергоемкость как универсальный критерий производства // Передовые технологии на карьерах. Сб. докл. Бишкек: КРСУ. 2017. С. 5-10.
2. Тангаев И.А. Энергоёмкость процессов добычи и переработки полезных ископаемых. М.: Недра, 1986. 231 с.
3. Коваленко В.А. Система автоматизированной подготовки производства на карьерах. «Blast Maker» // Добывающая промышленность. 2018. Т. 11. № 3. С. 294-296.

## УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ТЯГОВОГО КАНАТА ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ ОТ ЗАКРУЧИВАНИЯ

Гордиенко В.С.  
vika.g.99@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В статье описывается устройство, относящееся к области транспортного машиностроения и предназначенное для оснащения подъемных установок шахт, рудников, лифтов. Рассматривается актуальная для подъемных установок проблема закручивания тягового каната, наблюдаемая в процессе эксплуатации подъемных сосудов. Необходимо устранение закручивания тягового каната, образующегося по мере его вытяжки под воздействием прилагаемой нагрузки. Конкретика проблемы заключается в интенсивном износе рабочих поверхностей проводников и направляющих подъемных установок, что обуславливает сокращение сроков эксплуатации оборудования и возрастание эксплуатационных затрат, связанных с заменой изношенного оборудования новым. Предложен один из возможных вариантов решения этой задачи, выполненной на изобретательском уровне. Автор приводит принципиальное описание конструкции и работу устройства, позволяющего достичь положительных результатов при решении эксплуатационной проблемы. Предложено устройство, которое позволит повысить надежность работы оборудования, сроки его эксплуатации и снизить эксплуатационные расходы на обслуживание оборудования.*

*Ключевые слова: подъемные установки, тяговый канат, закручивание тягового каната, вытяжка тягового каната, интенсивный износ оборудования, сокращение сроков эксплуатации, возрастание эксплуатационных затрат, изобретательский уровень решения задачи*

Подъемная установка – это основной технический комплекс, связывающий, например, подземную часть шахты с поверхностью; она предназначена для выдачи горной массы на поверхность, а также для перемещения людей и оборудования. Основную нагрузку при работе подъемной установки несет на себе тяговый канат, который подвергается различным деформациям, приводящим, в свою очередь, к аварийной ситуации за счет вероятности его разрушения. В представленной работе рассматривается устройство защиты тягового каната подъемной установки, принципиально любой, от закручивания, которое позволит решить проблему интенсивного износа рабочих поверхностей проводников и направляющих подъемных установок [1].

Задача изобретения – повышение надежности работы оборудования и сроков его эксплуатации при снижении эксплуатационных затрат.

Изобретение относится к подъемно-транспортному машиностроению и может применяться для оснащения подъемных установок шахт, рудников и лифтов.

Известно устройство защиты тягового каната от обрыва, включающее корпус, закрепленный на тяговом канате и выполненный в виде двух частей, расположенных по вертикали на расстоянии одна над другой и жестко соединенных между собой, при этом тяговый канат соединен с корпусом с образованием петли между частями корпуса [2].

Недостаток известного устройства заключается в том, что жесткое соединение частей корпуса между собой не позволяет использовать устройство для защиты тягового каната подъемной установки от закручивания, вероятность которого высока при большой глубине ствола шахты. Закручивание каната возможно за счет его вытяжки под воздействием прилагаемой нагрузки.

При закручивании каната образуется крутящий момент, разворачивающий подъемный сосуд вокруг вертикальной оси, что приводит к перекосу направляющих подъемного сосуда относительно проводников ствола шахты и, соответственно, усиленному поджиму направляющих сосуда к проводникам ствола, чем обусловлен интенсивный износ рабочих поверхностей проводников и направляющих. За счет интенсивного износа рабочих поверхностей сокращаются сроки эксплуатации оборудования и возрастают эксплуатационные затраты, связанные с заменой изношенного оборудования новым.

Известно устройство защиты тягового каната от закручивания, включающее подвеску, состоящую из двух частей, соединенных между собой и установленных на тяговом канате на расстоянии одна над другой, корпус, закрепленный на нижней части подвески, ось, вертикально закрепленную на верхней части подвески и установленную в корпусе с возможностью вращения, при этом тяговый канат соединен с подвеской с образованием изгиба между ее частями [3].

Недостаток известного устройства заключается в том, что силы упругости каната, образующиеся при деформации его изгиба при развороте каната, препятствуют вращению оси в корпусе и величины крутящего момента на канате может быть недостаточно для полного устранения закрутки каната. Остаточная закрутка каната обуславливает поджим направляющих подъемного сосуда к проводникам ствола и, соответственно, повышенный износ их рабочих поверхностей.

Кроме этого, при максимально возможной величине крутящего момента на канате, вероятно наибольшая поперечная деформация изгиба каната при его закрутке, что может привести к разрыву проволоки в прядях каната под воздействием сил, образуемых крутящим моментом. Обрыв проволоки обуславливает постепенное разрушение каната и, соответственно, снижение надежности устройства в работе.

Задача изобретения – повышение надежности работы оборудования и сроков его эксплуатации при снижении эксплуатационных затрат.

Поставленная задача решается тем, что устройство защиты тягового каната подъемной установки от закручивания, включающее ось, соединенную с устройством крепления каната, корпус, связанный с подъемным сосудом, снабжено емкостью, закрепленной на верхней поверхности корпуса, полость которой заполнена жидким смазочным материалом. При этом, ось установлена в корпусе с возможностью вращения вокруг вертикальной оси и с боковыми и продольным зазорами с возможностью бокового и продольного смещения, причем полость емкости сообщается с полостью корпуса при смещении оси.

Посредством установки оси с боковыми и продольным зазорами в корпусе обеспечивается возможность бокового и продольного смещения оси в корпусе при деформации тягового каната, т.е. ось может самоустанавливаться, чем снижается вероятность ее заклинивания в корпусе, обусловленная деформацией каната. Заклинивание оси возможно при деформации каната под воздействием крутящего момента и образующихся поперечных, изгибающих усилий. Снижение вероятности заклинивания оси в корпусе обуславливает повышение надежности работы оборудования.

Размещение емкости с жидким смазочным материалом на верхней поверхности корпуса и сообщение полости емкости с полостью корпуса позволяют выполнять смазку всех контактирующих поверхностей оси и корпуса, чем обеспечивается уменьшение износа частей оборудования и, соответственно, повышение сроков его эксплуатации. И, как следствие, уменьшение частоты замены изношенного оборудования новым обуславливает снижение эксплуатационных затрат.

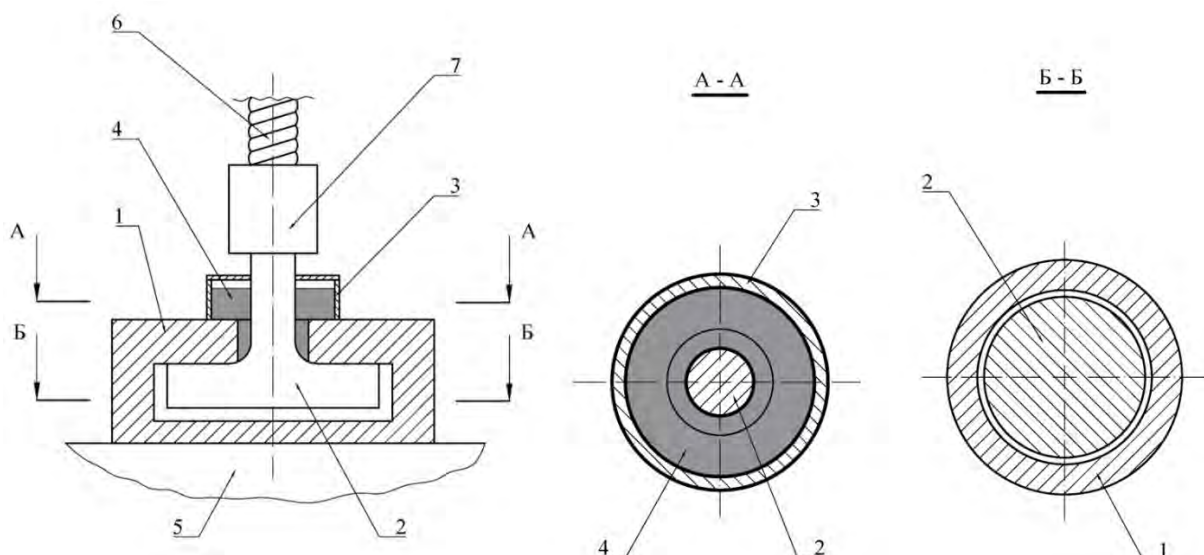


Рисунок 1 – Устройство защиты тягового каната подъемной установки от закручивания: 1- корпус; 2 – ось; 3 – емкость; 4 – жидкое смазочное средство; 5 – подъемный сосуд; 6 – канат; 7 – устройство крепления каната

Устройство защиты тягового каната подъемной установки от закручивания включает корпус 1, ось 2, установленную вертикально в корпусе 1 с возможностью вращения. Сверху корпуса 1 закреплена емкость 3, через которую пропущена ось 2. Полость емкости 3 заполнена жидким смазочным веществом 4. Ось 2 установлена в полости корпуса 1 с боковыми и продольным зазорами, как это показано на фиг. 1. Корпус 1 соединен через прицепное устройство (на фигурах не показано) с подъемным сосудом, условно обозначенным позицией 5. Ось 2 связана с тяговым канатом 6 через устройство 7 крепления каната 6.

Устройство защиты тягового каната подъемной установки от закручивания работает следующим образом. При спуске-подъеме подъемного сосуда 5 закрутка тягового каната 6 устраняется вращением оси 2 в полости корпуса 1, т.е. ось 2 прокручивается в полости корпуса 1 под воздействием крутящего момента, образующегося на канате 6 при его деформации – закрутке. Посредством прокрутки оси 2 в корпусе 1 устраняется деформация каната 6 и, соответственно, крутящий момент, чем исключается поджим направляющих подъемного сосуда 5 к проводникам шахтного ствола. В случае деформации каната 6 с образованием поперечных, изгибающих нагрузок, ось 2 смещается в полости корпуса 1 за счет выборки боковых и продольного зазоров, чем устраняется вероятность заклинивания оси 2 в корпусе 1 и обеспечивается прокрутка оси 2 при ее смещении в полости корпуса 1.

При выборке продольного зазора осью 2 последняя смещается вниз в полости корпуса 1 и полость емкости 3 сообщается с полостью корпуса 1 через боковой зазор. Сообщение полостей позволяет жидкому смазочному веществу 4 поступать в полость корпуса 1 и смазывать поверхности оси 2 и корпуса 1, контактирующие при прокрутке оси 2, что обеспечивает очевидное снижение износа контактирующих поверхностей. Кроме этого, посредством смазки обуславливается снижение вероятности заклинивания оси 2 в полости корпуса 1 и прокручивание оси 2 до полной раскрутки каната 6, т.е. до полного устранения крутящего момента на канате 6 и, соответственно, его деформации.

Таким образом, применение предложенного устройства защиты тягового каната подъемной установки от закручивания позволит повысить надежность работы оборудования, сроки его эксплуатации и снизить эксплуатационные расходы.

Заявка на изобретение № 20190069.1 от 03.10.2019, «Устройство защиты тягового каната подъемной установки от закручивания». Авторы: Степанов С.Г., Гордиенко В.С.

### Литература

1. Филимонов К.А., Карасёв В.А Технология подземных горных работ. Учеб. пособие. Кемерово: КузГТУ. 2013. 368 с.
2. Патент КГ №1724, В66В5/02, 31.03.2015, «Устройство защиты тягового каната от обрыва».
3. Патент КГ №1953, В66В5/00, В66В5/02, 28.04.2017, «Устройство защиты тягового каната от закручивания».

## АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРМАТИВНО-ДИРЕКТИВНЫХ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Дубинин А.А., Алдаберген А.Э.  
*alikhhan.aldabergen@mail.ru*

Международная образовательная корпорация, Казахская головная архитектурно-строительная академия, г. Алматы, Казахстан

*В статье рассматриваются методы расчета расписаний организации календарного планирования, а также технико-экономических показателей календарного плана.*

*Ключевые слова: параллельный метод, поточный метод, строительство, календарный план, графический метод, матрица, календарный график, ресурсы.*

В настоящее время в организации строительства применяют различные методы расчета графиков расписаний строительных работ, это: параллельный, последовательный и поточный методы. Данные методы по степени совмещения работ друг от друга отличаются. Последовательный метод применяется при нулевом совмещении работ [1]. А последовательный метод используется в отдельный момент времени, когда идет выполнение только одной работы. Параллельный метод используется только, при максимальном совмещении работ. Недостатком последовательного метода, можно считать это максимальное время продолжительности строительства, а к достоинствам такого метода можно отнести, это наименьшие затраты ресурсов. А параллельный метод применяется при минимальной продолжительности строительства, но стоит отметить, что в данном методе использование ресурсов максимально больше, по сравнению с чем, у последовательного метода.

Сам поточный метод имеет ряд преимуществ по сравнению с последовательным и параллельным методами производства работ и в данном случае, помогает избежать ряд недостатков. И поэтому, наибольшее распространение в строительной отрасли получил поточный метод организации работ в строительстве.

Существующий поточный метод организации строительства регламентирует ритмичный и планомерный производственный выпуск готовой строительной продукции, именно на основе непрерывной и равномерной работы строительных бригад, которые снабжены своевременно поставкой всех необходимых для работы материально-техническими ресурсами [2, 3].

В 1930 годах первые потоки были организованы, как ритмичные с внедрением специализированных бригад. Для организации данных потоков рекомендовалось применять равномерное распределение объемных работ по всем существующим фронтам и равномерная производительность всех строительных бригад. Однако, при строительстве сложных объектов, часто бывает и неравномерное разделение объемов работ по существующим фронтам и различная ежедневная работа специализированных бригад, то в данном случае рекомендуется обратить внимание на неритмичные потоки с непрерывным применением ресурсов и критическими работами.

В. В. Чихачев в 1946 году одним из первых исследователей предложил графический метод, этот метод являлся в виде циклограмм в системе ордината фронт работ частных потоков в едином масштабе с наличием предельного сближения каждого последующего потока к предыдущему.

Кроме расчета графического метода расписаний работ есть еще и матричный. Суть в этом методе, это когда строительные потоки разрабатываются в виде матрицы, размерностью  $m*n$  ( где  $m$  – число частных фронтов работ, а  $n$  – число видов работ). Если взять к примеру,

при методе поточной организации работ с непрерывным использованием ресурсов расчет расписания работ производится в матрицах вида ОФР. На рисунке 1 представлена такая матрица размерностью 4\*4.

ОФР	А	Б	В	Г
I	5	2	8	5
II	3	4	5	6
III	2	6	4	7
IV	5	3	3	5

Рисунок 1 – Матрица размерностью 4\*4 АБВГ – виды работ, I II III IV – частные фронты

В 1981 году В. М. Путинцевой [4] были предложены сложные матрицы, позволяющие проводить более сложные расчеты поточной организации строительства.

Исходя из этого данные сложные матрицы имеют большой интерес для моделирования расписаний работ при строительстве сложных объектов. На рисунке 2 представлен пример сложной матрицы. На изображенном рисунке видно, что работа вида «Б» разрабатывается только на трех частных фронтах, а работа «А IV» используется только с фронтальной связью с работой «В IV». В случае выполнения работы «Б» на всех фронтах фронтальной связью были бы связаны работы «А IV» и «Б IV».

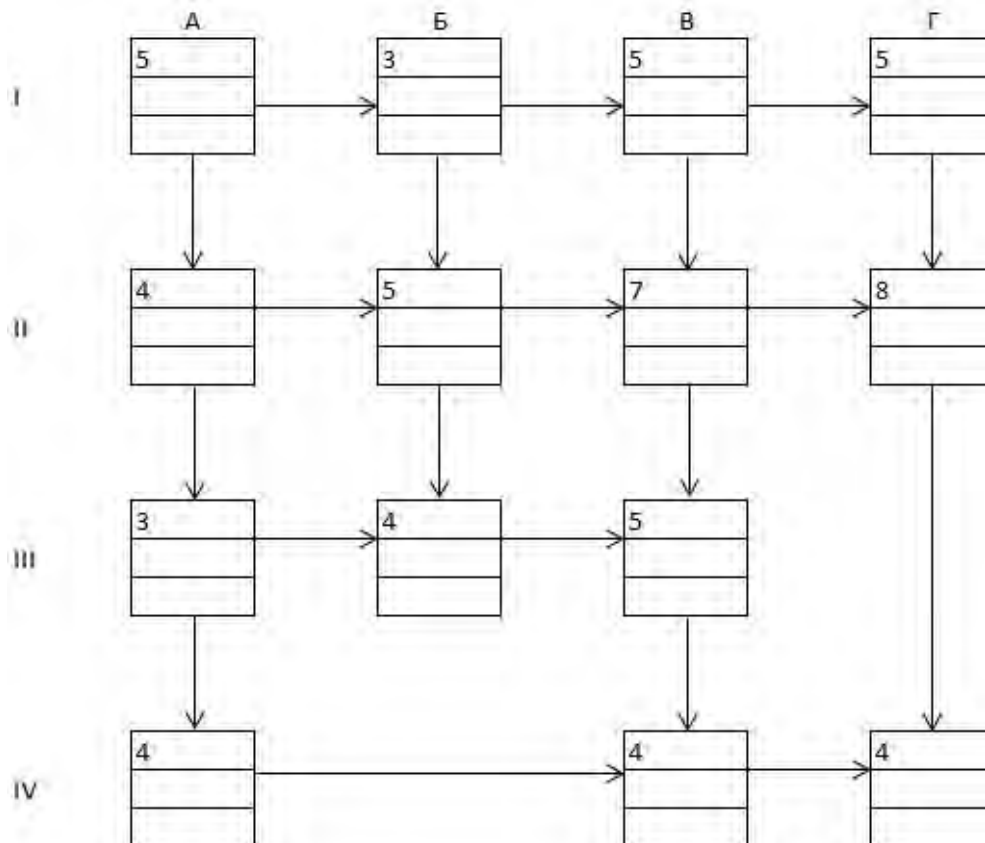


Рисунок 2 – Пример сложной матрицы

Кроме циклограмм и матриц имеются и другие формы моделирования строительных потоков. Самыми распространенными из них являются, это линейный график Ганта и сетевой график. Линейный график, который предложил Г. Л. Гант в конце XIX века, явился 1-ой попыткой моделирования процессов строительного производства. В 1925 году были



представлены сетевые графики А. А. Эрасмусом, но более широкое применение начали во 2-ой половине XX века. А 1930 г. были предложены циклограммы М. С. Будниковым.

Самое широкое на сегодняшний день распространение в строительной отрасли получили линейные графики. Но данные графики не отображают разделения общего фронта работ на частные и ресурсные связи. С данной задачей в полнее хорошо могут справиться сетевые графики, однако при максимальных количествах различных видов работ они являются трудоемкими для разработки. В связи с этим рекомендуется предложить для моделирования строительных процессов сложных объектов целесообразно использовать метод линейных графиков Ганта.

Данная актуальность существующих методов являлась в наличии следующего эффекта. В данном методе идет обеспечение бесперебойной работы строительных бригад, которая привела к максимальному увеличению ее производительности [5].

Выполненный литературный обзор существующих методов календарного планирования не показал наличия в научно-технической литературе конкретных методов календарного планирования, которые были бы ориентированы на сложные объекты. Исходя из этого, можно сделать заключение, что выделение сложных объектов является продолжительностью строительства. При помощи такого показателя выполняется сравнение нескольких предложенных вариантов календарных планов и может оцениваться их эффективность.

На сегодняшний момент применяются несколько видов компьютерных программ для того, чтобы обеспечить полную автоматизацию управления строительными проектами, взять к примеру компьютерные программы: *Primavera*, *Open Plan*, *Microsoft Project* и т.д.. В настоящее время из имеющихся компьютерных программ, которые могут управлять проектами наиболее эффективно и которые пользуются в Казахстане является программа *Microsoft Project*. Положительными сторонами программы относятся следующее, это: простота работы, доступность, вероятность разработки и редактирования различного пользовательского поля, а также полная единичность с различными компьютерными программами *Microsoft Office* и конечно же с другими языками программирования *Visual Basic for Application*.

Существующие компьютерные программы позволяют нам выполнять определенные функции и основные компьютерные процессы управления проектами и далее вести разработку календарных планов строительного производства работ и нести строгий контроль за ходом строительных работ, а также их исполнения в диалоговом режиме. В программах управления проектами за исполнением процессов строительных работ календарного плана ведутся в три этапа.

Первый этап, это – Отслеживание. В отслеживании осуществляется реализация проектов в программах управления компьютерным методом, когда вводят информацию о конечном результате работ в соответствующие поля.

Второй этап, это – Анализ. В анализе все компьютерные программы, которые управляют проектами, помогают нам уменьшить саму трудоемкость существующего этапа при помощи автоматизации процесса, мы могли бы получить наглядную информацию о реальных показателях исполняемых работ в виде разнообразных таблиц и графиков.

Третий этап, это – Корректировка. В корректировке используются все результаты проведенного анализа оценки, существующего состояния работ и поставленных действий для удаления отрицательного воздействия от существующих отклонений используется конкретная корректировка плановых параметров выполнения строительных работ. Аналогично, так же и в последующих этапах в компьютерных программах управления проектами уменьшается сама трудоемкость в выполнении представленного этапа методом автоматизированного расчета плана строительных работ, влияющего от плановых постоянно меняющихся показателей работ.

Оперативный контроль за ходом исполнения строительных работ согласно календарному плану на сегодняшний день является наиболее перспективной, когда

проектируют сложные уникальные объекты. Это все зависит, от стоимости строительства уникальных сложных объектов и конечно же различные погрешности в установленных сроках строительства может сильно изменить и повысить на ценовую политику в реализации проекта. Представленный метод поможет оперативно выявлять появляющиеся отклонения показателей при строительных работах и делать корректировки, которые могут способствовать уменьшению отрицательных последствий.

Чтобы добиться более конкретные положительные условиям установленных сроков строительства, нам поможет утвержденное стохастическое календарное планирование. В существующих на сегодняшний день, в компьютерных программах управления проектами представлены инструменты, которые позволят нам применить разнообразные способы вероятностного сетевого планирования. К распространенным способам такого планирования относятся:

Данная методика оценки, а также анализ программы, так называемая Program Evaluation and Review Technique PERT, сама суть программы предназначена, для общей оценки средней продолжительности строительства, которая состоит из бета распределения трех продолжительных параметров: ожидаемая, пессимистическая и оптимистическая.

Представленный метод Монте-Карло или как еще его называют методом статистического испытания, предназначен для сбора максимального количества разнообразных технологических процессов при строительстве рассматриваемого календарного плана. В программах Program Evaluation and Review Technique выполняется с помощью интегрированного в нем оперативной программе, так называемой «генератор случайных чисел».

Следующий метод, это метод графического анализа и оценки, предназначен для оценки продолжительной строительной работы, которая может быть выполнена на основании нескольких объемных предшествующих строительных работ.

Представленный метод стохастического планирования можно отнести к альтернативному методу, потому что, кроме продолжительности работы является вероятностный характер и связь друг с другом между специалистами и исполнения строительных работ.

Внедрение в других программах управления проектами представленные методы вероятного планирования во много отличаются друг от друга. При внедрении данного метода PERT, среди стандартных инструментов нет индивидуального весового коэффициента продолжительности работ, так называемых (пессимистической оптимистической и ожидаемой).

Весьма является актуальным метод календарного планирования в программе управления проектами при проектировании сложных объектов при интегрировании вероятностных размеров.

В данных программах предназначенных для расчета календарных графиков применяется метод критического пути, общая продолжительность строительства на основании которого может определяется введенными оператором общая продолжительность индивидуальных работ, в совокупности которой определяет отдел технического строительства. Но, при применении стандартных компьютерных инструментов оператор обязан в интерактивном режиме постоянно менять различные характеристики вводимых задач, чтобы достичь равномерной директивной и планируемой продолжительности. Важной характеристикой вводимых задач, которая может определить их максимальную продолжительность, в большом количестве ресурсов вида «мощность». При предельной максимальной величине данного объекта, а также детализации календарного графика, может сопровождается разнообразным количеством строительных работ, такой метод подбора требуемого количества трудового ресурса является весьма трудоемким.

Можно сделать вывод, что данный метод определения, который определяет необходимое количество трудового ресурса, где нет и не может быть полного математического обоснования. Обусловлен сам творческий характер представленного

процесса огромным множеством различных конкретных окончательных вариантов загрузки данными ресурсами каждый из представленных работ. Все это может привести к отсутствию гарантий нахождения наиболее среднего количества трудовых ресурсов. В связи с этим, появится необходимая разработка алгоритма, которая позволит нам данный процесс автоматизировать и применить математический аппарат, получив при этом обоснованные результаты.

Исследуя инструменты используемых программ управления проектами, мы сделали следующие выводы. Чтобы провести оптимизационные расчеты директивных продолжительностей строительства сложных и уникальных объектов, на сегодняшний момент среди стандартного инструментария программ управления проектами готовых решений нет.

Как мы отмечали ранее в процессе исследования и анализа МР, в нее загружена функция программирования, которая поможет одновременно с функцией редактирования и создания полей для пользователя достичь огромной и оперативной гибкости программы, которая может привести к максимальному увеличению области ее использования. В связи с этим, у функций может появиться большая возможность написания разнообразных индивидуальных по своему характеру математических алгоритмов календарного планирования, которые ориентировочно предназначены на сложные уникальные объекты.

**Заключение.** Из вышеизложенного мы можем сделать заключение в следующем. Продолжительность строительства сложных строительных объектов может быть регламентировано только директивно. Для того, чтобы определить и обосновать директивную продолжительность строительства сложных объектов строительства, можно только методом выполнения оптимизационного расчета. Существующее задание продолжительности строительства сложных объектов методом административного управления без применения научно технического подхода, может привести к неоптимальной длительности строительства, а также к длительности времени строительства, которая может выйти за рамки допустимых пределов. Исходя из этого, актуальной задачей является разработка научно-практического метода, которая дает полное обоснование метода продолжительности строительства сложных объектов.

#### Литература

1. Шишкин А.А., Шишкин А.И. Организация, планирование и управление строительным производством. Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 2007. 220 с.
2. Дикман Л.Г. Организация строительного производства. М.: АСВ. 2003. 608 с.
3. Фомин В.Н., Хавин Д.В. Организация строительного производства. Учеб. пособие. Ч. I / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ. 2008. 115 с.
4. Афанасьев В.А., Афанасьев А.В. Связи между работами и методы организации работ // Организация, планирование и управление строительством. Межвуз. темат. сб. Л.: ЛИСИ, 1981. С. 9-15.
5. Чахкиев И.М. Оптимизация трудовых ресурсов при обосновании директивных сроков строительства уникальных объектов. Дис. канд. техн. наук. СПб. 2015. 178 с.

## МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЛЕНДАРНЫХ ГРАФИКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Дубинин А.А., Алдаберген А.Э.  
alikhhan.aldabergen@mail.ru

Международная образовательная корпорация, Казахская головная архитектурно-строительная академия, г. Алматы, Казахстан

*В статье рассматривается методика и моделирование разработки структуры, календарных графиков строительства сложных объектов.*

*Ключевые слова: календарный график, строительство, проектирование, иерархия, ресурс, структура, автоматизация, календарный план, моделирование.*

Для того, чтобы снизить влияния конкретного человеческого фактора на разрабатываемую схему календарных графиков, в данной статье мы рекомендуем методику разработки конкретной структуры календарных графиков строительства сложных объектов. Данная структура поможет прийти к общему виду, в том числе и все проектируемые календарные графики строительства сложных объектов, при этом уменьшить влияние и управления человеческого фактора в процессе разработки графика строительства.

Когда мы проектируем календарный график строительных работ, которые входят в него, рекомендуется все это свести последовательно в единую иерархию. Сама схема иерархии может быть следующей:

- первый этап включает в себя «производительность – вид» – состоящая из этапов выполняемых работ;
- второй этап включает в себя «производительность – фронт» – состоящая из этапов фронтов различных видов работ;
- третий этап включает в себя «производительность – ресурс» – состоящая из этапов трудовых ресурсов, которая выполняет конкретный вид работы на индивидуальном фронте работ [1,2,3].

Фрагмент календарного графика представлена на рисунке 1, которая разработана при учете представленной иерархии. Подбор представленной схемы обусловлено спецификой особенностей программного обеспечения *MP*, производится на базе которого, автоматизация конкретного в этом случае расчета директивной продолжительности строительства с минимальными трудовыми ресурсами.

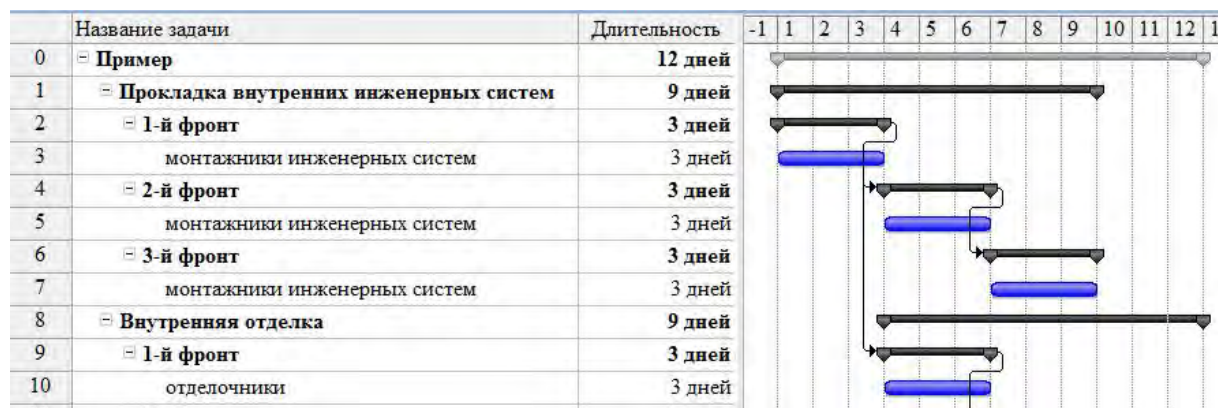


Рисунок 1 – Структура календарного графика в MP

На рисунке 2 представлена структура календарного графика строительства, которая может быть по своей структуре универсальной, потому что, при ее использовании программного управления проектами может быть применена иерархическая структура работ совместно с использованием, так называемой «вложенности» работ, как отдельно взятых проектов, так и с мега мультипликативного проектирования всего календарного графика [4].

Рассматривая все параметры моделирования календарных графиков строительства структурой линейных уравнений, если взять на примере ОТС строительства, которая представлена на рисунке 2.

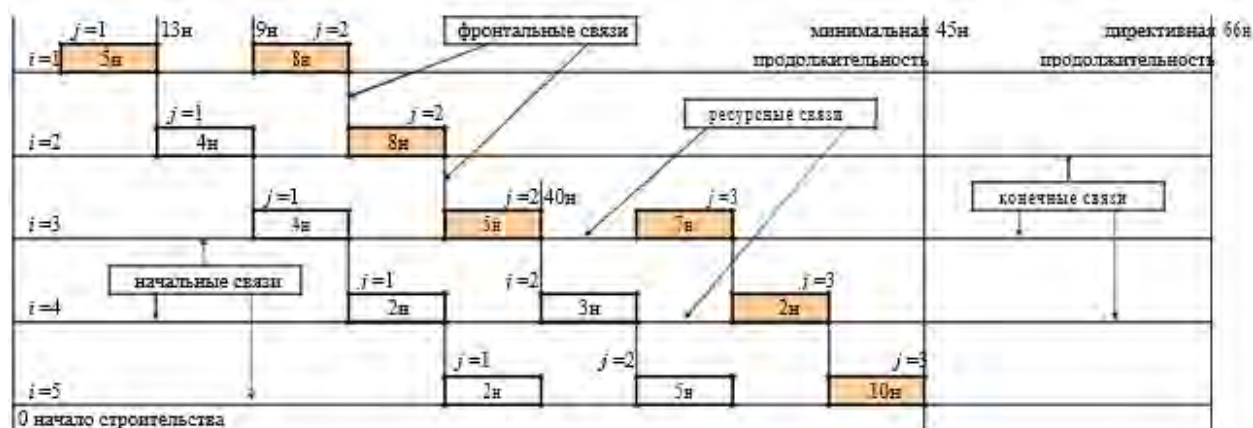


Рисунок 2 – Организационно-технологическая схема строительства

Организационно-технологическая схема строительства состоит из 5 этапов работ (1-й индекс –  $i$ ), выполняется каждая из которых на 2-х или 3-х частных фронтах (2-й индекс –  $j$ ). Наименьшая продолжительность отдельно взятой работы (в неделях) представлены в схемах моделирующих их прямоугольников. Фронтальные и ресурсные связи между работами установлены традиционно, которые определяют каждую последовательность технологии и очередность на частных фронтах выполнения работ. Для того, чтобы последовательно составить систему линейного уравнения дополнительно нужно показать первоначальные и конечные связи. Первоначальные связи представляют различные зависимости начала работ от представленных этим первоначальным временным ограничением, а окончательные результаты связей показывают зависимости конечных результатов работ от полученных этим окончаниям временных ограничений.

В процессе исследования, как это было установлено нами, сама ОТС строительства несет за собой структуру календарного графика строительства. Представленная проблема заключается в том, что отсутствует единая инвариантная схема, которая может привести к образованию календарных графиков с различными структурами и тем самым может усложнить само восприятие и анализ существующих графиков. А также календарные планы строительства, могут быть представлены в строительной сфере также наличием классификации отдельных деления календарных планов по детализации на четыре группы. К четырем группам относят: в составе ПОС единый календарный план, в составе ППР объектный календарный план, календарные рабочие планы и почасовые календарные планы [5]. Разрабатываются эти 4 группы последовательно согласно стадии реализации ИСП.

Перед Вами представлен так, называемый пример, первоначальной работы на 1-ом фронте которая закончится по графику не раньше тринадцатой недели, 3-я работа на 2-ом фронте по графику закончиться должна не ранее сороковой недели и 1-ая работа на 2-ом фронте начнется не раньше девятой недели. Не большой отрывок в программе *MP* электронной таблицы и линейного графика показана перед Вами на рисунке 3.



подготовки к общей работе, структуру стены в грунте, устройства и структуру основания из свай, специальные устройства предназначенные для удержания самой системы стены в грунте, отделочных работ, конструкции частей под землей, строительство каркаса надземной конструкции, конструкцию внешних инженерных сетей, конструкцию кровельной системы, фасадной работы, производимых инженерных сетей, озеленения и благоустройства территории.



Рисунок 5 – Комплекс административных зданий АО НК «КазМунайГаз»

По детальная номенклатура производится для выполнения расчетов наименьшего и наибольшего срока работы строительства. Найдем основные сроки строительных работ по прокладыванию инженерных сетей водоснабжения в здании АО «КазМунайГаз». Прокладывание инженерных сетей в здании Башня АО «КазМунайГаз» подразделяется на захваты по этажно. Одна захватка, обозначает один этаж. Так как в Башне 18 этажей, значит суммарное количество данных захваток составляет 18. Сама схема разбивки на так называемые захваты представлена на рисунке 6.

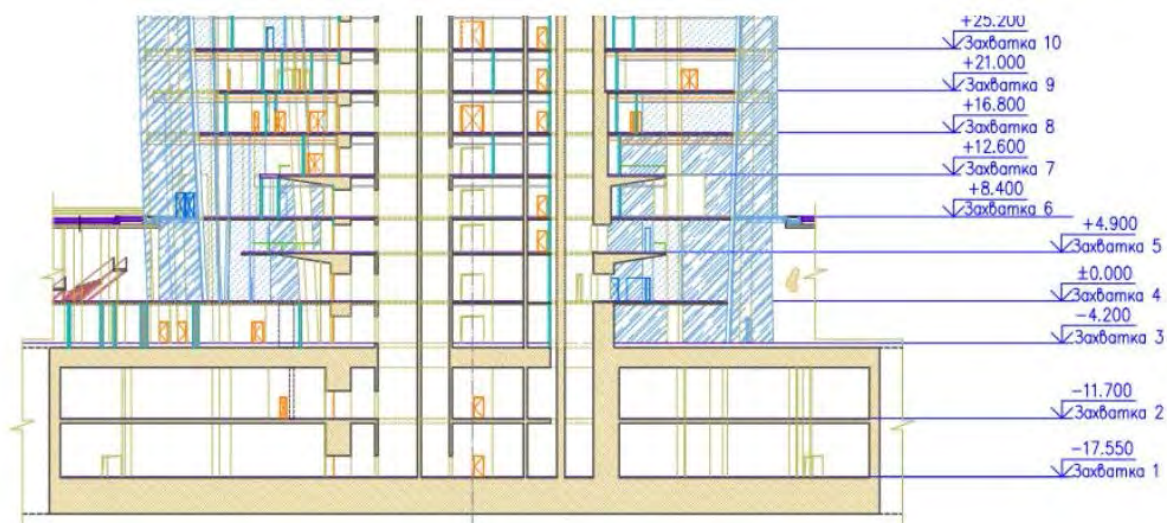


Рисунок 6 – Схема разбивки работ по прокладке внутренних инженерных сетей водоснабжения на захваты

Норматив по общей трудоемкости по прокладыванию общих сетей водоснабжения берется из укрупненных расценок СН РК 1.02-01-2016. Проводятся строительные работы в 3 рабочие смены, одновременно на 4-х этажах. При прокладывании труб водоснабжения для 1-ой захватки, согласно нормативному документу СН РК 1.02-01-2016, рекомендуется девяносто два человека в смену, 3 машиниста в смену. Отсюда следует, что для того чтобы проложить трубы водоснабжения за рабочий день только на одном этаже нам потребуется девяносто два строителя и три машиниста. В связи с тем, что строительные работы выполняются в 3 смены, совместно на одной захватке будут выполнять строительные работы еще дополнительно тридцать один человек и один машинист. Наименьшее количество трудовых ресурсов, которая требуется для прокладывания сетей трубопроводов водоснабжения, они определяется из СНиП РК 02-01-2007, СНиП РК 4.01-02-2009 и равно восьми рабочим и один машинист. Так как, в связи с тем, что в рабочей бригаде имеется машинист, требуется вычислить отдельное время продолжительности работы для рабочих бригад и машинистов. Относительная продолжительность на одной захватке выполнения работ рабочими равна:

$$T_{\text{немехан.}} = \frac{92}{8 \times 3} = 4 \text{ дня}$$

где: 92-, это трудоемкость в человеко-сменах;

8 – количество рабочих в бригаде; 3 – количество смен.

Будет большая продолжительность немеханизированных процессов. Объемная прокладка инженерных сетей водоснабжения в пределах одной захватки с учетом рекомендуемого ЕНиР состава звена составит 4 дня.

Таким же образом дела обстоят с маргинальными продолжительностями разработки других видов работ, а также способов критического пути находится суммарная продолжительность строительства. Не большой отрывок выполненного календарного графика с наименьшим и наибольшим пределом продолжительности строительства АО «КазМунайГаз» представлены на рисунках 7 и 8.



Рисунок 7 – Фрагмент календарного графика с минимальными сроками строительства АО «КазМунайГаз»

На основании выполненных расчетов был рассчитан наименьший и наибольший предел продолжительности строительства АО «КазМунайГаз». Наименьшая продолжительность на весь объем строительства составит 198 недель, наибольшая составит 2467 недель. В данном временном интервале может быть задана директивная продолжительность строительства. Для объекта АО «КазМунайГаз» директивная суммарная продолжительность строительства было задана на 278 недель. Во время расчета, был получен большой резерв времени, который равен восьмидесяти неделям, данный резерв



будет применен потом на других этапах оптимизационного расчета директивной продолжительности строительства. В целом, результаты первого этапа, которые мы получили доказывают о полной совместимости технических условий строительства АО «КазМунайГаз» для выполнения точного расчета.

1	+ Подготовительный период	16 нед							
10	+ Устройство стены в грунте	43 нед							
13	+ Устройство свайного основания	324 нед							
34	+ Устройство удерживающей системы	57 нед							
37	+ Устройство подземной части	253 нед							
52	+ Возведение каркаса надземной части	1807 нед							
73	+ Устройство кровельной системы	1591 нед							
84	- Фасадные работы	1641 нед							
85	- МФЗ Южный блок Западная часть	250 нед							
86	Монтажники	250 нед							
87	- МФЗ Южный блок Восточная часть	144 нед							
88	Монтажники	144 нед							
89	- МФЗ Северный блок Западная часть	149 нед							
90	Монтажники	149 нед							

Рисунок 8 – Фрагмент календарного графика с максимальными сроками строительства АО «КазМунайГаз»

При разработке методики в процессе исследования, мы получили обширный диапазон предполагаемой вариации на кончаемой директивной продолжительности, а для директивной продолжительности установленного значения, мы получили конкретное распределение трудовых ресурсов, а также транспортных ресурсов.

#### Литература

1. Шишкин А.А., Шишкин А.И. Организация, планирование и управление строительным производством. Учеб. пособие. Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ. 2007. 220 с.
2. Дикман Л.Г. Организация строительного производства. М.: АСВ. 2003. 608 с.
3. Фомин В.Н., Хавин Д.В. Организация строительного производства. Учеб. пособие. Ч. I / Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т. Н. Новгород: ННГАСУ. 2008. 115 с.
4. Афанасьев В.А., Афанасьев А.В. Связи между работами и методы организации работ // Организация, планирование и управление строительством. Межвуз. темат. сб. Л.: ЛИСИ, 1981. С. 9-15.
5. Чахкиев И.М. Оптимизация трудовых ресурсов при обосновании директивных сроков строительства уникальных объектов. Дис. ... канд. техн. наук. СПб. 2015. 178 с.

## ИЗ ОПЫТА ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ЛИНИИ ВОЛОЧЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА

Дьяченко Е.И.

*Djonictryvp@mail.ru*

Завод металлических конструкций «Темир-Тулпар Азия», г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В данной статье описывается опыт внедрения частотно-регулируемого привода в технологический процесс обработки металлов давлением. Применительно к такому технологическому оборудованию как волочильные станы, очерчиваются положительные стороны и приводятся цифры, показывающие экономический эффект такого метода интенсификации производства. Так же для вновь конструируемых комплексов и машин с асинхронными двигателями приводятся положительные факторы, несущие с собой изначальное закладывание частотно-регулируемого привода в конструкцию.*

*Ключевые слова: обработка металлов давлением, волочение, волочильный стан, вытяжка, частотное регулирование, асинхронный двигатель, привод*

Асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором имеют повсеместное применение в промышленности, отличаются простотой изготовления, относительной дешевизной, надежностью в работе, возможность включения в сеть без каких-либо преобразователей, низкими эксплуатационными затратами, но также имеют ряд недостатков: небольшой пусковой момент, значительный пусковой ток, и возможно главный недостаток – отсутствие возможности регулирования скорости при подключении непосредственно к сети [1]. Такое технологическое оборудование как волочильные станы как ничто другой нуждается в изменении скорости вращения рабочего органа – волочильного барабана.

Процесс волочения заключается в протягивании заготовки какого-нибудь профиля через отверстие круглого или профильного сечения меньшего размера чем сечение заготовки. Тянущее усилие создает волочильный барабан, на него же наматывается проволоченная заготовка. Обычно барабаны располагаются, один за другим создавая линию волочения. В таких условиях очень важным становится согласование скорости каждого барабана, ввиду того что длина проволоки после каждой ступени обжатия увеличивается, а значит скорость намотки на каждом последующем барабане должна расти. Изменение скорости вращения обычно достигается применением двигателей с разной скоростью вращения, а также редукторов с различным передаточным числом, иногда для работы в различных режимах может применяться коробка скоростей.

Волочение происходит в специальном инструменте, выполненном из твёрдого сплава – волоках. Такой инструмент на современных волочильных машинах допускает достаточно большие скорости волочения, до 50-80 м/сек [2]. На практике скорости волочения не превышают 30-40 м/сек, а на линиях более раннего изготовления 5-15 м/сек. В таких условиях посредством частотно-регулируемого привода легко увеличить скорость волочения что очень сильно влияет на производительность, напротив изменение скорости с помощью изменения скорости вращения электродвигателя (без изменения частоты питающего напряжения) или изменения коэффициента редукции крайне затруднительно. Кроме того, можно добиться идеальной согласованности работы линии, когда на каждый барабан наматывается столько проволоки сколько требуется для того, чтобы каждый барабан в каждый момент времени находился в работе, без остановки.

В общем, из основных достоинств внедрения частотно-регулируемого привода в линию волочения проволоки можно выделить следующие:

1. Задание оптимальных чисел оборотов барабана волочильного стана и создание таких условий, когда нет барабанов, на которых проволока кончается либо накапливается.
2. Общее повышение скорости волочения проволоки.
3. Частичная автоматизация работы линии (синхронный запуск, обратная связь по моменту и т.д.).
4. Расширение возможностей по управлению линией, повышение удобства управления.
5. Контроль и защита электрического двигателя.
6. Контроль технологических параметров процесса волочения.
7. Общее уменьшение времени простоя линии.
8. Уменьшение нагрузки на питающую сеть (Мощные двигатели имеют большие пусковые токи, учитывая, что линия волочения состоит из нескольких станов повышение силы тока может достигать серьёзных величин, частотно-регулируемый привод позволяет свести пусковые токи практически к рабочим).
9. Повышается безопасность и улучшаются условия труда за счёт уменьшения шума привода (мягкий ШИМ).

Для вновь конструируемых технологических комплексов и машин так же существует ряд преимуществ частотно-регулируемого привода перед классическим:

1. Минимизирование требований, предъявляемых к редуктору (в некоторых случаях исключение из конструкции). В виду того, что редуктор является достаточно дорогим компонентом машины, зачастую имеет внушительные массогабаритные характеристики, его исключение либо уменьшение параметров (например уменьшение ступеней редукции) может иметь существенное значение.
2. Коробка скоростей являясь важной составляющей многих технологических машин так же является дорогим и массогабаритным компонентом, во многих случаях с помощью частотно-регулируемого привода возможно упрощение коробки скоростей либо ее полное исключение из конструкции.
3. Уменьшение номенклатуры деталей и узлов.
4. Повышение степени автоматизации, облегчение интегрирования машины или комплекса в единую систему.
5. Возможность синхронизации вращения нескольких осей (без жесткой механической связи).
6. Повышение надежности, долговечности и экономического эффекта проектируемого оборудования за счёт оптимизации режимов работы и контроля работы двигателя.

### **Литература**

1. Андреев В.П., Сабинин Ю.А. Основы электропривода. 2-е изд., перераб. М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. 772 с.
2. Юхвец И.А. Волочильное производство. М.: Металлургия, 1965. 370 с.

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА В ВЕРТИКАЛЬНО ГРАДИЕНТНОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Забинякова О.Б.<sup>1</sup>, Скляр С.Н.<sup>2</sup>  
*perah.92@inbox.ru*

<sup>1</sup>Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

<sup>2</sup>Американский Университет в Центральной Азии, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе рассмотрено построение разностных схем для приближенного решения уравнения Риккати с переменными коэффициентами. Построенные разностные схемы основаны на методе локальных интегральных уравнений. На примере вертикально градиентной среды, описываемой степенной модели Като-Кичуци, проведены численные эксперименты по апробированию построенных разностных соотношений.*

*Ключевые слова: магнитотеллурический импеданс, вертикально градиентная среда, метод локальных интегральных уравнений, численные эксперименты.*

### Введение

Известно, что математической моделью, описывающей поведение магнитотеллурического поля в горизонтально-однородной среде является система обыкновенных дифференциальных уравнений [1–6]:

$$\begin{cases} \frac{\partial H^y(z)}{\partial z} = -\sigma E^x(z), \\ \frac{\partial E^x(z)}{\partial z} = i\omega\mu_0 H^y(z), \end{cases} \quad z \in (0, z_{\max}), \quad (1)$$

где  $H^y(z)$  и  $E^x(z)$  – неизвестные функции, являющиеся комплексными компонентами напряженности магнитного и электрического полей вдоль горизонтальных осей  $Oy$  и  $Ox$  соответственно (в дальнейшем индексы  $x$  и  $y$  будем опускать);  $\sigma = \sigma(z)$  – электрическая проводимость среды;  $\mu_0$  – магнитная восприимчивость в вакууме;  $\omega$  – частота электромагнитного поля;  $i$  – комплексная единица.

Систему (1) в дополнении с известными значениями  $H(0)$  и  $E(0)$  принято считать прямой одномерной задачей магнитотеллурического зондирования (МТЗ). При этом чаще всего в рамках этой задачи не отыскиваются сами функции  $H(z)$  и  $E(z)$ , а рассматривается лишь их отношение взаимно ортогональных компонент электромагнитного поля – так называемый магнитотеллурический импеданс Тихонова-Каньяра [1–6]:

$$Z(z) = \frac{E(z)}{H(z)}. \quad (2)$$

Умножив первое уравнение системы (1) на функцию  $E(z)$ , а второе уравнение – на  $H(z)$ , сложив их и выполнив некоторые преобразования, несложно убедиться, что функция импеданса удовлетворяет уравнению Риккати [1–6]:

$$\frac{dZ(z)}{dz} - \sigma(z)Z^2(z) = i\omega\mu_0, \quad z \in (0, z_{\max}). \quad (3)$$

Ранее авторами данной работы были предложены разностные схемы специального вида для решения прямой задачи МТЗ, полученные с помощью метода локальных интегральных уравнений – были построены специальные разностные схемы для решения системы (1), а также исследованы их качественные свойства: доказаны оценки сходимости и

предложены варианты естественной интерполяции приближенного решения. В следующем разделе кратко, без доказательств, приведем некоторые из этих результатов, так как в настоящее время они находятся в процессе опубликования.

В данной работе, в продолжение ранее выполненных исследований, предполагается рассмотреть алгоритм вычисления магнитотеллурического импеданса в вертикально градиентной среде: на основе специальных разностных схем, полученных авторами на основе метода локальных интегральных уравнений, будут определены соответствующие явные разностные соотношения для приближенного решения уравнения (3).

### Разностные схемы для решения системы (1), полученные методом локальных интегральных уравнений, и оценки их сходимости

Введем дополнительные обозначения:

$$\vec{U}(z) = \begin{pmatrix} H(z) \\ E(z) \end{pmatrix}, \quad L(z) = \begin{pmatrix} 0 & -\sigma(z) \\ i\omega\mu_0 & 0 \end{pmatrix},$$

и рассматриваемую систему (1) запишем в виде матричного уравнения:

$$\frac{d\vec{U}(z)}{dz} = L(z)\vec{U}(z), \quad z \in (0, z_{\max}). \quad (4)$$

Пусть  $\{z_j\}_{j=1}^J$  – произвольная, неравномерная сетка на отрезке  $[0, z_{\max}]$ ,  $\Delta z_j = z_{j+1} - z_j$ ,  $z_{j+1/2} = (z_j + z_{j+1})/2$ ,  $j = 1, 2, \dots, J-1$  – длины и середины сеточных ячеек соответственно;  $\vec{U}_j^h = \begin{pmatrix} H_j^h \\ E_j^h \end{pmatrix} \approx \vec{U}(z_j)$ ,  $j = 1, 2, \dots, J$  – приближенное решение в узлах сетки;

$$e^{\Delta z_j L_{j+1/2}} = \begin{pmatrix} ch(\Delta z_j k_{j+1/2}) & -\frac{\sigma_{j+1/2}}{k_{j+1/2}} sh(\Delta z_j k_{j+1/2}) \\ \frac{i\omega\mu_0}{k_{j+1/2}} sh(\Delta z_j k_{j+1/2}) & ch(\Delta z_j k_{j+1/2}) \end{pmatrix} - \text{матричная экспонента, } L_{j+1/2} = L(z_{j+1/2}),$$

$k_{j+1/2} = (1-i)\sqrt{\omega\mu_0\sigma_{j+1/2}/2}$  – волновое число;

$$\sigma_{j+1/2} = \frac{\sigma(z_j) + \sigma(z_{j+1})}{2}, \quad D\sigma_{j+1/2} = \frac{\sigma(z_{j+1}) - \sigma(z_j)}{\Delta z_j}, \quad D^2\sigma_{j+1/2} = \frac{\sigma(z_{j+1}) - 2\sigma(z_{j+1/2}) + \sigma(z_j)}{(\Delta z_j/2)^2};$$

$$R_{j+1/2}(z_{j+1}) = \begin{pmatrix} -r_{j+1/2} & 0 \\ 0 & r_{j+1/2} \end{pmatrix}, \quad r_{j+1/2} = \frac{i\omega\mu_0\Delta z_j}{4k_{j+1/2}^2} \left[ ch(\Delta z_j k_{j+1/2}) - \frac{sh(\Delta z_j k_{j+1/2})}{\Delta z_j k_{j+1/2}} \right];$$

$$Q_{j+1/2}^{(1)}(z_{j+1}) = \begin{pmatrix} 0 & q_{j+1/2} \\ 0 & 0 \end{pmatrix},$$

$$q_{j+1/2} = -\frac{\Delta z_j^3}{4} \cdot \left\{ \frac{ch(\Delta z_j k_{j+1/2})}{3} + \frac{1}{(\Delta z_j k_{j+1/2})^2} \left[ ch(\Delta z_j k_{j+1/2}) - \frac{sh(\Delta z_j k_{j+1/2})}{\Delta z_j k_{j+1/2}} \right] \right\}.$$

Тогда для приближенного решения уравнения (4)  $\frac{d\vec{U}(z)}{dz} = L(z)\vec{U}(z)$ ,  $z \in (0, z_{\max})$ .

можно использовать разностную схему:

$$\vec{U}_{j+1}^h = e^{\Delta z_j L_{j+1/2}} \vec{U}_j^h, \quad j = 1, 2, \dots, J-1, \quad (5)$$

и ее уточненный вариант:

$$\begin{aligned}\bar{U}_{j+1}^h &= T_{j+1/2} \bar{U}_j^h, \quad j=1,2,\dots,J-1, \\ T_{j+1/2} &= e^{\Delta z_j L_{j+1/2}} + D\sigma_{j+1/2} \cdot R_{j+1/2}(z_{j+1}) + \frac{D^2\sigma_{j+1/2}}{2} \cdot Q_{j+1/2}^{(1)}(z_{j+1});\end{aligned}\quad (6)$$

Рассмотрим задачу Коши для матричного уравнения (4):

$$\bar{U}(0) = \bar{U}_0 = \begin{pmatrix} H_0 \\ E_0 \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где  $H_0$  и  $E_0$  – некоторые комплексные величины. В этом случае задачу (4), (7) можно решить, разрешая рекурсии (5) и (6) при заданном  $\bar{U}_1^h = \bar{U}_0$ .

В пространстве двумерных векторов с комплексными компонентами вида  $\bar{U} = \begin{pmatrix} u^{(1)} \\ u^{(2)} \end{pmatrix}$

введем норму:

$$\|\bar{U}\|_\infty = \max \{|u^{(1)}|, |u^{(2)}|\},$$

и соответствующую ей норму матрицы  $L = \begin{pmatrix} l_{11} & l_{12} \\ l_{21} & l_{22} \end{pmatrix}$ :

$$\|L\|_\infty = \max \{|l_{11}| + |l_{12}|, |l_{21}| + |l_{22}|\}.$$

Тогда можно доказать следующую оценку сходимости приближенного решения, определяемого с помощью разностной схемы (5), (7), к точному решению задачи (4), (7):

$$\|\bar{U}(z_j) - \bar{U}_j^h\|_\infty \leq K_1 (\Delta z)^2, \quad j=1,2,\dots,J,$$

где  $K_1$  – константа, не зависящая от  $\Delta z \equiv \max_{1 \leq j \leq J-1} \Delta z_j$ . Из этой оценки следует, что разностная схема (5), (7) обладает вторым порядком сходимости к точному решению задачи (4), (7).

Выполняя аналогичным образом оценку сходимости для разностной схемы (6) с условиями (7), можно получить следующее:

$$\|\bar{U}(z_j) - \bar{U}_j^h\|_\infty \leq K_2 \cdot (\Delta z)^3, \quad j=1,2,\dots,J,$$

где  $K_2$  – константа, не зависящая от  $\Delta z \equiv \max_{1 \leq j \leq J-1} \Delta z_j$ , то есть при краевых условиях (7) уточненная разностная схема (6) определяет приближенное решение задачи (4), (7) на порядок точнее, чем разностная схема (5).

### Вычисление импеданса Тихонова-Каньяра с помощью разностных схем (5) и (6)

Обратим внимание, что каждую из систем (5) и (6) можно переписать в виде:

$$\begin{cases} H_{j+1}^h = \tilde{a}_j^{11} H_j^h + \tilde{a}_j^{12} E_j^h; \\ E_{j+1}^h = \tilde{a}_j^{21} H_j^h + \tilde{a}_j^{22} E_j^h; \end{cases} \quad j=1, J-1, \quad (8)$$

где  $\tilde{A}_j = \begin{pmatrix} \tilde{a}_j^{11} & \tilde{a}_j^{12} \\ \tilde{a}_j^{21} & \tilde{a}_j^{22} \end{pmatrix}$  – соответствующая матрица коэффициентов правой части.

Далее для приближенных значений импеданса Тихонова-Каньяра в узлах сетки будем использовать обозначение  $Z(z_j) \approx Z_j^h = \frac{E_j^h}{H_j^h}$ .

Разделим второе уравнение системы (8) на её первое уравнение, преобразуем к виду:

$$Z_{j+1}^h = \frac{\tilde{a}_j^{21} + \tilde{a}_j^{22} Z_j^h}{\tilde{a}_j^{11} + \tilde{a}_j^{12} Z_j^h}. \quad (9)$$

В случае, если, например, для уравнения (3) задано краевое условие  $Z(0) = Z_0$  (то есть  $Z_1^h = Z_0$ ), тогда для приближенного вычисления импеданса  $Z_j^h$ ,  $j = \overline{1, J-1}$  можно использовать рекурсию (9).

Соотношение (9) можно преобразовать следующим образом:

$$Z_j^h = -\frac{\tilde{a}_j^{21} - \tilde{a}_j^{11} Z_{j+1}^h}{\tilde{a}_j^{22} - \tilde{a}_j^{12} Z_{j+1}^h}. \quad (10)$$

Рекурсию (10) удобно использовать для приближенного решения уравнения (3), если в качестве краевого условия задано значение  $Z(z_{\max}) = Z_J$  (то есть  $Z_J^h = Z_J$ ).

Таким образом, используя в качестве матрицы  $\tilde{A}_j = \begin{pmatrix} \tilde{a}_j^{11} & \tilde{a}_j^{12} \\ \tilde{a}_j^{21} & \tilde{a}_j^{22} \end{pmatrix}$  соответствующие

матрицы коэффициентов правых частей систем (5) и (6), можно вычислять значения импеданса Тихонова-Каньяра в узлах сетки по формулам (9) или (10) в зависимости от вида краевых условий.

Обратим внимание, что, выполняя предельный переход при  $\Delta z_j \rightarrow 0$  в соотношении (9), можно получить дифференциальное уравнение Риккати (3). Покажем это на примере коэффициентов системы (5).

Преобразуем (9), учитывая, что  $\tilde{a}_j^{11} = ch(k_{j+1/2} \Delta z_j)$ ,  $\tilde{a}_j^{12} = -\frac{\sigma_{j+1/2}}{k_{j+1/2}} sh(k_{j+1/2} \Delta z_j)$ ,

$\tilde{a}_j^{21} = \frac{i\omega\mu_0}{k_{j+1/2}} sh(k_{j+1/2} \Delta z_j)$ ,  $\tilde{a}_j^{22} = ch(k_{j+1/2} \Delta z_j)$ :

$$\tilde{a}_j^{11} \frac{Z_{j+1}^h - Z_j^h}{\Delta z_j} + \frac{\tilde{a}_j^{12}}{\Delta z_j} Z_j^h Z_{j+1}^h - \frac{\tilde{a}_j^{21}}{\Delta z_j} = 0,$$

и, выполняя в полученном равенстве предельный переход при  $\Delta z_j \rightarrow 0$ :

$$\lim_{\Delta z_j \rightarrow 0} \tilde{a}_j^{11} \frac{Z_{j+1}^h - Z_j^h}{\Delta z_j} + \lim_{\Delta z_j \rightarrow 0} \frac{\tilde{a}_j^{12}}{\Delta z_j} Z_j^h Z_{j+1}^h - \lim_{\Delta z_j \rightarrow 0} \frac{\tilde{a}_j^{21}}{\Delta z_j} = 0,$$

получим уравнение Риккати:

$$\frac{dZ(z_j)}{dz} - \sigma(z_j) Z^2(z_j) = i\omega\mu_0.$$

Обратим внимание, что известно также и другое рекуррентное соотношение для вычисления импеданса Тихонова-Каньяра [7, 8]:

$$Z(z_{j-1}) = \frac{i\omega\mu_0}{k_j} cth \left( -k_j \Delta z_j + \operatorname{arcth} \left[ \frac{k_j}{i\omega\mu_0} Z(z_j) \right] \right), \quad j = \overline{J, 2}. \quad (11)$$

Выполняя несложные тождественные преобразования равенства (9) для случая коэффициентов основной разностной схемы (5) и равенства (11), можно показать, что эти формулы эквивалентны: то есть формулы для рекуррентного вычисления значений импеданса Тихонова-Каньяра, полученные с помощью основной разностной схемы (5), эквивалентны формулам, используемым для вычисления импеданса, например, в [2–6]. А значит, соотношения (9) и (10) для случая уточненной разностной схемы (6), являются неким уточненным вариантом стандартных соотношений (11).

### Тестовая задача

Рассмотрим решение системы (1) для случая вертикально градиентной среды, описываемой степенной моделью Като–Кикучи [6]:  $\sigma(z) = \sigma_0(1 + pz)^{-2}$ , где  $\sigma_0$  и  $p$  – некоторые положительные действительные числа. Уравнение (3) в данном случае примет вид:

$$\frac{dZ(z)}{dz} - \frac{\sigma_0}{(1 + pz)^2} Z^2(z) = i\omega\mu_0. \quad (12)$$

Можно показать, что точное решение задачи (1), (7) имеет вид:

$$E(z) = E_0 \cdot (1 + pz)^{\nu + \frac{1}{2}}, H(z) = H_0 \cdot (1 + pz)^{\nu - \frac{1}{2}}, \nu = \sqrt{\frac{1}{4} + \frac{k_0^2}{p^2}}.$$

А значит, разделив  $E(z)$  на  $H(z)$ , можно определить формулу для вычисления точных значения импеданса Тихонова-Каньяра для рассматриваемой тестовой модели, или, другими словами, точное решение задачи (12), (7):

$$Z(z) = \frac{E_0}{H_0} (1 + pz), z \in [0, z_{\max}]. \quad (13)$$

Отметим так же, что комплексные постоянные  $E_0$  и  $H_0$  связаны между собой соотношением:

$$p \left( \frac{1}{2} - \nu \right) H_0 = \sigma_0 E_0,$$

то есть для определения точного решения задачи (1), (7) необходимо и достаточно знать значение одной из неизвестных функций  $E(z)$  и  $H(z)$  на дневной поверхности (при  $z=0$ ), а значение второй функции вычислять с помощью последнего равенства.

### Численные эксперименты

Далее представим некоторые результаты численных экспериментов по решению задачи (12), (7), реализованных с помощью Matlab. Основной целью расчетов было сравнение приближенных решений, получаемых с помощью соотношений (9) при использовании двух видов матрицы  $\tilde{A} = \begin{pmatrix} \tilde{a}^{11} & \tilde{a}^{12} \\ \tilde{a}^{21} & \tilde{a}^{22} \end{pmatrix}$ , соответствующих матрицам коэффициентов правых частей покомпонентно записанных разностных схем (5) и (6), с известным в аналитическом виде точным решением (13).

Точность получаемых приближенных решений оценивалась следующим образом:

- по относительным погрешностям:  $rel\_error = \frac{\|(Z)^h - Z^h\|_{\infty}}{\|(Z)^h\|_{\infty}} \cdot 100\%$ ,

где  $\|(Z)^h - Z^h\|_{\infty} = \max_{1 \leq j \leq J} |(Z)^h_j - Z^h_j|$ ,  $\|(Z)^h\|_{\infty} = \max_{1 \leq j \leq J} |(Z)^h_j|$ ,  $(Z)^h_j$  – проекция точного решения задачи (12), (7) на  $j$ -тый узел сетки,  $Z^h_j$  – приближенное решение в  $j$ -том узле;

- по графическим отображениям решений: так как функция  $Z(z)$  комплексная, то построение графиков осуществлялось покомпонентно, то есть отдельно для действительной и мнимой частей этой функции. Далее на графиках:
  - зеленым цветом отображено точное решение задачи (12), (7), полученное по формуле (13);
  - красным цветом – приближенное решение, полученное с помощью соотношений (9) с использованием матрицы коэффициентов основной разностной схемы (5);



- синим цветом – приближенное решение, полученное с помощью соотношений (9) с использованием матрицы коэффициентов уточненной разностной схемы (6).

В таблице 1 приведены относительные погрешности приближенных решений задачи (12), (7) для разных её параметров. На рисунке 1 приведен пример графического отображения решения задачи (12), (7) для варианта сочетания параметров 2 из таблицы 1.

Из таблицы 1 видно, что соотношение для вычисления импеданса (9) для случая обеих разностные схемы (5) и (6) работают примерно с одинаково высокой точностью. Заметно, что при увеличении количества узлов сетки, относительные погрешности приближенных решений уменьшаются.

Таблица 1 – Относительные погрешности приближенных решений задачи (15), (7) для разных параметров самой задачи и вычислительной сетки, %

№	Параметры задачи и вычислительной сетки						Относительные погрешности приближенных решений, %	
	$Z_{\max}$	$J$	$\omega$	$\sigma_0$	$p$	$H_0$	(9) с коэффициентами основной разностной схемы (5)	(9) с коэффициентами уточненной разностной схемы (6)
1	$10^4$	6	10	1	0,001	$1000 \cdot (1-i)$	7,62	7,01
2		11					3,36	0,99
3		21					1,11	0,21
4		51					0,18	0,04
5		101					$4,4 \cdot 10^{-2}$	$9,7 \cdot 10^{-3}$
6		501					$1,8 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-4}$
7	$10^3$	6	0,1	1	1	$1+i$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	$8,3 \cdot 10^{-3}$
8		11					$6 \cdot 10^{-7}$	$10^{-3}$
9		21					$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$
10		51					$1,3 \cdot 10^{-5}$	$5,6 \cdot 10^{-5}$
11		101					$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
12		501					$1,3 \cdot 10^{-5}$	$1,3 \cdot 10^{-5}$
13	$2 \cdot 10^3$	11	1	100	1	$10-10i$	$5 \cdot 10^{-4}$	3,8
14		21					$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,5
15		51					$9,5 \cdot 10^{-5}$	0,03
16		101					$4,4 \cdot 10^{-5}$	$3,7 \cdot 10^{-3}$
17		501					$5,4 \cdot 10^{-6}$	$10^{-5}$
18		1001					$1,8 \cdot 10^{-6}$	$3,5 \cdot 10^{-6}$

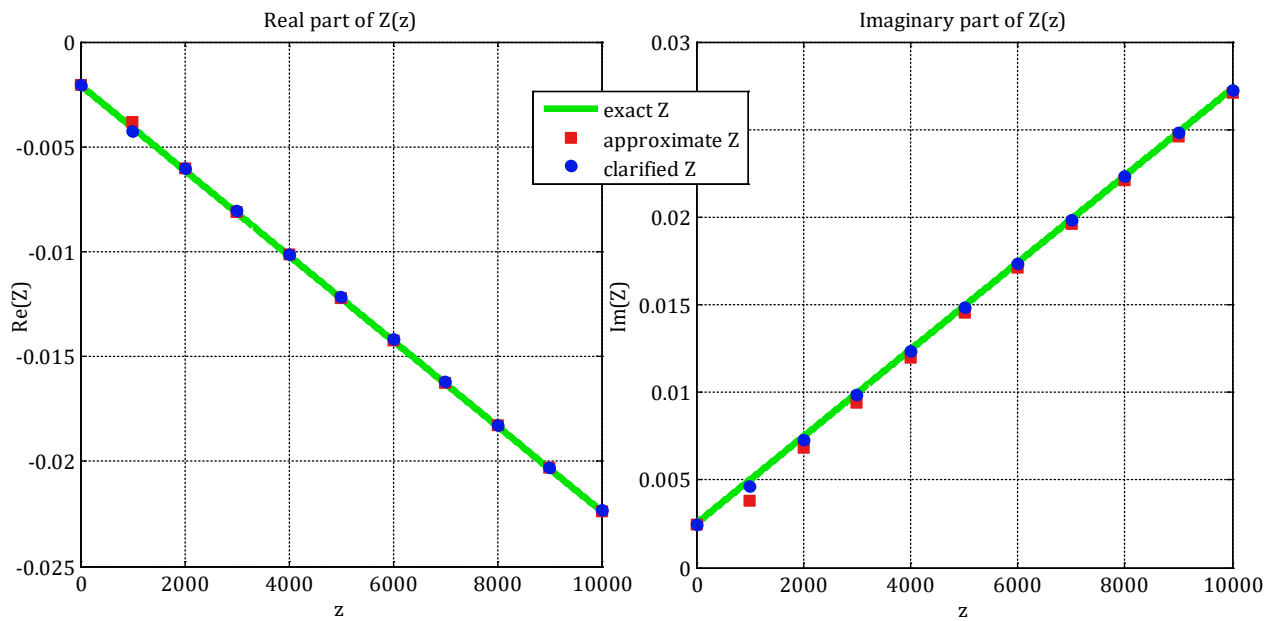


Рисунок 1 – Графики действительной и мнимой частей функции  $Z(z)$  для варианта параметров 2 из таблицы 1

Обратим внимание, что для некоторых вариантов параметров задачи, рассмотренных в таблице 1, погрешности «уточненного» приближенного решения больше, чем погрешность приближенного решения, получаемого с помощью коэффициентов основной разностной схемы. Вероятно, на это имеют влияние множители  $D\sigma_{j+1/2}$  и  $D^2\sigma_{j+1/2}$ , аппроксимирующие первую и вторую производные функции  $\sigma(z)$ .

Как один из вариантов повышения точности «уточненного» приближенного решения можно рассмотреть вариант применения квазиравномерной сетки, сгущающей узлы в области больших градиентов функции  $\sigma(z)$ . Далее рассмотрим вариант квазиравномерной равномерной сетки, не являющейся ни адаптированной под решаемую задачу, ни под свойства функции  $\sigma(z)$ , а лишь произвольно сгущающейся в левой части отрезка  $[0, z_{\max}]$ .

Для построения квазиравномерной сетки по  $z$  введем сначала дополнительную переменную  $\xi \in [0, 1]$  и определим на области допустимых значений этой дополнительной переменной равномерную (порождающую) сетку с  $J$  узлами:  $\xi_{j+1} = \xi_j + h, j = \overline{1, J-1}, h = \frac{1}{J-1}, \xi_0 = 0, \xi_J = 1$ . Далее каждому узлу  $\xi_j$  порождающей равномерной сетки поставим в соответствие узел  $z_j$  квазиравномерной сетки на  $[0, z_{\max}]$ , определяемый по формуле [7]:

$$z_j = \frac{z_{\max} (e^{c\xi_j} - 1)}{e^c - 1}, j = \overline{1, J},$$

где  $c$  – некоторая произвольная действительная постоянная;  $c > 0$  позволяет сгустить сетку к левой границе отрезка  $[0, z_{\max}]$ . Полуцелые точки квазиравномерной сетки будем определять по этой же формуле через соответствующие полуцелые точки порождающей равномерной сетки.

Рассмотрим результаты приближенного решения задачи (12), (7) на описанной выше квазиравномерной сетке для случая  $\sigma_0$  и  $p$  таких, что область больших градиентов функции  $\sigma(z)$  располагается вблизи левого конца отрезка  $[0, z_{\max}]$ , например,  $\sigma(z) = 100(1+z)^{-2}$  (соответствует вариантам 13-18 таблицы 1). Так же, для конкретности, будем использовать  $z_{\max} = 2000, \omega = 1, H_0 = 10 - 10i$ .

В таблице 2 приведены относительные погрешности приближенных решений задачи (12), (7), полученных на разных сетках по формуле (9) с применением коэффициентов из уточненной разностной схемы (6). Из таблицы видно, что применение квазиравномерных сеток позволяет повышать точность приближенных решений. Рисунки 2 и 3 иллюстрируют функцию  $\sigma(z)$  и соответствующее решение задачи (12), (7) на квазиравномерной сетке с 21 узлом при  $c=4$ .

Таблица 2 – Относительные погрешности приближенных решений задачи (12), (7), полученных по формуле (9) с применением коэффициентов из уточненной разностной схемы (6), %

Равномерная сетка	$J$	11					21			
	rel_error, %	3,8					0,5			
Квазиравномерная сетка	$J$	11					21			
	$c$	0,5	1	2	3	5	2	2,5	3	4
	rel_error, %	1,97	0,93	0,17	0,024	$8 \cdot 10^{-4}$	0,017	0,0064	0,002	$2 \cdot 10^{-4}$

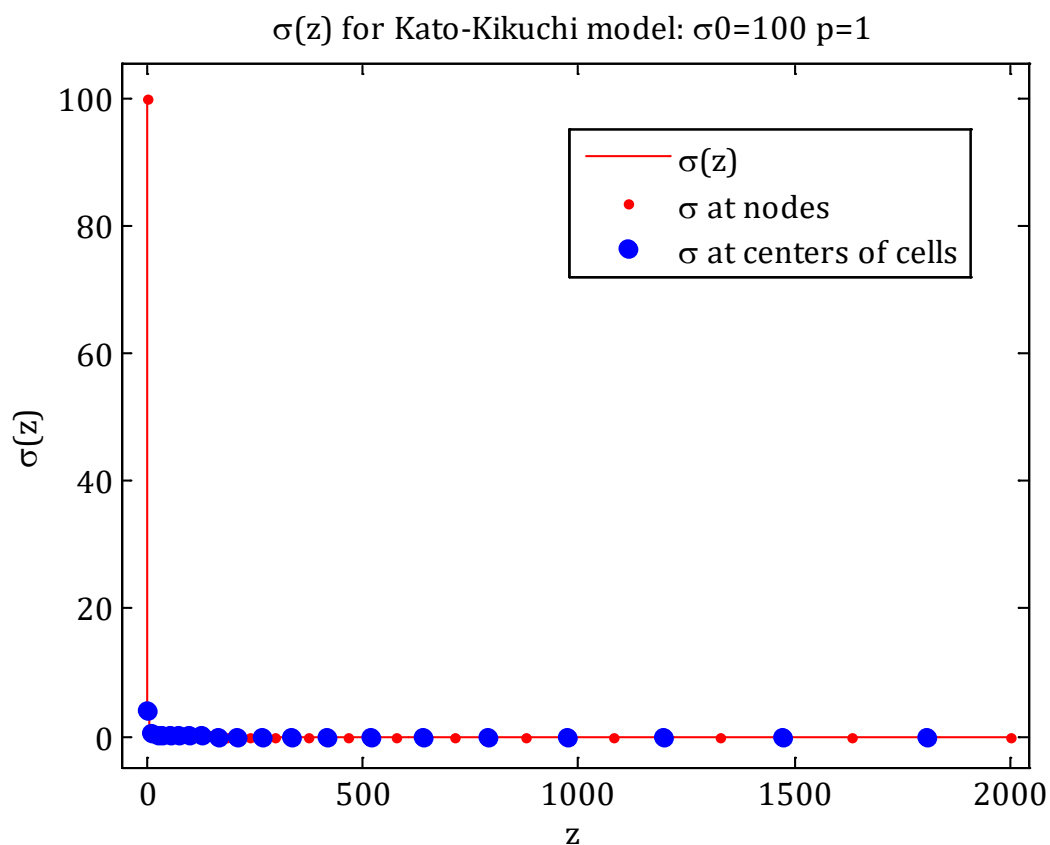


Рисунок 2 – График функции  $\sigma(z) = 100(1+z)^{-2}$ . Синими кружками отмечены значения функции в серединах ячеек квазиравномерной сетки с 21 узлом при  $c=4$

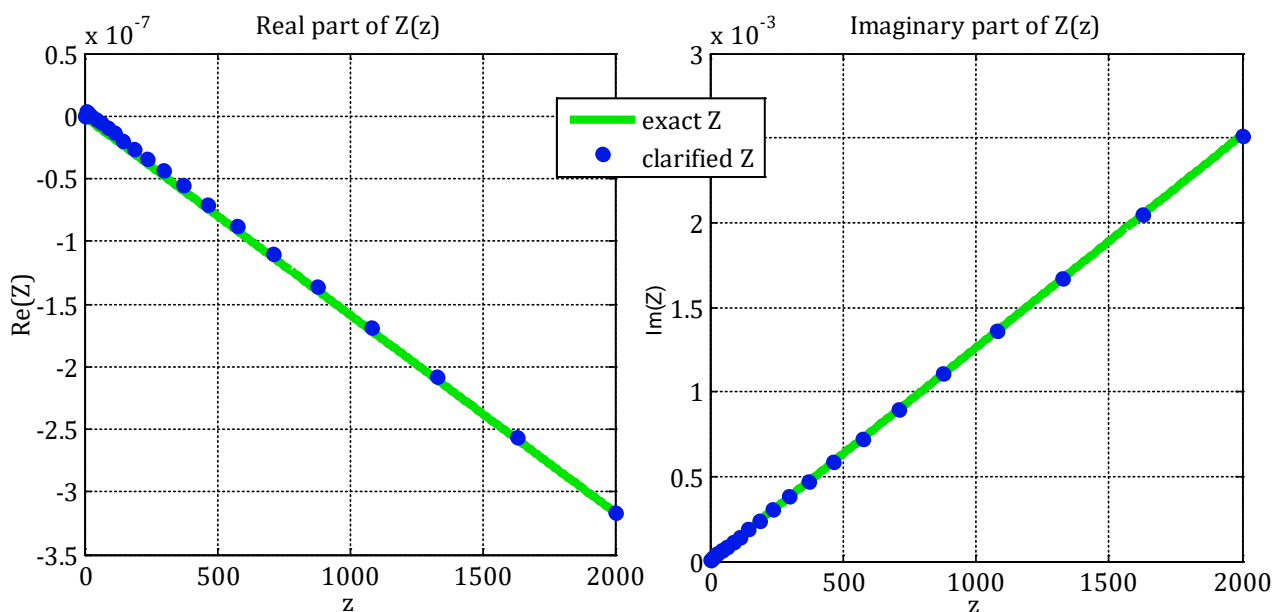


Рисунок 3 – Графики действительной и мнимой частей функции  $Z(z)$  на квазиравномерной сетке с 21 узлом при  $c=4$ . Относительная погрешность приближенного решения –  $2 \cdot 10^{-4} \%$

### Выводы

Таким образом, в данной работе рассмотрен алгоритм вычисления магнитотеллурического импеданса в вертикально градиентной среде: на основе разностных схем специального вида (полученных авторами ранее на основе метода локальных интегральных уравнений и предназначенных для приближенного решения системы уравнений (1)) определены соответствующие явные разностные соотношения для приближенного решения уравнения Риккати с переменными коэффициентами (3). Разностные схемы апробированы на одной тестовой задаче с разными вариантами сочетания параметров самой задачи и вычислительной сетки. Вопрос выбора оптимальной вычислительной сетки (построение адаптированной сетки специального вида) авторы предполагают актуальным для дальнейших исследований.

В завершение отметим, что построенные разностные соотношения могут быть применены при решении обратной одномерной задачи магнитотеллурического зондирования или при определении краевых условий для прямой двумерной задачи МТЗ.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке (тема № АААА-А19-119020190063-2).*

### Литература

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
2. Жамалетдинов А.А. Магнитотеллурический метод изучения строения массивов горных пород. Учеб. пособие. Апатиты. 2014. 103 с.
3. Жданов М.С. Электроразведка. Учеб. для вузов. М.: Недра, 1986. 316 с.
4. Юдин В.М., Юдин М.Н. Математическое моделирование в геоэлектрике. Ч. I. Слоистые модели среды. Учеб. пособие. М. 2007. 155 с.
5. Бердичевский М.Н. Электрическая разведка методом магнитотеллурического профилирования. М.: Недра, 1968. 254 с.
6. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. М.: Недра, 1992. 250 с.
7. Численные методы. Учеб. для студ. учреждений высш. проф. образования. В 2 кн. Кн. 1. Численный анализ / Калиткин Н.Н., Альшина Е.А. М.: Издат. центр «Академия». 2013. 304 с.

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СЕРИЙНЫХ ФЕРМ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПОЯСАМИ, ВЫПУСКАЕМЫХ НА ЗАВОДЕ «ТЕМИР-ТУЛПАР АЗИЯ»

Зотов В.В

*f\_adikk@mail.ru*

Завод металлических конструкций «Темир-Тулпар Азия», г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе представлено исследование механизма разрушения ферм в процессе испытаний и получены результаты по оценке несущей способности серийно выпускаемых изделий.*

*Ключевые слова: разрушение, потеря устойчивости, строительные конструкции, фермы*

При испытании ферм с параллельными поясами изготавливаемых в заводских условиях, возникает вопрос оценки их прочностных свойств. Как известно, разрушение подобных ферменных конструкций может наступить в следствии исчерпания несущей способности нижнего или верхнего пояса, или, например, потери устойчивости панелей сжатого пояса, как в плоскости, так и из плоскости фермы.

В общем случае устойчивость конструкций – это сохранение формы конструкции, исключаящее возможность таких остаточных деформаций, которые делают конструкцию непригодной для эксплуатации или приводят к ее разрушению [1].

Задачей, решаемой в работе, является попытка оценить критические факторы возникающие в процессе использования данных ферм в качестве несущих конструкций.

В качестве объекта исследования была взята ферма типа ФМ-200 длиной шесть метров, которая серийно изготавливается на заводе металлических конструкций. Ферма изготавливается из профильной квадратной трубы (ГОСТ Р 54157-2010) сечением поясов 20x20мм, и высотой 200мм [2].

Для начала была теоретически определена величина предельной внешней нагрузки, которая вызывает исчерпание несущей способности фермы. Пользуясь балочной аналогией, что для ферм с параллельными поясами вполне уместно, было найдено значение этой нагрузки [3]. Она составила 487 кг сосредоточенной силы в центре, или 162 кг/м распределенной по длине нагрузки.

Для оценки общей устойчивости фермы была составлена конечно-элементная (КЭ) стержневая модель (рис. 1) в программном комплексе Autodesk RobotSA 2018, где имеется возможность определить в каждом элементе значение критической силы, а также найти самый «опасный», «ключевой» элемент.

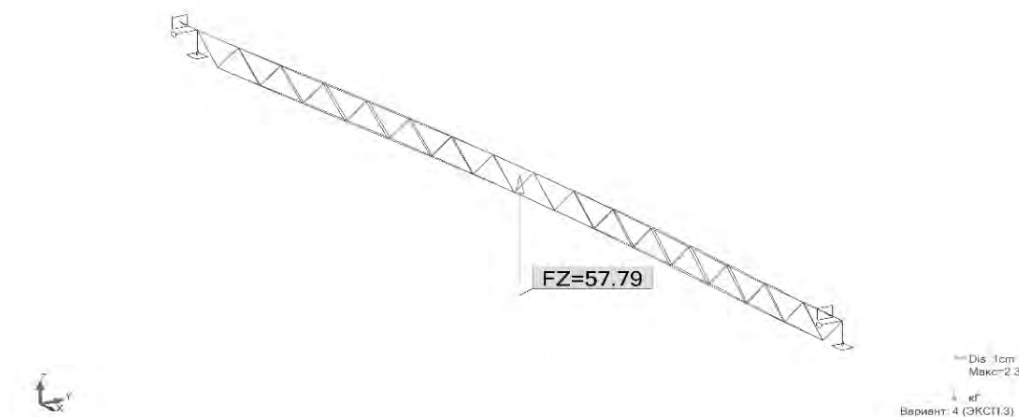


Рисунок 1 – Схема загрузки КЭ модели

В результате проведенного расчета величина критической внешней нагрузки составила лишь 57 кг. Таким образом потеря устойчивости может произойти значительно раньше не только разрушения, но и достижения предела текучести материалов поясов фермы (стали). То есть главным фактором потери несущей способности является потеря общей устойчивости фермы или ее элементов. Самой неустойчивой оказалась панель, находящаяся в центре пролета, где возникает наибольшее усилие сжатия (рис.2).



Рисунок 2 - Потеря устойчивости центральной панели

Для неё сжимающее усилие составило 478 кг. Также в результате расчета была получена и первая форма колебания конструкции, которая вполне соотносится с экспериментальным результатом (рис.3).



Рисунок 3 - Общая потеря устойчивости фермы

Таким образом для того чтобы повысить несущую способность фермы необходимо позаботиться об обеспечении устойчивости поясов и панелей, как в плоскости, так и из

плоскости. Это обычно достигается установкой системы распорок и прогонов по поясам. Что касается растянутых элементов то даже превышение предела текучести не всегда опасно для конструкции в целом. Что может вызывать лишь бóльшие прогибы

Другими словами, потеря устойчивости статической системы в большинстве случаев эквивалентна её разрушению. Наоборот, всякое разрушение конструкции можно трактовать как явление общей или местной потери устойчивости [4].

**Вывод.** Потеря устойчивости даже одного сжатого элемента фермы может привести к разрушению всей конструкции.

### Литература

1. Перельмутер А.В. Беседы о строительной механике. М.: SCAD Soft, Изд-во ассоциации строительных вузов. 2014. 250 с.
2. Паспорт изделия «Фермы металлические» (ФМ 200-6). Внутренняя документация ЗМК ТТА.
3. Михайлов А.М. Основы расчета элементов строительных конструкций в примерах. М.: Высш. шк., 1980. 304 с.
4. Пиковский А.А. Статика стержневых систем со сжатыми элементами. М.: ГИФМЛ, 1961. 394 с.

## МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УПЛОТНЯЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА КАТКА

Казаков О.Ю.

*4informatika@mail.ru*

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет,  
г. Москва, Российская Федерация

*В статье рассматривается процесс конструирования лабораторного стенда для исследования рабочих органов катка. Представлены предпосылки для создания оборудования. Описаны функции и назначение сборочных единиц и частей оборудования. Описана конструкция лабораторного стенда, взаимодействие составных элементов. Пошагово описана методика конструирования стенда. Представлена обобщающая блок схема проектирования лабораторного стенда для исследования рабочего органа катка. Оценены целесообразность и эффективность описываемого подхода к изучению процессов уплотнения. Представленный материал может быть полезен молодым учёным и исследователям, предоставляя доступный инструментарий для работы по развитию технологий уплотнения катком различных материалов. Описанная в статье методика является гибким принципом конструирования, способным изменяться в зависимости от конечной цели исследования, вида рабочего органа и принципа его действия.*

*Ключевые слова: асфальтобетон, грунт, уплотнение, строительство дорог, каток, дорожный каток, рабочий орган, стенд, лабораторный, исследование*

### Введение

Статья касается области дорожного строительства. А именно, изучения рабочего органа катка с помощью лабораторного стенда [1]. Оборудование представляет из себя неподвижное основание, жесткий короб в виде стенок. На них устанавливаются опоры неподвижной части кронштейна, к которому крепится подвижная часть. Рабочий орган (например, валец) монтируется на подвижную часть таким образом, чтобы он мог симулировать работу реального образца в условиях, приближенных к эксплуатационным. При необходимости, конструкция стенда дополняется оборудованием для электропривода рабочего органа и лебедкой для равномерного перемещения подвижной части кронштейна стенда. Уплотняемый материал помещается в ёмкость под рабочим органом на требуемую длину и ширину. Он должен быть предварительно подготовлен и равномерно распределен. В процессе исследования, происходит уплотнение материала - сближение частиц вещества и вытеснение воздуха и жидкостей [2]. Стенд является дополнительным инструментом для изучения сложных зависимостей, возникающих в ходе взаимодействия катка с материалом. Их анализ и определение необходимо для развития технологий.

### Методика

На рисунке 1 представлена блок схема методики, формулирующей последовательность конструирования и сборки лабораторного стенда для изучения уплотняющего рабочего органа катка.



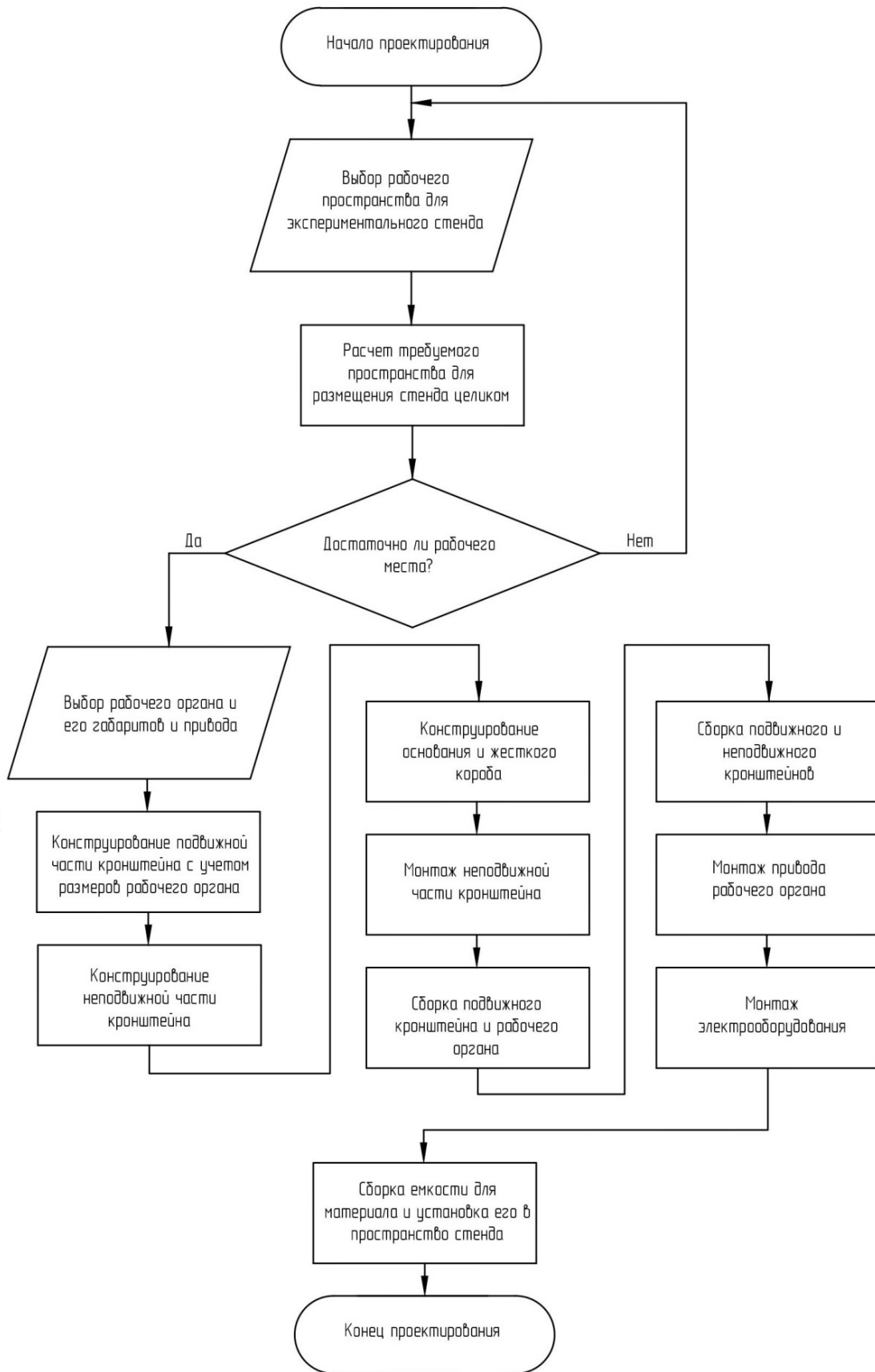


Рисунок 1 – Порядок проектирования лабораторного стенда

Под рабочим пространством станда подразумевается та площадь материала, которая может быть уплотнена рабочим органом в процессе работы на станде. Выбор рабочего пространства для станда является важным шагом в строительстве станда. Необходимость расчёта рабочего пространства нужна, чтобы убедиться в возможности использования рабочего органа в текущих условиях.

Расчет пространства станда в целом производится с учётом геометрии сборочных единиц и нужен для подбора подходящего места для размещения оборудования. При этом, необходимо учитывать, как площадь, занимаемую самим стандом, так и пространство для оператора и произведения измерений.

Выбор конкретного рабочего органа является определяющим для проектирования остальных частей станда. Эта сборочная единица является важным элементом и должна соответствовать задачам, ставящимися в процессе работы строительных и дорожных машин [3]. Его геометрия не должна изменяться на последующих шагах и должна соответствовать габаритам рабочего пространства.

Конструирование подвижной части кронштейна состоит в определении метода закрепления рабочего органа (жесткое закрепление или с некоторыми степенями свободы). Кроме того, учитывается необходимая прочность этой сборочной единицы для выдерживания динамических и статических нагрузок от работы рабочего органа.

Конструирование неподвижной части кронштейна исходит из предыдущего пункта. Габариты и сама конструкция этой части должна быть прочной, позволять свободно двигаться подвижному кронштейну с рабочим органом в требуемых направлениях. Как правило, необходима лишь одна степень свободы – вдоль уплотняемого участка материала.

Конструирование основания и жесткого короба должно соответствовать двум основным принципам – повышенная прочность для предотвращения излишних колебаний кронштейна (это может привести к погрешностям измерений) и соответствующая геометрия для возможности закрепления неподвижной части кронштейна. Критические размеры, которые необходимо выдержать на данном этапе это расстояние между опорами неподвижной части кронштейна и высота рабочего органа.

Затем происходят монтаж неподвижной части кронштейна, сборка подвижной части кронштейна и рабочего органа. Подвижная и неподвижная части кронштейна собираются вместе, проверяется корректность их взаимодействия (плавность хода, дальность вылета подвижной части, отсутствие возможности её выпадения из направляющих). Производится монтаж привода рабочего органа и электрооборудования [4]. Сборка ёмкости для материала и установка в пространство станда учитывает требуемое рабочее пространство и должно ему соответствовать.

### **Заключение**

В статье рассматривается процесс конструирования лабораторного станда для исследования рабочих органов катка. Представлены предпосылки для создания оборудования. Описаны функции и назначение сборочных единиц и частей оборудования. Представлена конструкция лабораторного станда, взаимодействие составных элементов. Описана методика конструирования станда. Изложена обобщающая блок-схема проектирования лабораторного станда для исследования рабочего органа катка. Оценены целесообразность и эффективность описываемого подхода к изучению процессов уплотнения.

### **Выводы**

Таким образом, представленный материал полезен студентам, аспирантам и специалистам в отрасли дорожного строительства и исследователям, предоставляя доступный инструментальный материал для работы по развитию технологий уплотнения катком различных материалов.

Описанная в статье методика является гибким принципов конструирования, способным изменяться в зависимости от конечной цели исследования, вида рабочего органа и принципа его действия. При создании методики, учитывался имеющийся опыт конструирования механизмов [5].

### Литература

1. Казаков О.Ю. Экспериментальный стенд и методика для исследования рабочего органа катка // Вестник СибАДИ. 2019. Т. 16. № 4. С. 408-415.
2. Дьяков И.Ф. Строительные и дорожные машины и основы автоматизации. Учеб. пособие. Ульяновск: УлГТУ. 2007. 516 с.
3. Строительные и дорожные машины. Лабораторный практикум для студентов спец. 290300, 291000, 291100 / Воскресенский Г.Г., Декина Г.И., Ключев В.А. и др.; Под общ. ред. А.В. Лещинского. Хабаровск: Изд-во Хабаровского гос. техн. ун-та. 2003. 88 с.
4. Костин В.Н. Монтаж и эксплуатация оборудования систем электроснабжения. Учеб. пособие. СПб.: СЗТУ. 2004. 184 с.
5. Губин Л.Б., Нестеренко Т.Г., Плотников И.А. Основы конструирования механизмов приборных систем. Учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та. 2013. 344 с.

## ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Кененбаев Э.

*Elaman0527@gmail.com*

Институт математики Национальной академии наук Кыргызской Республики,  
г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В статье рассматривается моделирование с помощью дифференциальных уравнений. Их решения строятся на основе функциональных соотношений, связывающих между собой значения решения уравнения в различных точках (бесконечное или конечное множество значений). В качестве примеров приведены четные, нечетные и периодические решения, соотношение Валле-Пуссена, интерполяционный многочлен Лагранжа и интерполяционный многочлен Эрмита, сплайн-функции для обыкновенных дифференциальных уравнений, тождество Асгейрссона и его обобщения для дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа, «среднее значение» для уравнений эллиптического типа. Соответственно, если уравнение близко в некотором смысле к одному из рассмотренных типов, то соотношение должно выполняться приближенно. Найдены такие оценки для некоторых примеров. Показано использование таких соотношений для исследования некоторых задач интерполяции и экстраполяции.*

*Ключевые слова: функциональное соотношение, моделирование, дифференциальное уравнение, интерполяция, экстраполяция.*

### Введение

Для моделирования с помощью дифференциальных уравнений в статье предлагается использовать тот факт, что решения некоторых таких уравнений имеют функциональные соотношения, связывающие между собой их значения в различных точках (бесконечное или конечное множество значений). По заданным значениям решений в отдельных точках можно найти их значения в других точках.

Ранее были найдены такие отдельные функциональные соотношения, но не был проведен их систематический обзор, что необходимо для создания общей теории. Некоторые элементы такой теории были предложены в работах [1–4]. Также функциональные соотношения не использовались для приближенных вычислений, что предлагается в данной статье.

В качестве примеров в первом разделе статьи приведены решения, являющиеся четными, нечетными и периодическими функциями, соотношение Валле-Пуссена для многоточечной задачи, интерполяционный многочлен Лагранжа и интерполяционный многочлен Эрмита, сплайн-функции для обыкновенных дифференциальных уравнений.

Во втором разделе статьи - тождество Асгейрссона и его обобщения для дифференциальных уравнений в частных производных гиперболического типа, «среднее значение» для уравнений эллиптического типа.

Соответственно, если уравнение близко в некотором смысле к одному из рассмотренных типов, то вместо уравнения возникает дифференциальное неравенство. Соответствующее соотношение должно выполняться приближенно. Найдены такие оценки для некоторых примеров. Показано использование таких соотношений для исследования некоторых задач интерполяции и экстраполяции.

### 1. Обыкновенные дифференциальные уравнения и неравенства

Ниже  $\varepsilon$  - малый положительный параметр,  $\zeta$  - малая по модулю функция,  $|\zeta(x)| < \varepsilon$ .

Начнем с простого примера, чтобы продемонстрировать метод.

1.1. Уравнение первого порядка с известной правой частью и нулевым начальным условием

$$y'(x)=a, y(0)=0, a \neq 0.$$

Значения линейной функции от одной скалярной переменной в двух ненулевых точках должны быть согласованы (будем записывать все соотношения с нулевой правой частью):

$$y(x[1])x[2] - y(x[2])x[1] = 0. \quad (1)$$

Если правая часть известна неточно, то получаем дифференциальное неравенство

$$|y'(x) - a| < \varepsilon, y(0) = 0,$$

или

$$y'(x) = a + \zeta(x), y(0) = 0.$$

$$\begin{aligned} \text{Отсюда } y(x) &= ax + \int_0^x \zeta(s) ds, |y(x[1])x[2] - y(x[2])x[1]| = \\ &= \left| \left( ax[1] + \int_0^{x[1]} \zeta(s) ds \right) x[2] - \left( ax[2] + \int_0^{x[2]} \zeta(s) ds \right) x[1] \right| = \\ &= \left| \int_0^{x[1]} \zeta(s) ds x[2] - \int_0^{x[1]} \zeta(s) ds x[1] + \int_0^{x[1]} \zeta(s) ds x[1] - \int_0^{x[2]} \zeta(s) ds x[1] \right| \leq \\ &\leq \varepsilon |x[1]| \cdot |x[2] - x[1]| + \varepsilon |x[1]| \cdot |x[2] - x[1]| \leq 2\varepsilon |x[1]| \cdot |x[2] - x[1]|. \end{aligned}$$

Таким образом, из выражения вида (1) можно приближенно найти  $y[2]$ , если известны другие члены, и оценить погрешность.

1.2. Уравнение первого порядка с известной правой частью и любым начальным условием

$$y'(x)=a, y(0)=y_0, a \neq 0.$$

Значения решения от одной скалярной переменной в трех точках должны быть согласованы:

$$(y(x[1]) - y(x[3]))(x[1] - x[2]) - (y(x[1]) - y(x[2]))(x[1] - x[3]) = 0. \quad (2)$$

Из уравнения  $y'(x) = a + \zeta(x)$  получаем для выражения в левой части (2):

$$\begin{aligned} &|(y(x[1]) - y(x[3]))(x[1] - x[2]) - (y(x[2]) - y(x[3]))(x[2] - x[3])| = \\ &\left| \left( a(x[3] - x[1]) + \int_{x[1]}^{x[3]} \zeta(s) ds \right) (x[2] - x[1]) - \left( a(x[2] - x[1]) + \int_{x[1]}^{x[2]} \zeta(s) ds \right) (x[3] - x[1]) \right| = \\ &= \left| \int_{x[1]}^{x[3]} \zeta(s) ds (x[2] - x[1]) - \int_{x[1]}^{x[2]} \zeta(s) ds (x[3] - x[1]) \right| \leq 2\varepsilon |x[3] - x[2]| \cdot |x[2] - x[1]|. \end{aligned}$$

Для примера положим  $x[k] = k$ ,  $k = 1, 2, 3$ . Тогда получаем:

$$y[1] - y[3] - 2(y[1] - y[2]) = 2\varepsilon\theta, |\theta| \leq 1,$$

погрешность в определении  $y[2]$  по заданным  $y[1], y[3]$  (интерполяция) вдвое меньше, чем погрешность в определении  $y[3]$  по заданным  $y[1], y[2]$  (экстраполяция).

1.3. Дифференциальное уравнение  $k$ -го порядка  $y^{(k)}(x) = 0$ . Ему удовлетворяет многочлен степени  $(k-1)$ . Значения такой функции-многочлена от одной скалярной переменной в  $(k+1)$  точках должны быть согласованы.

Пусть имеются числа  $x[1], x[2], \dots, x[k+1]$  и числа  $y[1], y[2], \dots, y[k+1]$ .

Построим по значениям  $x[1], x[2], \dots, x[k]$  и  $y[1], y[2], \dots, y[k]$  интерполяционный многочлен Лагранжа  $L(x)$   $(k-1)$ -порядка, должно быть  $L(x[k+1]) = y[k+1]$ .

Если точки  $x[1], x[2], \dots, x[k]$  образуют арифметическую прогрессию, то такое согласование записывается в явном виде:

$$\sum_{j=1}^{k+1} C_{k+1}^{j-1} (-1)^j y(x[j]) = 0. \quad (3)$$

Например, для  $k=3$  выражение (3) принимает вид:

$$f(x[1]) - 3f(x[2]) + 3f(x[3]) - f(x[4]) = 0.$$

Если еще заданы значения производных в некоторых точках, то применяем интерполяционный многочлен Эрмита: для заданных чисел  $x[j], y[j, k], j = 1..m, k = 0..p[j] - 1$ , существует единственное решение уравнения  $y^{(n)}(x) = 0$  – многочлен степени  $n = \sum_{j=1}^m p[j] + 1$ , удовлетворяющий условиям на значения, включая производные

$$P^{(k)}[n](x[j]) = y[j, k], j = 1..m, k = 0..n[j] - 1.$$

1.4. Для четной функции имеем уравнение  $y'(x) = f(x)$ ,  $y(0) = 0$ , где  $f(x)$  – нечетная функция, и соответственно неравенство  $|y'(x) - f(x)| < \varepsilon$ ,  $y(0) = 0$ .

Для двух симметрично относительно нуля расположенных точек  $x[2] = -x[1] < 0$  должно быть

$$|x[2] - x[1]| = \left| \int_0^{x[1]} (f(s) + \zeta(s)) ds - \int_0^{-x[1]} (f(s) + \zeta(s)) ds \right| \leq 2\varepsilon x[1]. \quad (4)$$

1.5. Для нечетной функции получается оценка, аналогичная (4).

1.6. Первый результат о связи между значениями решения линейного обыкновенного дифференциального уравнения в различных точках получил С. J. Dela Vallée Poussin (см. например [5]): уравнение

$$y^{(n)}(x) + p_1(x) y^{(n-1)}(x) + \dots + p_n(x) y(x) = 0, \quad a \leq x \leq b, p_k(x) \in C[a, b],$$

с условиями  $y(x[i]) = c[i], i = 1, \dots, n$  имеет единственное решение при ограничении на нормы функций-коэффициентов

$$\|p_1\|_{[a,b]}(b-a) + \|p_2\|_{[a,b]}(b-a)^2/2! + \dots + \|p_n\|_{[a,b]}(b-a)^n/n! < 1.$$

1.7. Решения уравнения  $y'(x) = p(x)y(x)$ , где  $p(x)$  –  $\omega$ -периодическая функция скалярной переменной, причем интеграл по отрезку длины периода от этой функции равен нулю:

$$"x[1] - x[2] = k\omega" \Rightarrow "y(x[1]) = y(x[2])", \text{ где } k - \text{целое число.}$$

## 2. Дифференциальные уравнения в частных производных

Во многих работах рассматривалась классификация дифференциальных уравнений в частных производных. Для дифференциальных уравнений в частных производных второго порядка с двумя переменными есть стандартная классификация – гиперболические, параболические, эллиптические (см. например [6]).

Примечание: мы пока не будем рассматривать уравнения, имеющие различный тип в разных областях.

Вряде работ [7–13] рассмотрена классификация уравнений более высокого порядка или с большим числом независимых переменных. В этих работах уравнения классифицируются по их записи, в особенности по записи старших производных. Вместе с тем, в [3–4] построены примеры, показывающие, что такая классификация недостаточна. Поэтому рассмотрим примеры классификации по функциональным соотношениям.

Будем использовать обозначения:

$$x := (x_1, x_2, \dots, x_m) \in R^m, \Delta_x := \sum_{i=1}^m \frac{\partial^2}{\partial x_i^2}.$$

2.1. Уравнение Лапласа  $\Delta_x u(x) = 0$ . Как известно, при  $m=2$  решения – гармонические функции двух переменных удовлетворяют соотношению: среднее значение функции на любом круге (бесконечное количество точек) равно значению функции в центре круга.

Вместе с тем, в любом конечном наборе точек гармоническая функция может принимать любые значения. Пусть  $m=2$ , имеются точки  $x[1], x[2], \dots, x[k]$  и числа  $u[1], u[2], \dots, u[k]$ .

Построим по этим значениям интерполяционный многочлен Лагранжа  $L(x)$ , как функцию комплексного переменного:  $L(x[j]) = u[j], j = 1, \dots, k$ , и определим гармоническую

функцию  $U(x) = \operatorname{Re} L(x)$ . Тогда  $U(x[j]) = \operatorname{Re} L(x[j]) = \operatorname{Re} u[j] = u[j]$ ,  $j=1, \dots, k$ . Таким образом, любые значения гармонической функции в конечном количестве точек между собой не связаны.

2.2. Решение гиперболического уравнения  $\frac{\partial^2}{\partial x_1 \partial x_2} u(x_1, x_2) = 0$  – функция двух скалярных переменных – сумма функций от одной переменной каждая – удовлетворяет тождеству Асгейрссона для четырех точек: если  $w_1, w_2, v_1, v_2$  – любые числа, то

$$u(w_1, v_1) + u(w_2, v_2) - u(w_1, v_2) - u(w_2, v_1) = 0. \quad (5)$$

2.3. Решение гиперболического уравнения  $\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} u(x_1, x_2) = \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} u(x_1, x_2)$  – удовлетворяет аналогичному тождеству Асгейрссона для четырех точек, которые образуют прямоугольник, получающийся поворотом на  $45^\circ$  прямоугольника в равенстве (5).

2.4. Решение гиперболического уравнения  $\frac{\partial^m}{\partial x_1 \partial x_2 \dots \partial x_m} u(x_1, x_2, \dots, x_m) = 0$  – функция  $m$  скалярных переменных – имеет решение в виде суммы функций от меньшего числа переменных каждая –

$$u(x) = g_1(x_2, \dots, x_m) + \dots + g_q(x_1, \dots, x_{q-1}, x_{q+1}, \dots, x_m) + \dots + g_m(x_1, \dots, x_{m-1}),$$

удовлетворяет обобщенному тождеству Асгейрссона для  $2^m$  точек [2].

Например, для  $m=3$ : пусть  $v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6$  – любые числа, тогда имеет место тождество

$$y(v_1, v_2, v_3) - y(v_1, v_2, v_6) - y(v_1, v_5, v_3) + y(v_1, v_5, v_6) - \\ - y(v_4, v_2, v_3) + y(v_4, v_2, v_6) + y(v_4, v_5, v_3) - y(v_4, v_5, v_6) = 0.$$

2.5. Решение гиперболического уравнения для двух пространственных переменных  $\frac{\partial^2}{\partial x_1^2} u(x_1, x_2, x_3) = \frac{\partial^2}{\partial x_2^2} u(x_1, x_2, x_3) + \frac{\partial^2}{\partial x_3^2} u(x_1, x_2, x_3)$  – в отличие от п. 2.3, не имеет функциональных соотношений для конечного количества точек.

### Заключение

Из произведенного обзора следует, что более естественно классифицировать дифференциальные уравнения по их функциональным соотношениям. Тем более, известно, что уравнения одного типа, например, дифференциальные, могут быть преобразованы, например, в интегральные, с сохранением свойств решений. Это также соответствует предложенной в работах [14–16] концепции об эквивалентности уравнений, даже если они принадлежат к различным типам, если их решения взаимно однозначно преобразуются. Также, предлагается исследовать, по каким множествам начальных значений имеют решение и корректны задачи для дифференциальных уравнений, и как можно использовать соответствующие дифференциальные неравенства.

### Литература

1. Панков П.С., Матиева Г.М., Сабирова Х.С. Аксиоматическая теория характеристик и ее применение к аналитическим функциям // Исследования по интегро-дифференциальным уравнениям. Вып. 33. Бишкек: Илим. 2004. С. 37-42.
2. Панков П.С., Сабирова Х.С. Составление функционально-характеристических уравнений с аналитическими функциями // Вестник Казахского национального технического университета им. Сатпаева. 2006. № 5. С. 135-141.
3. Сабирова Х.С. Влияние младших членов дифференциальных уравнений с частными производными на их характеристичность // Исследования по интегро-дифференциальным уравнениям. Вып. 38. Бишкек: Илим. 2008. С. 107-111.
4. Сабирова Х.С. Различие в характеристических свойствах волновых уравнений с различным количеством переменных // Вестник Международного университета Кыргызстана. 2011. № 1(20). С. 58-61.
5. Бессмертных Г.А. О существовании и единственности решений многоточечной задачи Валле–Пуассона для нелинейных дифференциальных уравнений // Дифференциальные уравнения. 1970. Т. 6. № 2. С. 298–310.

6. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. 4-е изд. М.: Наука, 1972. 288 с. - Гл. I. Классификация дифференциальных уравнений с частными производными 2-го порядка. С. 11-22.
7. Бицадзе А.В. Уравнения смешанного типа. М.: Изд-во Академии наук СССР, 1959. 164 с.
8. Благовещенский А.С. О характеристической задаче для ультрагиперболического уравнения // Математический сборник. 1964. 63(105):1. С. 137–168.
9. Векуа И.Н. Дифференциальное уравнение с частными производными; методы комплексного переменного // Математическая энциклопедия. Т. 2. М.: Сов. энцикл., 1979. С. 311-318.
10. Джураев Т.Д. Краевые задачи для уравнений смешанного и смешанно-составного типов. Ташкент: Фан, 1979. 240 с.
11. Джураев Т.Д., Попелек Я. О классификации и приведении к каноническому виду уравнений с частными производными третьего порядка // Дифференциальные уравнения. 1991. Т. 27. № 10. С. 1734-1745.
12. Джураев Т.Д., Сопуев А. К теории дифференциальных уравнений в частных производных четвертого порядка. Ташкент: Фан. 2000. 144 с.
13. Джураев Т.Д., Сопуев А., Мамажанов М. Краевые задачи для уравнений парабола-гиперболического типа. Ташкент: Фан, 1986. 220 с.
14. Кененбаева Г. Эффект аналитичности для дифференциальных и интегральных уравнений. Saarbrücken, Deutschland: LAP LambertAcademicPublishing. 2015. 72 с.
15. Кененбаева Г.М., Аскар кызы Л. Элементы категории корректных уравнений // Вестник Института математики НАН КР. 2019. № 1. С. 69-74.
16. Кененбаева Г.М., Аскар кызы Л., Бейшебаева Ж.К., Маматжануулу Э. Элементы категории уравнений // Вестник Института математики НАН КР. 2018. № 1. С. 88-95.



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЁСТКОСТИ СЕРИЙНОЙ ФЕРМЫ ЗАВОДА «ТЕМИР-ТУЛПАР АЗИЯ»

Кобцев И.С.

*pinochet192@mail.ru*

Завод металлических конструкций «Темир-Тулпар Азия», г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В статье представлено описание соответствия паспортных данных по фермам с параллельными поясами, серийно-выпускаемым на ЗМК «Темир-Тулпар Азия», экспериментальным, включая вывод коэффициента жёсткости фермы к.*

*Ключевые слова: ферма, паспорт, вертикальный прогиб, коэффициент жёсткости, сосредоточенная сила*

Фермы с параллельными поясами, выпускаемые на ЗМК «Темир-Тулпар Азия», обладают на местном рынке своего рода уникальностью, которая заключается в их лёгкости достигнутой малыми толщинами замкнутого профиля, используемого в качестве материала для изготовления, и при этом достаточно высокой прочности. Широкое внедрение таких конструкций и уточнение их истинных прочностных характеристик для сравнения с приведёнными в паспортах [1] требует экспериментальной проверки.

Экспериментальная проверка, описанная в данной статье, представляет собой стендовые испытания с целью исследования жёсткости под действием внешних нагрузок. В качестве объекта исследования выбрана ферма с параллельными поясами марки ФМ 200(6)1,5: аббревиатура ФМ означает «ферма металлическая», 200 – высота фермы по поясам в миллиметрах, 6 – габаритная длина в метрах, 1,5 – толщина профиля верхнего и нижнего поясов в миллиметрах. Данная ферма предназначена для массового потребления и серийно изготавливается на заводе «Темир-Тулпар Азия», на роботизированном сварочном комплексе, собранном силами тружеников предприятия.

В ходе подготовительных работ исследуемый образец закрепили в испытательном стенде, сконструированном специально для экспериментальных исследований, без использования сварки для наиболее успешной имитации шарнирной схемы закрепления [2]. Чтобы стабилизировать нижний пояс фермы, по которому она была закреплена в стенде, от преждевременной потери устойчивости вследствие возникновения в нём сжимающих усилий, были использованы разработанные и смонтированные в испытательном стенде по опорам и в середине пролёта специальные прижимные механизмы. Прижатие ФМ 200(6)1,5 прижимными механизмами было осуществлено плотно без зазора. В качестве средства силовозбуждения было подготовлено подвесное грузоподъёмное устройство ( $\Gamma/\Pi=3$  т) с прикреплёнными к нему подвесными весами (погрешность измерений в 2 кгс), регистрирующими величину прикладываемой нагрузки. Передачу сосредоточенной силы решили произвести через текстильную петлевую стропу ( $\Gamma/\Pi=2$  т), проходящую через узел схождения раскосов обрешётки фермы, расположенный в середине её пролёта.

Согласно разработанной методике проведения испытаний образец, закреплённый в стенде, нагружали поэтапно до принятого предела равного 332 кгс, наращивая нагрузку в среднем на 50 кгс после каждого снятия перемещения центрального узла с последующим его занесением в ведомость испытаний (рис.1). Во время приложения нагрузки был замечен незначительный изгиб фермы в продольном направлении по траектории, напоминающей синусоидальную кривую [3]. После разгрузки испытанная конструкция вернулась в первоначальное положение.



Рисунок 1 – Стендовое испытание 1-ФМ 200(5)1,5; 2-Подвесное грузоподъёмное устройство; 3-Подвесные весы; 4-Строп текстильный; 5-Линейка

По экспериментальным данным, взятым из ведомости испытаний, были определены действующие сосредоточенные силы  $F$ , вертикальные прогибы и значения коэффициента жёсткости. Коэффициент жёсткости рассчитан по формуле (1)

$$k = \frac{F}{f}. \quad (1)$$

Все полученные данные занесены в таблицу 1.

Наряду с результатами, полученными в ходе проведённого испытания, по значениям сосредоточенных сил  $F$  были определены расчётные значения вертикального прогиба и

коэффициента жёсткости фермы . Расчёт произведён по примеру определения прогиба поясов фермы методом вырезания узлов [4], а вычисления произведены в программном комплексе Mathcad Prime 3.1. Все расчётные результаты включены в таблицу 1.

Через сравнение экспериментальных результатов с расчётными выявлено наименьшее отклонение в меньшую сторону равное 4%, которое получено от экспериментального коэффициента жёсткости фермы равного, именно это значение коэффициента и было принято для использования в расчётах.

Таблица 1 – Коэффициент жёсткости фермы, определённый экспериментальным и расчётным

Внешняя сила , кгс	Экспериментальные результаты		Расчётные результаты	
	Вертикальный прогиб ,	Коэффициент жёсткости , кгс/см	Вертикальный прогиб ,	Коэффициент жёсткости , кгс/см
185	1,2	154	1,9	98
248	2,1	118	2,5	
286	3,1	92	2,9	
320	3,4	94	3,3	

способами

#### Выводы.

1. ФМ 200(6)1,5 показала себя прочной и устойчивой под воздействием на неё паспортной нагрузки.
2. Остаточные деформации в конструкции не обнаружены
3. Коэффициент жёсткости ФМ 200(6) 1,5  $k = 94 \frac{\text{кгс}}{\text{см}}$  допускается использовать в расчётах

#### Литература

1. Паспорт изделия «Фермы металлические» (ФМ 200-6). Внутренняя документация ЗМК ТТА.
2. Кузнецов В.В. Металлические конструкции. В 3 т. Т. 3. М.: изд-во АСВ. 1999. 528 с.
3. Дибир А.Г., Макаров О.В., Пекельный Н.И. Устойчивость продольно сжатых стержней. Учеб. пособие. Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т». 2008. 43 с.
4. Яровая А.В. Строительная механика. Статика стержневых систем. Учеб. пособие. Гомель: БелГУТ. 2013. 447 с.

## ОБ ОДНОМ ИЗ КРИТЕРИЕВ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД

Кулагина М.А.

*kulagina\_m.a@mail.ru*

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Рассмотрены два этапа построения огибающей предельных кругов напряжений Мора. Первый этап – отображение огибающей, начиная от одноосного растяжения до одноосного сжатия. Второй этап – построение огибающей, начиная от одноосного сжатия и включая различные состояния трехосного сжатия. Для этого применена известная зависимость между максимальным и минимальными главными напряжениями, представляющая собой гиперболу в главных осях тензора напряжений. Предлагаемая методика апробирована при описании экспериментальных данных А.Н. Ставрогина, К. Моги и Т. Кармана. Для определения материальных констант в предлагаемой зависимости в качестве исходных пределов прочности могут служить либо предел прочности при одноосном сжатии и при каком-либо состоянии трехосного сжатия, либо только предел прочности одноосного сжатия и соответствующий угол среза при этом испытании.*

*Ключевые слова: круги напряжений Мора, предел прочности, угол среза, огибающая предельных кругов напряжений.*

### Основные соотношения

Огибающая предельных кругов напряжений Мора (в координатах нормальное напряжение  $\sigma$  – касательное напряжение  $\tau$ ) принимается в качестве паспорта прочности для горных пород. Для построения этих предельных кругов используются результаты испытаний стандартных цилиндрических образцов на установках по схеме Кармана, когда между осевым напряжением сжатия  $\sigma_1$  и главными напряжениями  $\sigma_2$  и  $\sigma_3$  от равномерного бокового давления выполняется соотношение:  $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$ . При этом сжимающие напряжения считаются положительными.

Согласно ГОСТ 21153.8-88 необходимо произвести испытания не менее чем при трех видах напряженного состояния, который характеризуется параметром  $c = \sigma_3/\sigma_1$ . Такие испытания очень трудоемки, поэтому разрабатываются различные методы расчета [1], по которым можно оценить степень опасности напряженного состояния по постулируемым зависимостям между главными напряжениями  $(\sigma_1, \sigma_3)$ , т.е. предсказать прочностные свойства материалов в момент разрушения. Предлагаемые зависимости  $\sigma_1(\sigma_3)$ , как правило, являются эмпирическими [2, 3, 4].

Т.Б. Дуйшеналиев и К.Т. Койчуманов [5] показали, что в пространстве главных напряжений  $(\sigma_1, \sigma_3)$  уравнение круга Мора представляет собой гиперболу. Используя стандартное определение гиперболы, они получили зависимость  $\sigma_3(\sigma_1)$ , которую можно представить в виде [6]:

$$\sigma_3 = A + \sqrt{\sigma_1^2 + B^2}, \quad (A, B - \text{const}) \quad (1)$$

В соответствии с критерием (1) на основании известной теоремы о существовании огибающей к семейству кругов в случае трехосного сжатия координатами огибающей будут:

$$\sigma = \frac{\sigma_1(\sigma_1 + 2c(\sigma_1)'_c)}{\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)'_c}, \quad \tau = \frac{(1-c)\sigma_1\sqrt{(\sigma_1 + c(\sigma_1)'_c)(\sigma_1)'_c}}{\sigma_1 + (1+c)(\sigma_1)'_c}, \quad (2)$$

где

$$(\sigma_1)'_c = \frac{c[2A^2 - (1-c^2)B^2] - A(1+c^2)\sqrt{A^2 - (1-c^2)B^2}}{(1-c^2)^2\sqrt{A^2 - (1-c^2)B^2}} \quad (3)$$

Зависимость (1) можно использовать для определения параметров  $A$  и  $B$  для конкретной горной породы по экспериментальным значениям пределов прочности при каких-либо двух видах осуществленного в опыте напряженного состояния, которые выбираются в качестве «опорных точек». Целесообразно выбрать предел прочности на одноосное сжатие ( $\sigma_c$ ) и предел прочности при предельном значении параметра  $c_*$ , осуществленного в эксперименте, т.е.  $\sigma_1(c_*) = \sigma_{1*}$ . В результате имеем:

$$A = \frac{(c_*^2 - 1)\sigma_{1*}^2 + \sigma_c^2}{2c_*\sigma_{1*}} \quad (4)$$

$$B = \sqrt{A^2 - \sigma_c^2} \quad (5)$$

В этом заключается первый метод определения констант  $A$  и  $B$ . В этом случае расчетное значение осевого предела прочности  $\sigma_1$  выражается формулой:

$$\sigma_1 = \frac{-Ac + \sqrt{A^2 - (1-c^2)B^2}}{1-c^2} \quad (6)$$

Соотношения (2)–(6) использованы для построения огибающей при одноосном и неравномерном трехосном сжатии.

Для построения огибающей от одноосного растяжения до одноосного сжатия вместо формул (2) и (3) следует использовать следующие зависимости:

$$\sigma = \frac{\sigma_3 + \sigma_1\sigma'_3}{1 + \sigma'_3}, \quad \tau = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{1 + \sigma'_3} \sqrt{\sigma'_3}, \quad (\sigma'_3 = \frac{\partial \sigma_3}{\partial \sigma_1}). \quad (7)$$

$$\sigma'_3 = \frac{\sigma_1}{\sqrt{\sigma_1^2 + B^2}} \quad (8)$$

В соответствии с построением кругов Мора и огибающей к ним, отношение координат огибающей (нормального напряжения  $\sigma_{env}$  к касательному напряжению  $\tau_{env}$ ) в точке касания круга на одноосное сжатие можно представить в виде:

$$\left. \frac{\sigma_{env}}{\tau_{env}} \right|_{c=0} = \frac{1 - \cos 2\alpha_0}{\sin 2\alpha_0} = p, \quad (9)$$

где  $\alpha_0$  – угол среза при одноосном сжатии, отсчитываемый от соответствующего главного напряжения.

Сдругой стороны, из (7) имеем

$$p = \sqrt{\sigma'_3} \quad (10)$$

Из формул (1), (8) и (10) получим:

$$A = -\frac{\sigma_c}{p^2} \quad (11)$$

Эту формулу (11) можно использовать для определения параметра  $A$ , если известны предел прочности и угол среза при одноосном сжатии. Если же известны пределы прочности и при одноосном сжатии, и при одноосном растяжении ( $\sigma_t$ ), то, используя формулу (1) для этих двух случаев напряженного состояния, получим

$$A = \frac{\sigma_c^2 + \sigma_t^2}{2\sigma_t}, \quad (\sigma_t < 0) \quad (12)$$

При этом параметр  $B$  по-прежнему будет определяться формулой (5).

### Построение огибающей

В качестве примера представим диаграмму Мора для талькохлорита [3] и огибающую к соответствующим предельным кругам напряжений. На основании приведенных выше соотношений удобно представить отдельно огибающую (рисунок 1) в диапазоне напряжений от одноосного напряжения до одноосного сжатия (первый этап построения огибающей), затем (второй этап) – в диапазоне от одноосного сжатия до различных значений трехосного неравномерного сжатия (рисунок 2).

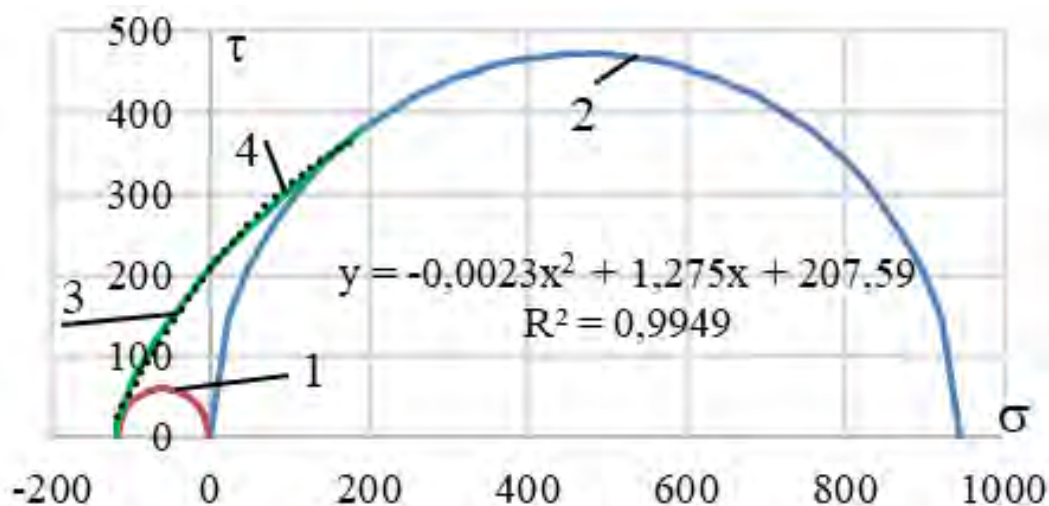


Рисунок 1 – Талькохлорит. 1 – полукруг на растяжение, 2 – полукруг на сжатие, 3 – расчетная огибающая к кругам 1 и 2, 4 – аппроксимация огибающей линией тренда

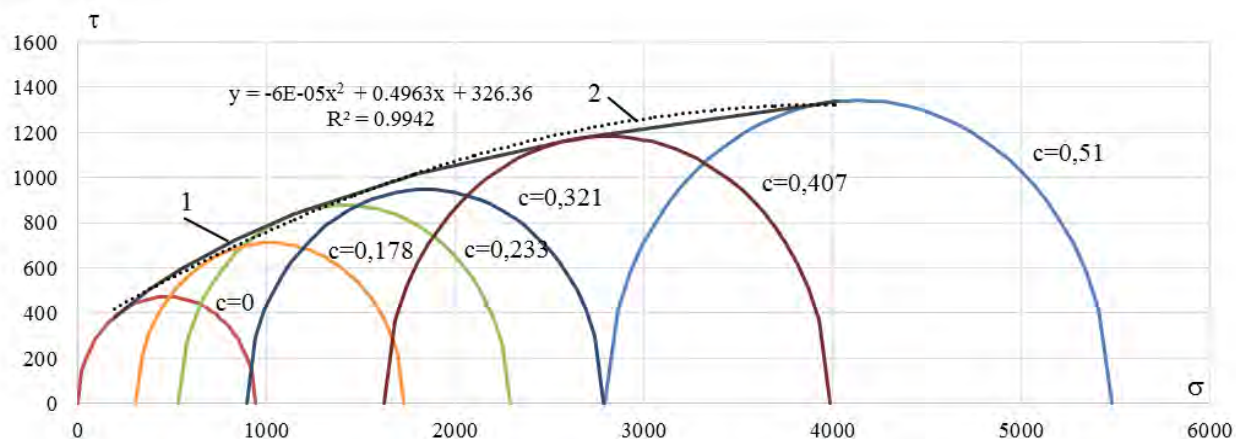


Рисунок 2 – Талькохлорит. 1 – расчетная огибающая, 2 – аппроксимация огибающей линией тренда

Аппроксимация огибающей (в виде параболы) на рисунках 1 и 2 произведена в связи с тем, что расчетные значения координат огибающей согласно принятому критерию прочности (1) выражаются для диаграммы на рисунке 1 формулами (7), а на рисунке 2 – формулами (2) в параметрическом виде. Соответственно, уравнения линий тренда в первом и во втором диапазоне изменения напряженного состояния отличаются между собой, но в точке касания круга на сжатие сопряжение этих огибающих выполняется строго.

### Выводы

Таким образом, аналитическую зависимость для огибающей во всем диапазоне изменения от одноосного растяжения до трехосного сжатия построить затруднительно. В связи с этим, предлагались различные эмпирические такие зависимости, пригодные в ограниченной области экспериментальных данных. Например, как известно, линейная

огибающая справедлива только в диапазоне от одноосного растяжения до одноосного сжатия. Указанное затруднение преодолевается, как вытекает из данного сообщения, при использовании критерия прочности (1). Для определения материальных параметров ( $A$  и  $B$ ), входящих в данный критерий, можно использовать любой из вариантов их представления через имеющиеся в наличии исходные экспериментальные данные. При этом расчетные значения пределов прочности при различных видах трехосного сжатия адекватно отражают их экспериментальные величины, представленные, например, в [3, 6, 7].

В качестве экспресс метода построения паспорта прочности можно использовать только данные одноосного сжатия с достоверно определенным углом среза.

### Литература

1. Ильницкая Е.И., Тедер Р.И., Ватолин Е.С., Кунтыш М.Ф. Свойства горных пород и методы их определения / Под ред. М.М. Протождяконова. М.: Недра, 1969. 392 с.
2. Hoek E., Brown E.T. Empirical strength criterion for rock masses. *J. Geotech. Engng Div., ASCE* 106(GT9), 1980. – Pp. 1013-1035.
3. Ставрогин А.Н., Протосеня А.Г. Пластичность горных пород. М.: Недра, 1979. 305 с.
4. Paterson M.S., Wong T.-F. *Experimental Rock Deformation – The Brittle Field*. Berlin: Springer, 2005. 348 p.
5. Дуйшеналиев Т.Б., Койчуманов К.Т. Уравнение огибающей линии предельных кругов напряжений. Бишкек: Илим. 2006. 130 с.
6. Zhigalkin V.M., Luzhanskaya T.A., Rychkov B.A., Usol'tseva O.M., Tsoi P.A. Tracing of stress circle envelope based on the calculation and experiment data // *Journal of Mining Science*, Vol. 46, № 6, 2010. Pp. 612-620.
7. Mogi K. *Experimental rock mechanics*, CRC Press, London, 2007, 375 p.

## ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРА *b*-VALUE АМПЛИТУД СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ОБРАЗЦОВ ГЕОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ

Кульков Д.С.

kulkov.dmitrii @yandex.ru

Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке, г. Бишкек, Кыргызстан

*В статье рассматривается изменение тангенса угла наклона линейного участка графика повторяемости (*b*-value) акустической эмиссии (АЭ) при одноосном сжатии образцов песчаника. В качестве энергии сигнала акустической эмиссии использовался десятичный логарифм максимальной амплитуды зарегистрированного сигнала АЭ. В работе рассмотрены результаты четырех образцов песчаника, два из которых были сухими, два влагонасыщенными. Для каждого образца построены графики накопления, активности, сглаженные кривые энергии и рассчитаны значения *b*-value.*

*Ключевые слова:* акустическая эмиссия, *b*-value, амплитуда, энергия, накопление АЭ, активность АЭ.

### Введение

Акустическая эмиссия – явление возникновения и распространения упругих волн, возникающее в результате изменений структуры твердых тел под влиянием внешних и внутренних факторов различной физической природы [1]. Мониторинг сигналов акустической эмиссии используется в задачах исследования множества явлений и процессов, связанных с деформацией. В частности, на различных стадиях разрушения образцов геоматериалов (в данной работе образцов песчаника (ущелье Кегеты), при проведении лабораторных экспериментов [2] на одноосное сжатие в Лаборатории моделирования энергонасыщенных сред Научной станции РАН в г. Бишкеке. Целью данной работы является исследование динамики *b*-value образцов песчаника и закономерности между активностью, накоплением, энергией и полученными значениями *b*-value.

### Аппаратура и методика

Образцы горных пород испытывались на одноосное сжатие на рычажной установке, максимальная нагрузка составляет 250 кН [3]. В качестве материала использовался песчаник, образцы были изготовлены в форме прямоугольного параллелепипеда с квадратным сечением и размерами 25мм x 25мм x 60мм (Д x Ш x В).

Регистрация сигналов акустической эмиссии осуществлялась датчиком SE-2MEG-P (DECI, США), зафиксированным непосредственно на образце. Рабочий диапазон датчика находится в интервале частот от 200 кГц до 2 МГц. Оцифровка сигналов производилась 8-канальным блоком АЦП USB 3000, разрядность которого составляет 14 бит с максимальной частотой дискретизации 3 МГц.

Первичная обработка сигналов акустической эмиссии подразумевала фильтрацию и удаление шумовых сигналов и помех [4], далее строились графики накопления и активности АЭ.

Для нахождения *b*-value – тангенса угла наклона линейного участка графика повторяемости, построенного по максимумам амплитуд [5] зарегистрированных сигналов акустической эмиссии, использовалось известное уравнение Гутенберга-Рихтера [6], описывающее распределение количества землетрясений по энергиям.

$$\lg N = a - bM, \quad (1)$$



где,  $a$  - логарифм количества  $N$  при расчетном  $M=0$ ,  $b$  показывает изменение максимума амплитуды от общего количества сигналов [7].

Вычисление  $b$ -value происходило следующим образом. Вначале определялось распределение сигналов АЭ по амплитудам (в качестве амплитуды использовалось максимальное значение амплитуды сигнала), затем строилась гистограмма этого распределения. Результаты показали, что распределение подчиняется степенному закону, поэтому для определения участка с линейным распределением использовался десятичный логарифм амплитуды. На рисунке 1 показан пример вычисления  $b$ -value для всех сигналов акустической эмиссии образца песчаника.

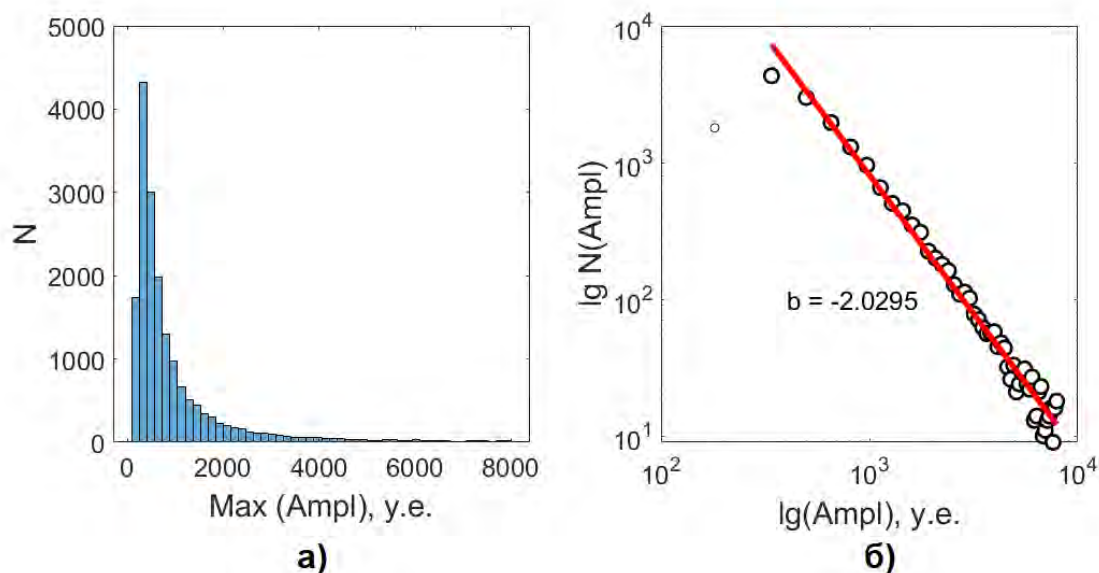


Рисунок 1 – Пример гистограммы распределения сигналов АЭ по амплитудам (а) и графика повторяемости (черные круги) и линией аппроксимации (красным) (б).

Исходя из уравнения (1) при увеличении количества событий с большими амплитудами абсолютное значение  $b$ -value уменьшается, а при преобладании событий с малыми амплитудами – увеличивается.

На рисунках 2-3 показаны графики динамики накопления, активности, сглаженные кривые максимальных амплитуд сигналов АЭ и значений  $b$ -value. Для рассмотрения изменения значений  $b$ -value во времени использовалось скользящее окно 3500 событий со сдвигом 1 событие. Результаты расчетов образцов песчаника, двух сухих – рисунок 2, двух влагонасыщенных – рисунок 3.

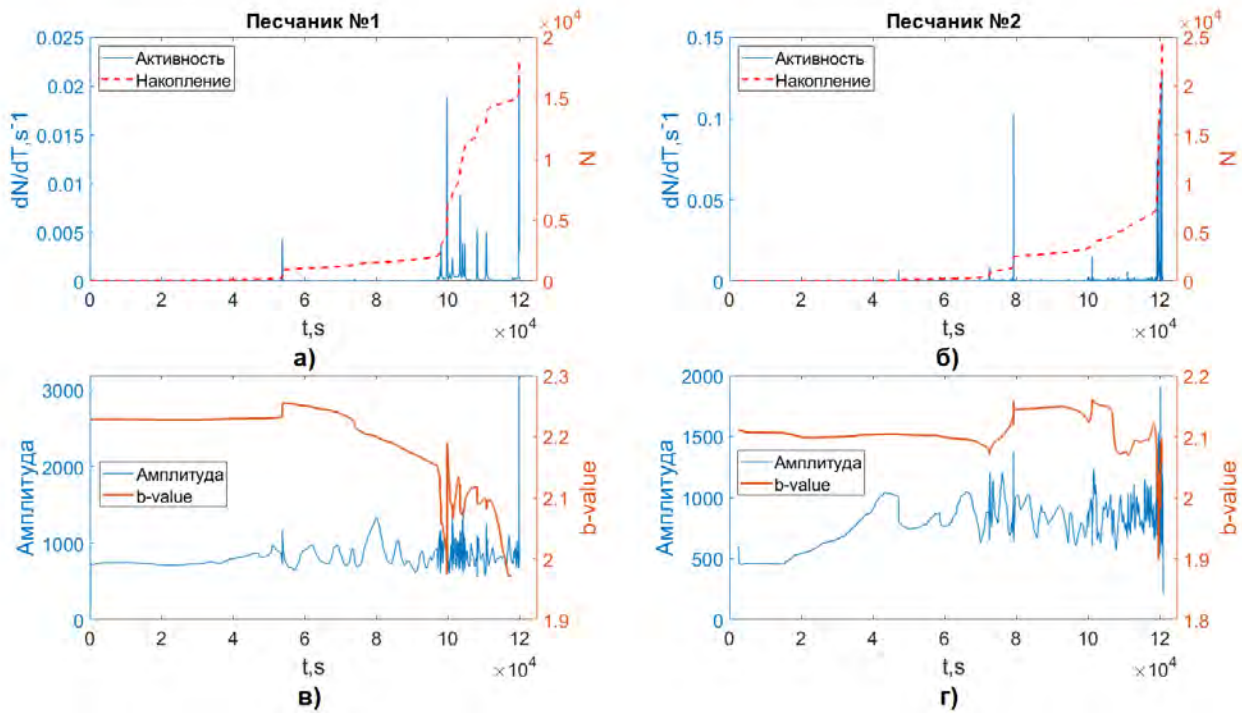


Рисунок 2 – Графики активности (синяя кривая) и накопления (красная пунктирная кривая) (а, в), сглаженные кривые максимальных амплитуд (синяя кривая) и значений *b-value* (красная кривая) (б, г) сигналов АЭ сухих образцов песчаника

На рисунке 2 видно, что ближе к разрушению (песчаник №1 начиная с  $10^5$  с до разрушения, песчаник №2 начиная с  $8 \cdot 10^4$  с до разрушения) увеличивается количество событий, что видно по кривым накопления, активности и амплитуды сигналов, и уменьшается угол наклона (*b-value*).

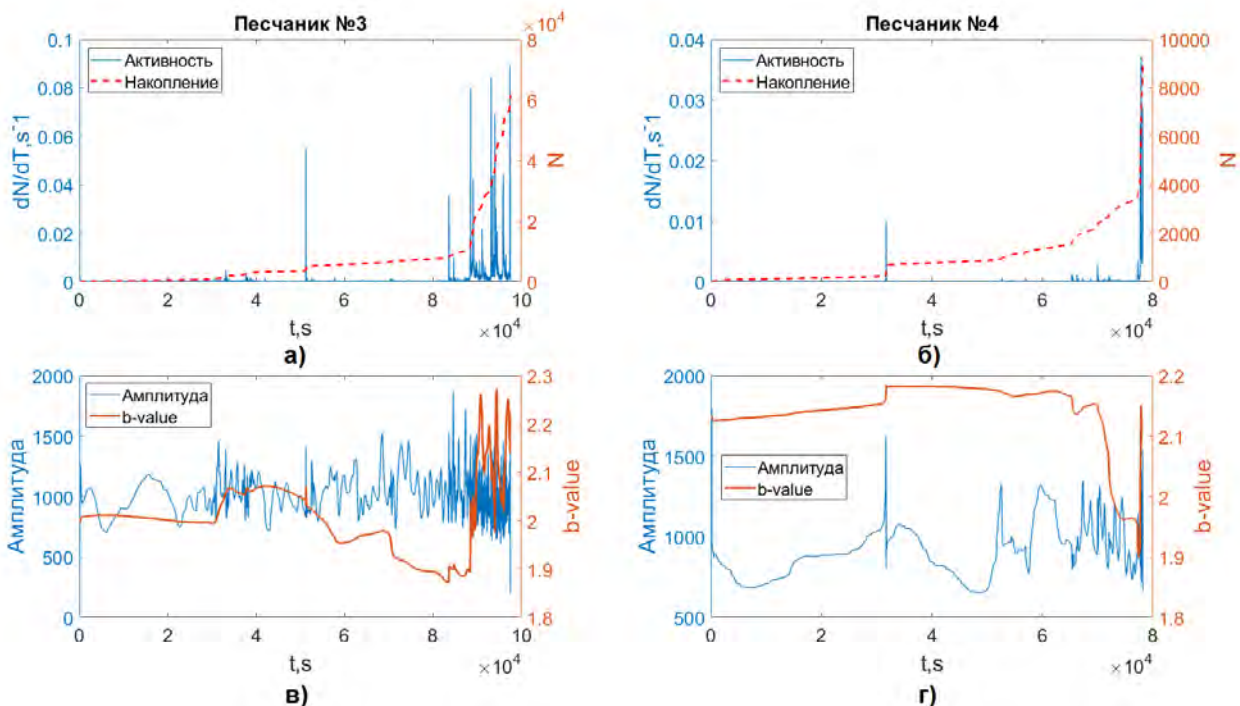


Рисунок 3 – Графики активности (синяя кривая) и накопления (красная пунктирная кривая) (а, в), сглаженные кривые максимальных амплитуд (синяя кривая) и значений *b-value* (красная кривая) (б, г) сигналов АЭ влагонасыщенных образцов песчаника

На рисунке 3 видно, что ближе к разрушению (песчаник №3 начиная с  $8 \cdot 10^4$  с до разрушения, песчаник №4 начиная с  $7 \cdot 10^4$  с до разрушения) количество событий (накопление), активность и амплитуды сигналов увеличиваются, а угол наклона (*b-value*) уменьшается.

### Заключение

При сравнении значений *b-value* с графиками накопления, активности и энергии сигналов АЭ показано, что ближе к разрушению образца графики накопления, активности и амплитуды АЭ демонстрируют тенденцию роста, а угол наклона графиков повторяемости уменьшается. Таким образом, можно утверждать, что при приближении к моменту разрушения преобладают события с большей амплитудой, соответствующие дефектам большего размера, к примеру, магистральные разрывы. В дальнейшем планируется сравнение значений *b-value* с изменением диэлектрических параметров образцов, и проведение для этих целей серии экспериментов.

### Литература

1. H.R. Hardy Jr, Acoustic Emission Microseismic Activity, Vol. 1: Principles, Techniques and Geotechnical Applications (Taylor & Francis, London, 2003). 300 p. doi:10.1201/9780203971109.
2. Закупин А.С., Авагимов А.А., Богомоллов Л.М. Отклики акустической эмиссии геоматериалов на воздействие электроимпульсов при различных величинах сжимающего напряжения // Физика Земли. 2006. №10. С. 43-50.
3. Закупин А.С., Боровский Б.В. Пат. 2012148683/28 РФ. Рычажная установка для статических и динамических испытаний материалов в условиях одноосного сжатия. БИ. 2015. №5.
4. Чешев М.Е., Кульков Д.С. Методика отбраковки шумовых компонент в сигналах акустической эмиссии горных пород при одноосном сжатии // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова. 2019. № 2-1 (50). С. 280-286.
5. Пантелеев И.А., Мубассарова В.А., Дамаскинская Е.Е., Богомоллов Л.М., Наймарк О.Б. Влияние слабого электрического поля на пространственно-временную динамику акустической эмиссии при одноосном сжатии гранита // В книге: Триггерные эффекты в геосистемах. Тезисы докладов III Всероссийского семинара-совещания. Институт динамики геосфер РАН; Ответственные редакторы В.В. Адушкин, Г.Г. Кочарян. 2015. С. 54-55.
6. Gutenberg B., Richter C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America 34 (4), С. 185–188.
7. Горбунова Е.А., Шерман С.И. Вероятность сильных ( $M \geq 7.5$ ) землетрясений в зонах разломов Центральной Азии (тектонофизический анализ) // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7. № 2. С. 303–314. doi:10.5800/GT-2016-7-2-0208.

## МЕТОД ГРАФИЧЕСКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Литовченко И.Н., Амиров Н.Б., Лютикова В.С.

*litovira@rambler.ru*

Институт сейсмологии Республики Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан

*В работе рассмотрены вопросы распознавания роев землетрясений на основе графической кластеризации данных в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий. Результаты применения указанного метода показали, что графическая кластеризация данных наиболее удобна для распознавания образов роев в период повышения сейсмичности региона. Получены численные характеристики роев землетрясений.*

*Ключевые слова: метод графической кластеризации данных, распознавание образов, сейсмичность региона, рой землетрясений.*

### Введение

В работе излагаются основные теоретические и практические результаты применения метода графической кластеризации (МГКл) данных – на примере роев землетрясений, сделана попытка оценить перспективы развития и его применения.

Как известно, распознавание образов (объектов, сигналов, ситуаций, явлений или процессов) – задача идентификации объекта или определения каких-либо его свойств по его изображению или другим характеристикам. В этом случае данные в компьютере – это множество объектов, которое представляется набором однотипных элементов. Образ – классификационная группировка, объединяющая (выделяющая) определенную группу объектов по некоторому признаку. Образы обладают характерными свойствами. Методика отнесения элемента к какому-либо образу называется решающим правилом. Метрика – способ определения расстояния между элементами универсального множества. Чем меньше это расстояние, тем более похожими являются объекты, то, что мы распознаем [1,2,3,4,5]. Остановимся далее подробнее на сути данной задачи.

### Исходные данные

Сейсмичность региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий исследовалась авторами за период 2019 г. на предмет распознавания роев землетрясений. На современных данных о сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, представляется аналогичный подход для выявления особенностей распознавания, возникновения и распределения «роев» землетрясений за последний год. Приведены результаты распознанных роев землетрясений за этот период. Применялся алгоритм распознавания образов на основе графической кластеризации данных. Рой землетрясений выражается в увеличении числа слабых толчков в некоторой локальной зоне земной коры с последующим постепенным его уменьшением. Пространственные размеры роев, примерно, равны размерам эпицентральных зон землетрясений. «Рои» наряду с «форшоками» образуют прогностические последовательности сейсмических событий [6,7,8]. Многими авторами исследований отмечалось, что рои землетрясений – это особый вид проявления сейсмической активности, когда за достаточно короткое время, в течение нескольких суток от 1 до 5-15-26 суток (редко более длительное время), в одном и том же месте, на ограниченной площади, происходит большое количество землетрясений, как правило, малых энергетических классов, характерных для фоновой сейсмичности региона [9,10]. Они возникают, как в зонах континентальной сейсмичности (например, на Кавказе), так и в зонах субдукции (Курило-Камчатская зона). Иногда в тех областях, где в прошлые

годы имели место сильные землетрясения, обнаруживаются «рои», а иногда нет [12]. Рассмотренные рои в [13] условно делятся на два типа: типичные рои (не связанные с вулканической деятельностью), и рои, в которых наблюдаются афтершокоподобные паттерны, т.е. по сути, рои представлены несколькими «главными» толчками со своими «афтершоками». Дополнительно отмечается, что даже в независимых роях характер изменения параметров сейсмического режима (активизация и спад активности) аналогичен процессу подготовки сильного землетрясения и афтершоковой релаксации [13]. На современном этапе активизации сейсмичности предлагаемый метод является, на наш взгляд, перспективным, так как дает более точные критерии распознавания роев в сейсмичности региона исследования [14].

### Метод решения

Основой алгоритма и методом выделения роевых событий выступал следующий теоретический подход. Пусть за время  $T$  на ограниченной территории происходит  $N$  землетрясений  $a(11), a(12), \dots, a(NN)$ . Каждое из этих событий характеризуется набором параметров, часть из которых может повторяться (координаты, магнитуда, и т.п.), другие же не повторяются никогда. Всегда можно составить матрицу  $R$  состояний (1), симметричную с нулевой диагональю (имея в виду, что в общем случае матрица  $R$  может быть многомерной) [8,14].

$$R = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1N} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2N} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N1} & a_{N2} & \dots & a_{NN} \end{bmatrix} \quad (1)$$

По общепринятым методам кластерного анализа, должны проанализировать соответствие элементов строк в (1) заданным правилам. Например, считаем, что если существует пространственная взаимосвязь и взаимообусловленность событий, то она должна выражаться через "расстояния" (евклидовы или другие) между событиями в  $n$ -мерном пространстве. Если известны географические координаты события, то в качестве меры взаимосвязи выбираем геометрическое расстояние между эпицентрами землетрясений. Считая, что наиболее взаимосвязанными являются те события, для которых межэпицентральные расстояния минимальны. После определения соответствия заданному правилу элементов матрицы (1) в заданном пространстве параметров (например, расстояние между событиями) наносим их на график и соединяем между собой линиями в последовательности, следующей из (1). При наличии взаимосвязи и взаимообусловленности событий в матрице (1) на графике образуются связанные древовидные структуры. Узлы каждого из таких деревьев образуют кластеры, подобные рассчитанным другими методами кластерного анализа. МГКл не требует дополнительных математических операций для кластеризации и поэтому выполняется значительно быстрее, чем другие методы кластерного анализа. Вообще время проведения расчетов для МГКл пропорционально числу событий в выборке образующей матрицу (1). Очевидным преимуществом МГКл является то, что в анализируемом пространстве состояний допустимы пересекающиеся подмножества. Такие ситуации могут возникнуть при анализе временных последовательностей событий, когда существуют кластеры, время жизни которых меньше интервала всей выборки. Использовали МГКл для выделения «роев» в каталоге землетрясений на Северном Тянь-Шане и прилегающих территориях за 2019 г. [11]. Предварительно в каталоге были выделены афтершоки. В дальнейших расчетах эти события не принимались во внимание. Представительность каталога не равномерна во времени и в пространстве. Так для территории, ограниченной координатами  $39-47^{\circ}N$  и  $70^{\circ}-85^{\circ}E$  в 2019 г. представительными являются землетрясения с  $K \geq 7$ . В дальнейших расчетах не выходим за пределы этого района. Выбор этой территории обусловлен тем, что здесь раньше происходили сильные

землетрясения с  $M \geq 7-8$  (Верненское 1887 г.,  $M=7.5$ , Чиликское 1889 г.,  $M=8.4$ , Кеминское 1911 г.,  $M=8.3$ ). В анализируемом каталоге [11] отмечено более 90 землетрясений с  $M \geq 5$ , в том числе: Сарыкамышское (1970 г.,  $M=6.8$ ), Жаланаштюпское (1978 г.,  $M=6.8$ ), Байсорунское (1990 г.,  $M=6.3$ ). Здесь по долгосрочному прогнозу ожидается период активизации сейсмической активности, и могут произойти сильные землетрясения.

### **Особенности распознавания образов «роев»**

Во-первых, определили численные характеристики «роев», как последовательности землетрясений, пригодные для их описания и распознавания роев в каталоге. Это представляется важным, поскольку, не были известны объективные критерии для распознавания и выделения «роев». В общих чертах, процесс образования «роя» можно идентифицировать с процедурой пространственного группирования сейсмических событий. Некоторые, самые общие, качественные характеристики группирования для землетрясений с  $K \geq 9$  ( $M=2.8$ ) на территории Северного Тянь-Шаня приведены в [8]. Здесь за радиус вероятного группирования принимали 15 км. При этом количество группирующихся землетрясений составило 10% от размера выборки. Исследовался каталог на способность образовывать компактные группы событий, вводя ограничивающее правило при расчете матрицы (1). Оказалось, что устойчивые кластеры-группы размером не более  $20'-25'$  угловой меры (т.е. размеров очаговых зон землетрясений с  $M=6-7$  на изучаемой территории) образуются, если расстояние между событиями  $L \leq 10'$ , т.е. примерно такие же, как у [9,10].

Следующая характеристика «роев землетрясений» связана с числом землетрясений в «рое» (или группе). Легко показать, что вероятность попадания трех случайных событий в площадку радиусом равным  $L=10'$  столь мала, что ей можно пренебречь. Поэтому принимали за «рой» группу, в которой число землетрясений  $N \geq 3$ , без ограничения  $N$  по максимальной величине. Результаты расчетов по МГКл с учетом  $L$  и  $N$  показали, что «рои» действительно группируются вблизи зон, в которых на изучаемой территории происходили землетрясения с  $M \geq 5.5$ . Однако их распределение в пространстве имеет большую дисперсию, что указывает на необходимость введения еще одной характеристики для более строгого описания роя. Известно, что «рои» могут быть и короткоживущие (минуты, часы), так и долгоживущие (месяцы и даже годы). Поэтому их нельзя характеризовать ни числом событий  $N$ , ни временем жизни «роя»  $T_l$  («life swarm»). Более объективной характеристикой является время между землетрясениями в «рое»  $T_m$ . Полученные численные характеристики роев дают более точную математическую зависимость в описании распознавания их образов в сейсмических данных.

### **Результаты**

По представленному методу графической кластеризации данных проведено распознавание роев землетрясений в сейсмоактивном регионе исследования Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий за 2019 год. На рисунке 1 приведены результаты работы программы распознавания «роев». В результате исследования параметров роев землетрясений получили три численные характеристики, по которым можно объективно распознавать «рои» в каталоге землетрясений на Северном Тянь-Шане и прилегающих территориях. К ним относятся: число землетрясений в «рое»  $N \geq 3$ ; пространственное расстояние между соседними событиями, образующими «рой»  $L \leq 10'$  в угловой мере; время между событиями в «рое»  $0 < T_m \leq 15-26$  дней. Используя эти ограничивающие численные значения, провели расчеты МГКл и составили каталог «роев» для территории Северного Тянь-Шаня, прилегающих территорий за период 2019 г. На всем интервале анализа принимали в расчет все землетрясения с  $K \geq 7.0$ .

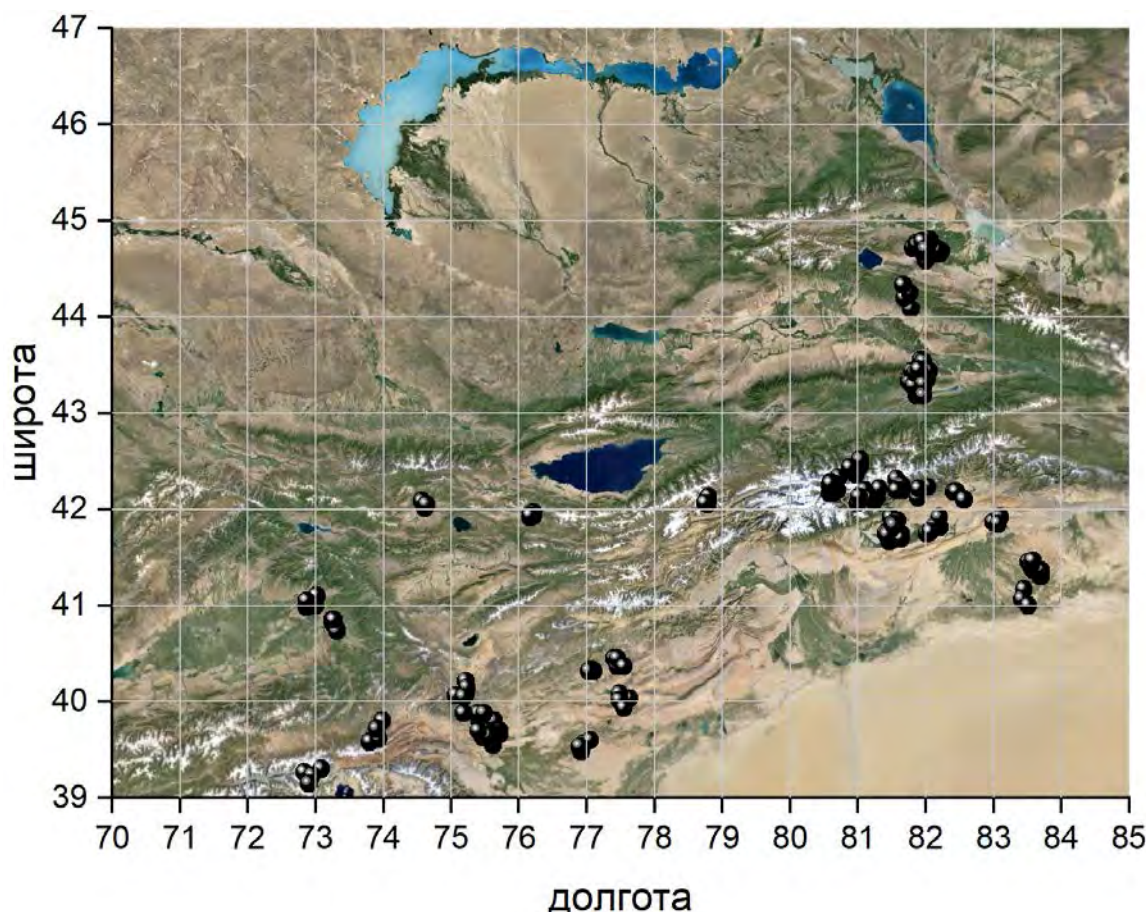


Рисунок – Карта-схема распределения роев землетрясений (черным цветом) за 2019 г. в сейсмоактивном регионе исследования

### Выводы

Представлен метод графической кластеризации данных для распознавания образов роев землетрясений. Полученные численные характеристики роев землетрясений могут быть использованы для исследования сейсмичности и прогноза будущих сильных землетрясений. Эта особенность может служить для создания самостоятельной численной основы для прогноза землетрясений на Северном Тянь-Шане и прилегающих территориях. Каталог «роевых землетрясений» может служить основой для поиска «форшоков» и прогноза сильных землетрясений.

Выражаем благодарность научному руководителю академику НАН РК Курскееву А.К. за активное участие в проводимых исследованиях, критические замечания и рекомендации, а так же сотрудникам СОМЭ за предоставление каталога землетрясений.

### Литература

1. Павлова А.И., Бобрикова К.А. Сравнение алгоритмов распознавания образов нейронными сетями Хопфилда // В мире научных открытий. 2016. № 5(77). С. 134-145. [Электронный ресурс]: режим доступа [http://www.researchgate.net/publication/306105318\\_SRAVNENIE\\_ALGORITMOV\\_RASPOZNAVANIA\\_OBRAZOV\\_NEJRONNYMI\\_SETAMI\\_HOPFILDA/link/57b1b519008ae0101f17a4a93](http://www.researchgate.net/publication/306105318_SRAVNENIE_ALGORITMOV_RASPOZNAVANIA_OBRAZOV_NEJRONNYMI_SETAMI_HOPFILDA/link/57b1b519008ae0101f17a4a93)
2. Прохоров В.Г. Распознавание графических образов текстовых символов, представленных в виде характеристических векторов // Проблемы програмування 2007. № 3. С. 97-106. [Электронный ресурс]: режим доступа.- [http://www.dspace.nbuiv.ua/handle/123456789/304/Прохоров\\_1.pdf?sequence=1](http://www.dspace.nbuiv.ua/handle/123456789/304/Прохоров_1.pdf?sequence=1)

3. Городецкий В.И., Серебряков С.В. Методы и алгоритмы коллективного распознавания: Обзор // Труды СПИИРАН. 2006. Вып. 3. Т. 1. С. 139-171. [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://www.proceedings.spiiras.nw.ru/index.php/articale/viewFile>
4. Цветков А.А., Шорох Д.К., Зубарева М.Г. и др. Алгоритмы распознавания объектов // Технические науки: проблемы и перспективы. Материалы IV Междунар. науч. конф. СПб. 2016. С. 20-28. [Электронный ресурс]: режим доступа <http://www.moluch.ru/conf/tech/archive/166/>
5. Лютикова В.С., Литовченко И.Н. Технология распознавания образов (в выявлении роев землетрясений) // Современная техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XI междунар. конф. молодых ученых и студентов. Т. 2. Бишкек. 2019. С. 104-108.
6. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы. 2004. 504 с.
7. Курскеев А.К., Казаков В.В., Курскеева Л.А., Литовченко И.Н. Численный долго- и среднесрочный прогноз землетрясений // Проблемы прогноза землетрясений. Тез. Междунар. симп. АНРУЗ. Ташкент. 1999.
8. Казаков В.В., Литовченко И.Н., Паршуков М.Ю. Рои землетрясений на Северном Тянь-Шане // Прогноз землетрясений и глубинная геодинамика. Материалы междунар. симп. Алматы. 1997. С. 145-151.
9. Литовченко И.Н., Лютикова В.С. Выявление роев землетрясений в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Междунар. юбил. науч. конф., посвящ. 15-ти летию со дня образования Центрально-Азиатского института прикладных исследований Земли (ЦАИИЗ). Бишкек. 2019. С. 35-38.
10. Лютикова В.С. Рои землетрясений как отклик энергонасыщенных структур земной коры на воздействие астрофизических факторов // Всемирный Конгресс инженеров и ученых «Энергия будущего: инновационные сценарии и методы их реализации», WSEC-2017, г. Астана, Казахстан. Т. 4. Алматы. 2017. С. 328-331.
11. Каталог землетрясений / Сейсмическая опытно-методическая экспедиция (СОМЭ) РК [Электронный ресурс]: режим доступа - <http://some.kz/index.php?p=card&outlang=1&oid=9>.
12. Славина Л.Б., Левина В.И., Бабанова Д.Н. Особенности возникновения и распределения роевых последовательностей землетрясений в сейсмоактивной зоне в акватории Тихоокеанского побережья Камчатки [Электронный ресурс]: режим доступа- <http://www.emsd.ru/konf091011/pdf/largesteqs/10.pdf>
13. Радзиминович Н.А., Очковская М.Г. Выделение афтершоковых и роевых последовательностей землетрясений Байкальской рифтовой зон [Электронный ресурс]: режим доступа- <http://www.cyberleninka.ru/article/n/vydelenie-aftershokov-i-roevih-posledovatelnostey-zemletryaseni-baykalskoy-riftovoy-zony/viewer>
14. Лютикова В.С., Литовченко Т.Н. Обучающий алгоритм распознавания образов при решении практических задач // Робототехника и Искусственный интеллект. Материалы XI Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием. Железногорск. 2019. С. 231-237.



## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА УТЕЧКИ ЖИДКОСТИ

Мелис к. Н.

*nazi.mel@mail.ru*

Институт машиноведения и автоматике Национальной академии наук Кыргызской  
Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Обоснована необходимость проведения экспериментальных исследований влияния давления жидкости на ее объемный модуль упругости при давлениях жидкости свыше 50 МПа. Приведена схема нагрузочного устройства для исследования влияния давления рабочей жидкости на утечки при различной величине зазора между поршнем и цилиндром нагрузочного устройства.*

*Ключевые слова: нагрузочное устройство, рабочая жидкость, давление, объемный модуль упругости, утечки жидкости.*

В современном мире во всех отраслях промышленности ведется поиск новых технологий или возможностей усовершенствования существующего оборудования. В последние годы в горной и строительной промышленности внедряются новые прогрессивные технологии и новая техника, основанные на использовании гидравлических машин и устройств с давлением рабочей жидкости до нескольких сот мегапаскалей. Например, в модели ударной системы с передачей удара через замкнутый объем жидкости [1] при ударе рабочее давление в камере с жидкостью может достигать 200-300 МПа. При анализе ударных процессов в рассматриваемой системе необходимо учитывать влияние давления на модуль объемной упругости, плотность и вязкость жидкости.

Сложность создания такой техники заключается в том, что имеющиеся в литературе данные [2] ограничиваются давлением 50 МПа и как поведут себя рабочие жидкости при больших давлениях неизвестно. В связи с этим для дальнейшего уточнения расчетов необходимы экспериментальные исследования влияния давления жидкости на ее плотность, вязкость и модуль объемной упругости в более широком диапазоне изменения давлений.

Модуль объемной упругости жидкости определяется следующей формулой:

$$E_{\text{ж}} = V \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (1)$$

где  $E_{\text{ж}}$  – объемный модуль упругости жидкости, МПа;  $V$  – начальный объем жидкости, м<sup>3</sup>;  $\Delta V$  – изменение объема жидкости при сжатии, м<sup>3</sup>;  $\Delta p$  – изменение давления жидкости, МПа.

В работе [3] для исследования влияния давления рабочей жидкости гидравлических машин на ее модуль объемной упругости и плотность авторы предложили экспериментальный стенд.

Основным узлом стенда (рисунок 1) является нагрузочное устройство, состоящее из цилиндра 1 плотно закрытого крышкой 6 и поршня 2, со штоком 3. Цилиндр заполняется жидкостью и к поршню прикладывается определенная сила  $F$ , величина которой измеряется с помощью динамометра. Под действием силы происходит перемещение поршня, и сжатие жидкости, которое измеряется датчиком перемещения 8. Для измерения давления и температуры жидкости к гидравлической камере нагрузочного устройства установлены датчики давления и температуры 7. Для измерения утечки жидкости установлена емкость 5.

Утечки жидкости определяются по формуле:

$$Q = \pi d_1 \frac{p(\delta + u)^3}{12\eta L}, \quad (2)$$

где  $Q$  – утечки жидкости, м<sup>3</sup>/с;  $d_1$  – внутренний диаметр цилиндра, м;  $p$  – разность давлений в начале и в конце зазора, Па;  $\delta$  – начальная величина радиального зазора, м;  $u$  – радиальное перемещение внутренней стенки цилиндра под действием давления, м;  $\eta$  – динамическая вязкость жидкости, Па·с;  $L$  – длина зазора, м.

По данным работы [4]:

$$\eta = \eta_0 + a_3 p.$$

Для гидравлического масла МГ-30  $\eta_0 = 25 \times 10^{-3}$  Па·с;  $a_3 = 0,72 \times 10^{-3}$  Па·с/МПа

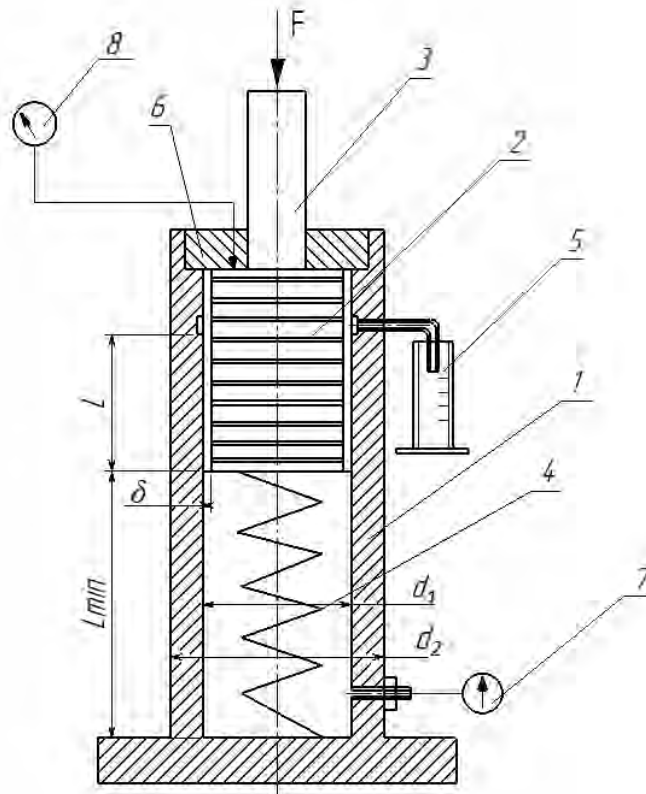


Рисунок 1 – Конструктивная схема нагрузочного устройства

Из работы [3] следует:

$$u = \frac{1 - \mu}{E} \cdot \frac{r_1^3 p}{r_2^2 - r_1^2} + \frac{1 + \mu}{E} \cdot \frac{r_1 r_2^2 p}{r_2^2 - r_1^2} = \frac{p r_1}{E} \left( \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \mu \right), \quad (3)$$

где  $r_1, r_2$  – внутренний и внешний радиусы цилиндра, м;  $\mu$  – коэффициент Пуассона (для стали  $\mu = 0,3$ );  $E$  – модуль упругости стали, Па (для стали  $E = 20,4 \cdot 10^{10}$  Па).

Подстановка выражения (3) в формулу (2) приводит к следующей зависимости утечек от параметров нагрузочного устройства и давления жидкости

$$Q = \pi d_1 \frac{p}{12\eta L} \left[ \delta + \frac{p r_1}{E} \left( \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} + \mu \right) \right]^3. \quad (4)$$

Полученную формулу можно записать в виде:

$$Q = \frac{2\pi r_1 p}{12(\eta_0 + a_3 p)L} \left[ \delta + \frac{p r_1}{E} \left( \frac{1 + k^2}{1 - k^2} + \mu \right) \right]^3, \quad k = r_1 / r_2. \quad (5)$$

Из этой формулы следует, что утечки зависят от давления в третьей степени. То есть увеличение давления от 10 до 100 МПа, в десять раз, приведет к увеличению утечек в тысячу раз. Из неё видно, что утечки можно уменьшить, увеличивая  $L$ , уменьшая  $r_1$  или увеличивая  $r_2$ . Причем последнее более предпочтительно.

В качестве примера с использованием полученных формул были составлены таблицы 1, 2 и построены графики зависимости утечек от давления при различных коэффициентах  $k$  для масла МГ-30 (рисунок 2).

Таблица 1 – Зависимость утечек жидкости от давления и коэффициента  $k$  при зазоре равном 0,02 мм

$k$	$p$ , МПа									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
0,500	0,755	1,482	2,331	3,284	4,441	5,788	7,287	9,063	11,010	13,280
0,333	0,704	1,306	1,959	2,651	3,462	4,378	5,366	6,519	7,755	9,181
0,250	0,691	1,260	1,863	2,489	3,216	4,029	4,897	5,904	6,976	8,216

Таблица 2 – Зависимость утечек жидкости от давления и коэффициента  $k$  при зазоре равном 0,03 мм

$k$	$p$ , МПа									
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
0,500	2,284	4,091	5,957	7,855	10,03	12,43	14,97	17,90	20,98	24,52
0,333	2,178	3,742	5,252	6,702	8,309	10,03	11,79	13,80	15,86	18,20
0,250	2,149	3,648	5,065	6,401	7,868	9,423	11,00	12,78	14,61	16,66

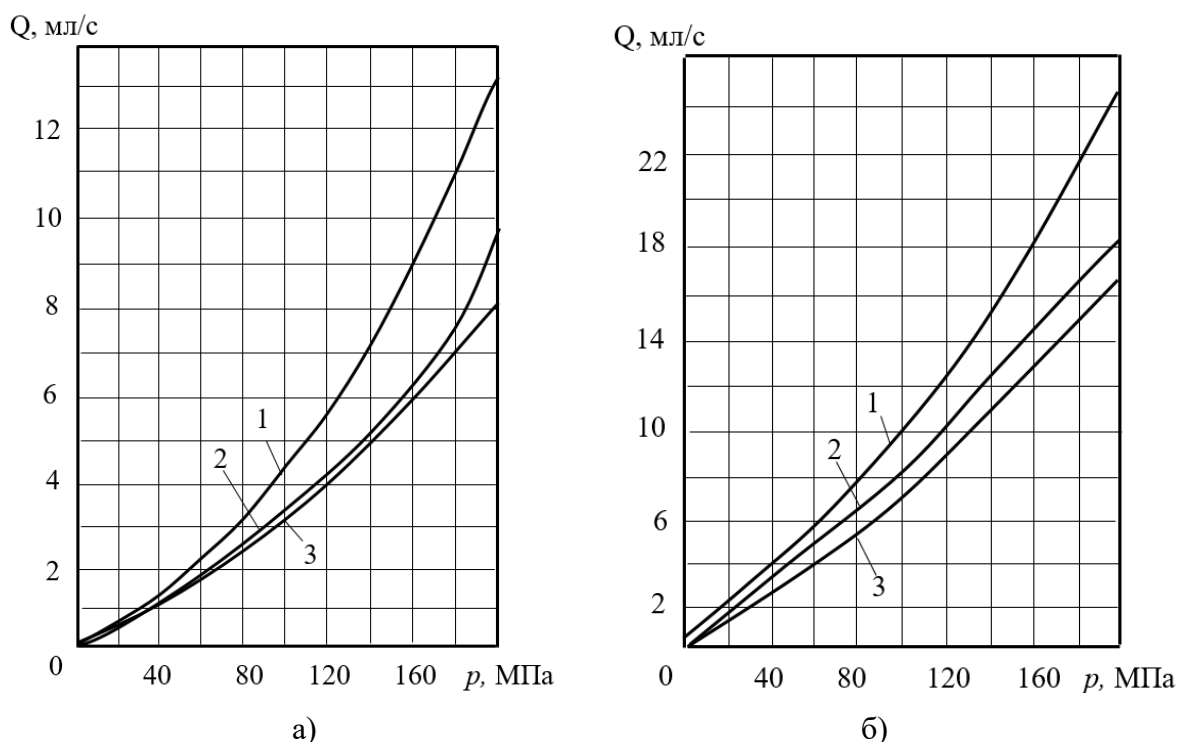


Рисунок 2 – Диаграммы зависимости утечек жидкости от давления при зазоре равном 0,02 мм (а) и 0,03 мм (б) при различных значениях коэффициента  $k$ , равных: 1 – 0,5; 2 – 0,333; 3 – 0,25

Из рисунка 2-а следует, что при зазоре 0,02 мм и давлении 200 МПа увеличение внешнего диаметра нагрузочного устройства или уменьшение значения коэффициента  $k$  в два раза приводит к уменьшению утечек в 1,75 раз. Это уменьшение утечек достигается за счет снижения радиальной деформации внутренней поверхности нагрузочного устройства.

При зазоре 0,03 мм (рисунок 2-б) уменьшение утечек при тех же данных составляет 1,44 раза. Отсюда следует, что увеличение зазора приводит к уменьшению пользы в снижении утечек за счет увеличения внешнего диаметра нагрузочного устройства. При зазоре 0,02 мм и давлении 200 МПа утечки жидкости вдвое меньше, чем при зазоре 0,03 мм.

Из рисунка следует также, что чем больше давление жидкости, тем больше польза в снижении утечек за счет увеличения внешнего диаметра нагрузочного устройства. Например, при давлении 40 МПа увеличение внешнего диаметра в два раза приводит к уменьшению утечек на 1,18%, а при давлении 200 МПа – на 1,6%.

С увеличением давления от 40 до 200 МПа, то есть в 5 раз, при значении коэффициента  $k = 0,5$  утечки жидкости увеличиваются в 9 раз, а при  $k$  равном 0,25 – в 6,5 раза.

Полученные результаты показывают, что наиболее эффективным путем снижения утечек жидкости из нагрузочного устройства и повышения, тем самым, точности определения объемного модуля упругости жидкости при высоких давлениях является увеличение внешнего диаметра нагрузочного устройства.

### Литература

1. Еремьянц В.Э., Мелис кызы Назира. К выбору модели соударения стержней через замкнутый объем жидкости // *Journal of Advanced Research in Technical Science*. – North Charleston, USA: SR CMS, CreateSpace. 2017. Issue 6. – P. 11–16.
2. Васильченко В.А. Гидравлическое оборудование мобильных машин. Справочник. М.: Машиностроение, 1983. 301 с.
3. Еремьянц В.Э., Султаналиев Б.С. К методике экспериментальных исследований влияния давления жидкости на её объемный модуль упругости // *Машиноведение*. 2019. Вып. 1 (9). С. 82–90.
4. Еремьянц В.Э., Султаналиев Б.С., Мелис кызы Н. Моделирование ударной системы с передачей энергии удара через замкнутую камеру с жидкостью // *Физико-технические проблемы разработки месторождений полезных ископаемых*. 2018. № 6. С. 87-97.

## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО SQL

Мустафин Р.Ш.

*r.mustafin.work@gmail.com*

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В статье рассмотрена проблема проверки правильности решения задания по SQL при изучении и тренировке навыков по написанию запросов. Была предложена идея по автоматизации проверки результата запросов, использующих DML (Data Manipulation Language) инструкции и составлен возможный алгоритм работы пользователя и системы.*

*Ключевые слова: SQL, электронное обучение, решение заданий.*

### Введение

Сейчас ни для кого не секрет, что программирование стало одной из самых интересных и привлекательных областей для человечества. Навыки программиста нужны в любой области – везде, где требуется автоматизация. Работа программиста сокращает расходы, увеличивает прибыль, позволяет создавать удивительные вещи, многие из которых, уже стали неотъемлемой частью нашей жизни. При этом количество их работы с каждым годом только растет. Там, где есть спрос, там растет и предложение.

Каждый год все большее внимание уделяется IT сфере и обучению новых специалистов. Высококвалифицированный специалист – это то, что хочет получить любая фирма, так как кадры – один из самых ценных ресурсов в бизнесе и стоят не меньше золота.

Однако, плохой специалист может обойтись фирме намного дороже. Наша задача - снизить число необразованных кадров к минимуму.

С каждым годом все большее число людей идет учиться на различные курсы или поступает в вузы, чтобы обучиться одной из специальностей сферы IT. Количество нагрузки на преподавателей растет, как и количество рутинной работы, из-за чего сильно страдает качество образования. Рутинная работа и часто повторяющиеся действия – лучшей цели для автоматизации не придумать.

Программисты пишут программы. Правильными мы называем те программы, что решают поставленные задачи. Как определить, что задача решена? Путем тестов. Именно это приходится делать преподавателю, проверяя работы студентов – тестировать их программы. При этом никто не гарантирует, что преподаватель что-нибудь не пропустит у очередного студента и это может обернуться плохой привычкой или источником новых ошибок.

Чем сильнее отличаются студенты друг от друга, тем больше решений могут придумать их головы на одну и ту же задачу. Решение может отличаться чем угодно – языком программирования (если это не изучение конкретного языка), инструментами, средой разработки, алгоритмом, именами переменных и методов. Разбор программы – большая нагрузка на преподавателя.

Пожалуй, больше всего рутинной работы встречается в обучении языку SQL [1], где нужно понять не только написанный скрипт запроса в БД, но и проверить результат, который представляет большую таблицу с данными. Чаще всего это происходит визуально и индивидуально, что отнимает очень много времени, сил и нервов. При этом необходимо подготовить данные для самого запроса. В целом подобная работа делается преподавателем и при изучении распространенных языков программирования, таких как Java, C++, Python и C#.

В настоящее время становится популярным электронное обучение [2]. Несмотря на некоторые минусы (неудобности в определенных случаях), оно имеет значительные преимущества, основным из которых является огромная экономия времени. Лучшая среда для

электронного обучения — это интернет. Все, что может распространяться через интернет, потенциально имеет большую аудиторию.

Предметом данного исследования является автоматизация процесса обучения языку SQL.

Цель данного исследования – упростить процесс обучения студента языку SQL путем автоматизации проверки задач, выполненных студентом.

Далее статья организована следующим образом:

- 1) Описание возможных формулировок задания по SQL
- 2) Алгоритм автоматизации процесса проверки задания по SQL.
- 3) Обсуждение возможных дополнительных функций для реализации.

### **Описание задачи проверки решения задания по SQL**

В обычном случае задача по SQL содержит следующие артефакты:

- 1) база данных (БД);
- 2) некоторое количество таблиц со связями или без внутри этой БД, которые могут содержать данные;
- 3) пользовательские процедуры или функции, ограничения, триггеры, индексы и т.д.

Допустим, задание может быть сформулировано следующим образом:

- создать таблицы в БД с полями X, которые связаны между собой некоторым образом. Заполнить таблицы данными;
- изменить существующую схему данных (таблицы, связи, ограничения), чтобы соответствовать новым требованиям.
- *написать запрос (или несколько запросов), который вернет данные, удовлетворяющие требованиям по заданию.*

Эти задания можно разделить на два класса: задачи на использование **DDL** инструкций и задачи на использование **DML** инструкций. Эти классы требуют разные типы проверок.

**DDL** [3] инструкции используются для внесения изменений в **схему базы данных** – ее структуры. Например, с их помощью можно добавить новые таблицы, колонки, ограничения, процедуры и функции.

Требования к корректности использования **DDL** инструкций сложно сформулировать. В этом случае, результатом (решением задачи) будет являться правильная схема БД, удовлетворяющая некоторым поставленным требованиям. Она может отличаться у преподавателя и студента, однако это не всегда означает, что студент построил схему неверно. В таком случае, преподавателю придется практически явно указать студенту в задаче, какие таблицы он должен создать и как их связать, иначе сложно оценить правильность выполнения автоматизированным способом. Однако такой подход снижает полезность заданий на проектирование БД, поскольку студент не проявляет собственного творчества.

**DML** [4] инструкции позволяют внести изменения в содержащиеся в БД данные – изменить значение в строке, отфильтровать набор данных по условию, сгруппировать и отсортировать значения. Иными словами, они не изменяют структуру базы данных (схему базы данных).

Проверку решения задания по **DML** осуществить несколько проще, поскольку требования для **DML** проще сформулировать. Например, они могут выглядеть следующим образом.

1) *«Необходимо написать запрос, который возвращает таблицу с колонками X, Y, Z... Таблица должна содержать данные, которые ...»* Проверка для такой задачи заключается в строчной сверке таблицы, полученной в результате выполнения запроса студента, с таблицей, полученной в результате выполнения запроса преподавателя.

2) *«Необходимо изменить данные в таблице, которые соответствуют определенным условиям (Инструкции INSERT, DELETE, UPDATE, MERGE и т.д.)».* Такую задачу можно проверить либо сверкой таблиц студента и преподавателя (в таком случае нужно

получить таблицу преподавателя, выполнив его скрипт на копии той же БД), либо преобразовать этот тип задачи в первый тип задачи DML (в этом случае можно сверить результаты запросов SELECT студента и преподавателя, выполненных на измененных данных).

Предметом исследования является последняя из указанных подзадач, поскольку ее требования более прозрачны и понятны. Основной фокус в работе делается **на инструкциях DML**.

### **Одной из важных сторон рассматриваемой задачи является необходимость ограничения возможностей студента при решении задачи на написании запроса**

Требуется установить некоторые границы для запросов, чтобы при решении задачи пользователи или недоброжелатели не написали в запросе что-то, не предусмотренное автором. Например, необходимо, чтобы был закрыт доступ к системным базам, иначе можно повредить всю систему. Также пользователям должен быть закрыт доступ к другим БД на СУБД [5], не имеющим отношения к его задаче.

Данную проблему можно решить, используя профили безопасности. Автор задания при создании тестовой БД вводит код для создания пользователя базы данных, через которого будет работать студент, и список его прав. Пример выдачи разрешения пользователю «Larry» на запросы, содержащие SELECT и INSERT, для таблицы Employee:

```
GRANT SELECT, INSERT ON HumanResources.Employee TO Larry;
```

Таким образом, профиль ограничивает возможности пользователя при написании и выполнении запросов, тем самым повышая безопасность СУБД.

**Аналогичные системы.** На данный момент существует несколько систем для обучения, которые предоставляют возможность решать задачи с автоматической проверкой результата.

Одной из таких систем является sql-ex.ru [6]. Это система с закрытым исходным кодом позволяет самостоятельно обучаться языку SQL и решать типовые задания на написание запросов. Пользователю дается возможность прочесть задание и посмотреть на схему базы данных, затем ввести свое решение в специальное текстовое поле и отправить его на проверку. Интерфейс удобен для пользователя и его идеи можно переиспользовать для своей версии.

Другим примером может служить olymp.krsu.edu.kg [7]. Эта система тестирует правильность выполнения заданий для императивных языков программирования [8] методом черного ящика [9]. На вход подается поочередно серия тестовых данных и проверяется выход программы.

### **Алгоритм проверки решения**

В настоящей работе предлагается следующий алгоритм проверки решения.

- 1) Студент выбирает предметную область.
- 2) Студент выбирает задачу из предметной области.
- 3) Студент изучает материал, предоставленный автором задачи (ссылки на учебный материал, описание задачи, диаграмму БД и т.д)
- 4) Студент пишет скрипт-решение в специальное поле, выбирает тип СУБД, на которой нужно выполнить скрипт, и нажимает «отправить».
- 5) Система получает решение, тип СУБД, и код задачи от студента.
- 6) Система отправляет на соответствующие типу СУБД подключенные экземпляры СУБД скрипт студента и скрипт автора задачи. Экземпляры возвращают результаты запросов системе.
- 7) Система в соответствии с правилами, поставленными преподавателем (например, проверить порядок строк), сверяет результат студента и автора.
  - a) Если результаты совпадают (с учетом правил), то решение считается верным.
  - b) Если по некоторым причинам, скрипт не удалось выполнить на БД, то студент получает сообщение, которое возвратила СУБД (ошибку).

- с) Если результаты студента и автора не совпадают, то студент получает результат своего запроса (если это разрешено автором) и результат автора (если это разрешено автором). На основании результатов он может изменить свой скрипт-решение.

Более подробно процесс проверки решения на сервере отображен на Рисунке 1.

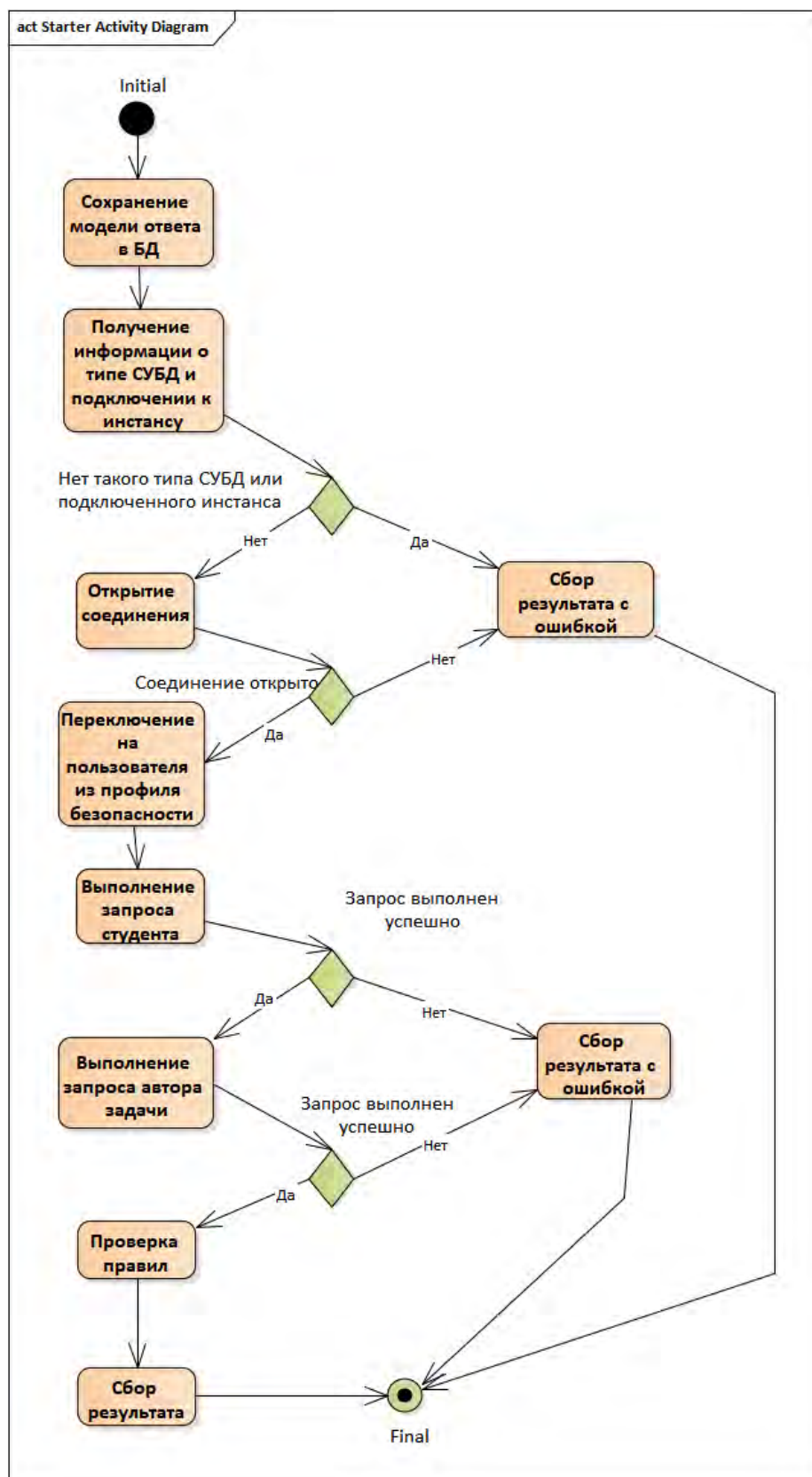


Рисунок 1 – Проверка решения на СУБД



Стоит обратить внимание, что первым выполняется скрипт студента, поскольку, очень вероятно, что скрипт будет с ошибками и может не выполниться. В этом случае не имеет смысла выполнять скрипт автора задания.

### Результаты

На основе предложенного алгоритма составлена альфа версия системы на ASP.NET MVC, которая имеет следующие возможности<sup>1</sup>:

- Автор задач может создавать абстрактную БД и заполнять ее данными.
- Автор задач может создавать задачи в системе внося их описание, картинки диаграмм БД и свое эталонное решение к ним.
- Студент может изучить выбранную задачу из списка и решить ее, внося в специальное поле SQL скрипт-решение и выбрав тип СУБД (пока только MS SQL).
- Система проверяет решение студента и выдает результат с подчеркиванием строк в результирующей таблице(-ах), в которых ошибка, выявленная при сравнении с ответом автора.

На рисунке показаны основные классы для выполнения команд на БД и проверки результата.

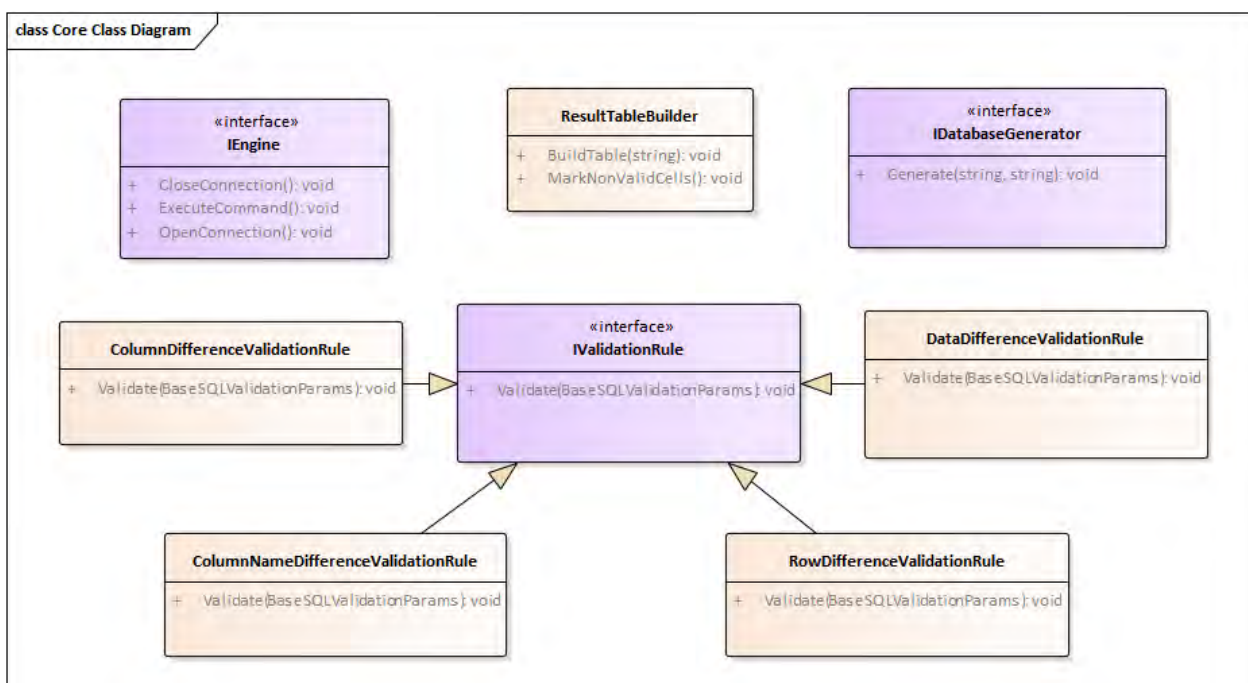


Рисунок 1 – Основные классы и интерфейсы для проверки решения

*ResultTableBuilder* – строит таблицы с результатами (в виде моделей). Неправильные строки маркируются (отмечается поле IsValid = false в объекте строки).

*IEngine* – интерфейс для выполнения команд на СУБД. Классы, реализующие этот интерфейс, зависят от СУБД, с которой они работают и реализуются в отдельной библиотеке.

*IDatabaseGenerator* – интерфейс для выполнения команд по созданию и заполнению тестовыми данными БД. Классы, реализующие этот интерфейс, зависят от СУБД, с которой они работают и реализуются в отдельной библиотеке.

*IValidationRule* – интерфейс для правил проверки решения. Все классы, реализующие данный интерфейс, получают таблицы от запросов студента и автора для своей проверки.

<sup>1</sup> Данная система была реализована как внутренний проект компании ОсОО «Таймлисофт» (Timelysoft LLC). Сайт компании: <http://www.timelysoft.net/>

*RowDifferenceValidationRule* – сверяет количество строк в таблице.

*ColumnNameDifferenceValidationRule* – сверяет имена колонок в таблицах автора и таблицах студента.

*ColumnDifferenceValidationRule* – сверяет количество колонок в таблицах автора и таблицах студента.

*DataDifferenceValidationRule* – сверяет данные в таблицах автора и таблицах студента. Также может учитывать порядок строк.

### Обсуждение результатов

Таким образом, полученная альфа версия может автоматически проверять решение студента без необходимости вмешательства со стороны преподавателя, тем самым сокращая время, затрачиваемое на проверку задания.

Помимо MS SQL, система может также получить поддержку работы с другими СУБД, такими как PostgreSQL, MySQL. Поскольку результатами выполнения запросов в целом являются обыкновенные таблицы с данными, это позволяет студенту выбирать, на каком типе СУБД он хочет выполнить скрипт, не привязываясь к типу СУБД, на котором автор решил задачу. Достаточно будет сверить получившиеся таблицы от двух разных СУБД, чтобы определить – решена ли задача.

### Литература

1. Что такое язык SQL (Structured Query Language) <https://ru.wikipedia.org/?oldid=103455867> (1 декабря 2019)
2. Определение «электронное обучение» <https://ru.wikipedia.org/?oldid=103020624> (29 октября 2019)
3. Data Definition Language (на англ.) [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Data\\_definition\\_language&oldid=923093270](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Data_definition_language&oldid=923093270) (1 декабря 2019)
4. Data Manipulation Language (на англ.) [https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Data\\_manipulation\\_language&oldid=915843955](https://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Data_manipulation_language&oldid=915843955) (1 декабря 2019)
5. Определение «Система управления базами данных» <https://ru.wikipedia.org/?oldid=97461066> (1 декабря 2019)
6. Сайт для самостоятельного изучения SQL <http://sql-ex.ru> (1 декабря 2019)
7. Сайт для проведения олимпиадных соревнований и тренировки по программированию университета КPCY <http://olymp.krsu.edu.kg/> (1 декабря 2019)
8. Императивное программирование и императивный язык программирования <https://ru.wikipedia.org/?oldid=101934922> (1 декабря 2019)
9. Тестирование по стратегии черного ящика <https://ru.wikipedia.org/?oldid=86881359> (1 декабря 2019)

## ПРОЕКТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕЛЕСКОПА СИНТЕЗ В КРЫМСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РАН

Назаров С.В.

*astrotourist@gmail.com*

Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук, пгт. Научный,  
Российская Федерация

*В работе представлен проект восстановления телескопа Синтез в Крымской астрофизической обсерватории РАН (КраО) и первые результаты. Сотрудниками КраО и коллективом волонтеров разработана концепция и поэтапный план восстановления телескопа. Создана экспериментальная электроника, позволившая реализовать позиционирование телескопа и часовое сопровождение. Многократные проверки показали возможность удержания объекта небесной сферы с точностью до одного пикселя на экспозициях около 20 минут на зенитных углах до 40 градусов. На зенитных углах 40-60 градусов допустимое время экспозиции составляет до 10 минут. В настоящее время ведется разработка системы открытия крышки телескопа по сигналу от датчика облачности, поочередной съемки заданного списка объектов, парковки и закрытия крышки полностью в автоматическом режиме. Также создается система автогида на базе CMOS-камеры, которая позволит на порядок улучшить точность часового ведения. Предусматривается возможность удаленного доступа с контролем инструмента из любой точки земного шара при помощи сети Интернет.*

*Ключевые слова: телескопостроение, автоматизация телескопа, Крымская обсерватория*

### **Введение и история проекта**

В 1978м году КраО при участии НПО Астрофизика, ЛОМО, ЦНИИАГ, ГОИ им. С.И. Вавилова, ИОА СО АН СССР и др. [1] ввела в строй новый экспериментальный телескоп «Синтез» (он же АСТ-1200) на экваториальной американской монтировке с оптической системой кассегреновского типа и системой контроля пространственного положения зеркал [2]. Павильон простой, с плоской сдвижной крышей, ориентированный в направлении запад-восток. Целью создания телескопа была отработка пилотных версий следующих технологий: изготовления сегментированной оптики из ситалла и создания системы удержания отдельных элементов в заданном при юстировке положении, а в перспективе даже компенсации турбулентности земной атмосферы [3]. Эти технологии активно применяются в крупных современных инструментах: сегменты позволяют уменьшить толщину главного зеркала и массу телескопа, а адаптивная оптика значительно снижает влияние турбулентности [4].

Летом 1983го года прошли испытания по звездам [3], после чего примерно в середине 1980х проект был закрыт, а телескоп законсервирован. В январе 2018го года проведенный по инициативе сотрудников КраО осмотр инструмента показал его хорошую сохранность и потенциальную пригодность к восстановлению и модернизации. Работы по возврату Синтеза в рабочее состояние и созданию на его базе современного оптического телескопа начались в феврале 2018го года.

### **Характеристики телескопа**

Главное зеркало диаметром 1,2 метра состоит из 7-ми тонких шестиугольных ситалловых (СО 115М) сегментов: один в центре и шесть по окружности. Форма отражающей поверхности сегментов описана как сферическая [3], либо как внеосевой параболоид. В 1980е годы наблюдения

велись в кассегреновском фокусе, за главным зеркалом ( $F = 12$  м) установленным в трубе ферменной конструкции, обшитой пластиковой защитой [3]. Прямой фокус главного зеркала 4,4м. Достигнутое разрешение телескопа около 0,5" [4]. Каждый из сегментов имел возможность точных подвижек по двум направлениям при помощи специальных двигателей с обратной связью. По третьему направлению зеркало пассивно подпружинивалось, вероятно для повышения быстродействия. Все сегменты имели возможность независимой фокусировки и юстировки при помощи двигателей и экранов, позволяющих работать с каждым сегментом по-отдельности. Система управления зеркалами полностью аналоговая. Перед фокусом устанавливался корректор для компенсации аберраций в поле 5' [4].

Монтировка вилочная экваториальная с размахом около 1,5м, снабжена тремя двигателями по каждой из двух осей: шаговым для отработки часового ведения, ДПТ 110В 0,3 кВт для тонкого движения и ДПТ 110В 0,8 кВт для грубого движения. Система приводов аналогична установленной в телескопе АЗТ-24 [3]. Контроль позиционирования осуществлялся при помощи двух спаренных сельсинов на каждой оси.

### **Оценка состояния и планы по восстановлению**

Анализ состояния телескопа выявил хорошую сохранность и лишь незначительные повреждения, образовавшиеся за 35 лет хранения. Однако электронные системы управления монтировкой, сельсинами и позиционированием зеркал устарели и морально и физически. Современные устройства точного управления сегментами на базе гексаподов превышают финансовые возможности КрАО, а их поставка затруднена в связи с санкциями. Опыт собственного производства подобной техники отсутствует.

В связи с этим было принято решение о создании фактически нового телескопа на базе существующей механической системы (павильон, монтировка, привода и труба). Предполагаемая оптическая система – цельное параболическое или гиперболическое главное зеркало метрового размера с корректором и приёмником в прямом фокусе с аберрациями, укладываемыми в пиксель 9-13 микрон на поле зрения не менее 30'x30'. Главным преимуществом этого инструмента станет полная автоматизация: начало и завершение наблюдений по сигналам от метеодатчиков, возможность работы как по заранее заданному списку задач, так и онлайн-взаимодействие с веб-интерфейсом для удаленного доступа к телескопу коллег из других организаций.

Научные задачи: фотометрия, астрометрия, поисковые работы (послесвечение гамма-всплесков, новые и сверхновые, килоновые, отождествление новых источников и др.), поддержка исследований в других диапазонах длин волн, в том числе и орбитальных миссий, а также создание комплекса автоматического управления телескопом.

### **Первые результаты**

1. Создана система управления крышей павильона на базе частотного преобразователя Веспер и контроллера Овен ПЛК100.
2. Созданы блоки питания постоянного тока 110В 1кВт для приводов монтировки
2. Запущены и испытаны все привода по обеим осям телескопа
3. Создана первая рабочая версия электронной системы позиционирования телескопа
4. Создана рабочая система управления шаговым двигателем часового ведения
5. Эмпирическим путем подобрана оптимальная скорость часового ведения
6. Получены тестовые снимки через телескоп-гид с выдержками до 20ти минут с разрешением 0,4"/px
7. Создано программное обеспечение для экспериментов по наведению телескопа и получению данных с датчиков углового положения
8. Рассчитана новая оптическая схема телескопа с полем зрения 1 градус

### Литература

1. Сычев В.В. Технологические аспекты создания крупногабаритных оптических телескопов // Наука и образование. 2015. № 2. С. 269-285.
2. Basov N.G. The MMT and future of ground. Based Astronomy, 1980. № 385, p. 185.
3. Устинов Н.Д. и др. Астрономический телескоп АСТ 1200 с составным главным зеркалом // ОМП. 1985. № 11. С. 22-25.
4. Basov N.G. New astronomical telescope AST-1200 with a segmented, actively controlled segmented primary mirror // SAOSR, 1979, p. 185-189.

## ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Сагындикова А.Ж., Тогжанова К.О., Наухан Е.М., Исмаил О.

*a.sagyndikova@aues.kz, k.togzhanova@ aues.kz*

Алматинский университет энергетики и связи имени Гумарбека Даукеева, г. Алматы,  
Республика Казахстан

*Представлено состояние теплоэнергетического оборудования Республики Казахстан. Показана необходимость создания современной системы, которая будет работать с использованием ретроспективных данных на основе распределенных вычислительных инфраструктур. Проанализированы современные информационные системы теплоэнергетической диагностики, предложены критерии контроля состояния теплоэнергетического оборудования, вопросы энергосбережения и эффективного использования энергоносителей являются основной проблемой национальной безопасности Республики Казахстан. Теплоэнергетический комплекс является основой энергетического сектора, анализ существующих информационных систем (ИС) теплоэнергетического диагностирования и выработка критериев для дальнейшей разработки, внедрения и сопровождения ИС мониторинга и анализа режимов функционирования объектов теплоэнергетики с учетом их текущего технического состояния. В связи с этим актуальность создания информационной системы диагностирования и мониторинга состояния теплотехнического оборудования не вызывает сомнений.*

*Ключевые слова: теплоэнергетика, котельная, информационная система, диагностика, мониторинг, распределенная вычислительная инфраструктура*

Вопросы энергосбережения и эффективного использования энергоносителей являются основной проблемой национальной безопасности Республики Казахстан. Теплоэнергетический комплекс является основой энергетического сектора.

Основным источником получения тепла является котельная установка, это один из наиболее частых источников возникновения неисправностей, среди которых повреждение поверхностей нагрева котлов, систем топливоподачи, вспомогательного оборудования, автоматики и т.д. В таблице 1 приведены распределение отказов оборудования энергоблоков мощностью 400 МВт [1,2].

Таблица 1 – Распределение отказов оборудования энергоблоков

Элементы	Процентное соотношение отказов, %
Поверхности нагрева	81,2
Дополнительное оборудование	4,5
Топливоподача, газопроводы	1,5
Регенеративные воздухонагреватели	0,3
Арматура	4,6
Автоматика и управление	7,4
Другое оборудование	0,5

На сегодняшний день 85% теплоэнергетического оборудования в Республике Казахстан вырабатывает свой ресурс, в связи с этим возникает проблема создания систем контроля, технической диагностики и мониторинга теплоэнергетического оборудования.

К основным причинам отказов котлов, вспомогательного оборудования котельных установок относятся неполадки и неисправности дымососов, дутьевых вентиляторов, регенеративных воздухоподогревателей и др.

В топке и газоходах возможны взрывы и стуки через накопления значительного количества несожженного топлива. Причинами этого могут быть осаждения топлива на пол или в холодную воронку, отнесенных в газоходы вследствие некорректной организации процесса горения в топке.

Низкая надежность теплотехнического оборудования приводит к авариям и значительным потерям теплоты и, как следствие, к большим экономическим затратам и значительному количеству ремонтных работ. Статистика повреждения и теплопотерь в тепломагистралях РК на рисунке 1 [3].

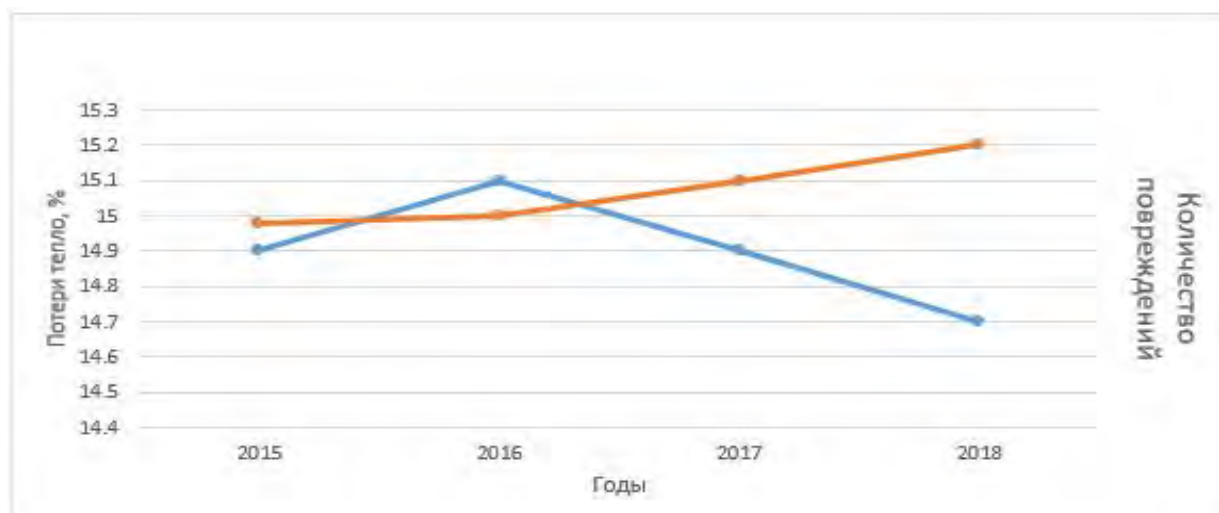


Рисунок 1 – Статистика повреждений и теплопотерь в тепломагистралях РК

Для повышения надежности теплоэнергетического оборудования необходимо накопление и систематизация данных длительной эксплуатации установок, которые производились раньше, и создание на этой основе установок, которые будут приспособлены к определенным условиям эксплуатации [4].

Основным развитием, с одной стороны, являются методы технической диагностики для выявления, локализации и предупреждения отказов элементов теплотехнического оборудования, определяющих вероятные отказы и повреждения, с другой – разработка эффективных методов статистической обработки полученных данных для определения на их основе показателей надежности.

Своевременное обнаружение точных координат повреждения обеспечивает определения:

- в плановом (не аварийном) порядке провести ремонт и тем самым не допустить развития повреждения до критической стадии, когда внезапно нарушается работоспособность теплопровода, а ситуация перерастает в аварийную с выбросом теплоносителя на поверхность земли;

- снизить объемы и соответственно затраты при ремонтных работах;
- уменьшить перерывы теплоснабжения потребителей;
- уменьшить потери теплоносителя;
- снизить затраты на послеаварийные восстановительные работы, штрафы.

Целью работы является анализ существующих информационных систем (ИС) теплоэнергетического диагностирования и выработка критериев для дальнейшей разработки, внедрения и сопровождения ИС мониторинга и анализа режимов функционирования объектов теплоэнергетики с учетом их текущего технического состояния.

В настоящее время целый ряд технических и физических методов диагностики (акустические методы, методы использования магнитной памяти металла и др.) с тем или иным успехом используются при исследовании технического состояния теплоэнергетического объекта. Технические данные, получаемые при диагностике различными методами, подлежат качественной расшифровке и количественному анализу, в результате которого весь спектр обнаруженных потенциально опасных участков на исследуемом объекте должен классифицироваться по степени своей опасности для дальнейшей безопасной эксплуатации.

Для диагностирования теплотехнического оборудования применяется разрушающий и неразрушающий контроль.

Разрушающий контроль (РК) – это совокупность методов измерения и контроля показателей качества изделия, по завершении которого нарушается пригодность объекта контроля к использованию по назначению. Позволяет контролировать качество материалов конструкций и их элементов, определять предел прочности и надежности. Преимущество разрушающего контроля состоит в том, что он позволяет получать количественные характеристики материалов.

Неразрушающий контроль (НК) – это контроль свойств и параметров объекта, при котором не должна быть нарушена пригодность объекта к использованию и эксплуатации. Метод является основным при проведении диагностики состояния оборудования и элементов конструкций, которые требуют особой надежности. Преимущество неразрушающего контроля состоит в том, что не требуется выведение объекта из рабочего режима либо его демонтаж.

Достоинства методов неразрушающего контроля (МНК):

- сравнительно большая скорость контроля,
- высокая надежность (достоверность) контроля,
- возможность механизации и автоматизации процессов контроля,
- возможность применения МНК в пооперационном контроле изделий сложной формы,
- возможность применения МНК в условиях эксплуатации без разборки машин и сооружений, и демонтажа их агрегатов,
- сравнительная дешевизна контроля и др.

Одним из наиболее частых распространённых методов неразрушающего контроля для контроля теплотехнического оборудования является дефектоскопия.

Дефектоскопия — это совокупность методов, которые выявляют дефекты конструкций, оборудования на предприятиях, металлических изделий и заготовок.

Основной принцип проведения дефектоскопии (или метод неразрушающего контроля) – выявление потенциально опасных участков для предупреждения аварий, при этом не технологический процесс не должен быть остановлен, а демонтаж объекта исследования не требуется. Тщательный контроль — залог безопасности. Особо важные объекты, которые интенсивно эксплуатируются, проверяются регулярно.

В зависимости от физических явлений, МНК подразделяют на 9 видов:

- акустический,
- ультразвуковой (магнитный),
- вихретоковый,
- проникающими веществами,
- радиоволновый,
- радиационный,
- оптический,
- тепловой,
- электрический.

Под акустическим видом неразрушающего контроля понимают вид, основанный на регистрации параметров упругих колебаний, возбуждаемых и (или) возникающих в контролируемом объекте (рисунок 2).



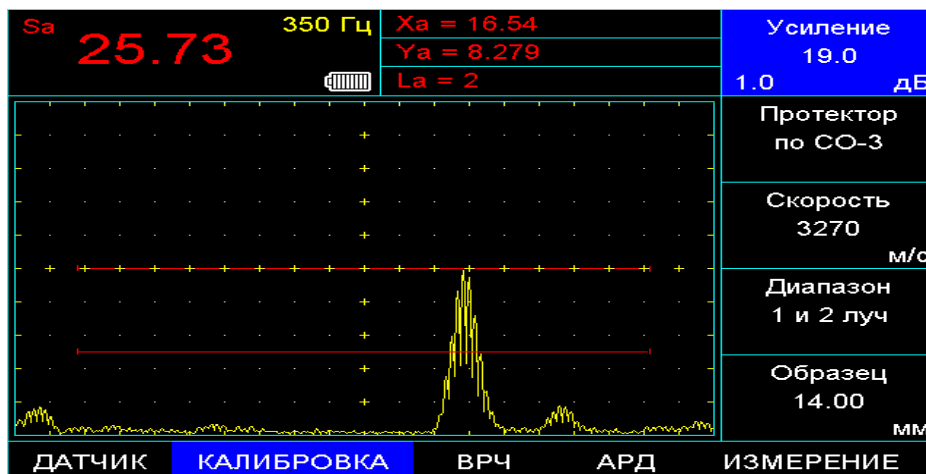


Рисунок 2 – Акустический вид неразрушающего контроля

В акустическом виде неразрушающего контроля чаще всего применяют звуковые и ультразвуковые частоты, т.е. используют диапазон частот приблизительно от 25,73 Гц до 350 Гц. В случае, когда при контроле используют частоты свыше 20 Гц, допустимо применение термина «ультразвуковой» вместо термина «акустический» (рисунок 3).

По характеру взаимодействия упругих колебаний с контролируемым материалом акустические методы подразделяют на следующие основные методы:

- прошедшего излучения (теневой, зеркально-теневой);
- отраженного излучения (эхо-импульсный);
- резонансный;
- импедансный;
- свободных колебаний;
- акустико-эмиссионный.

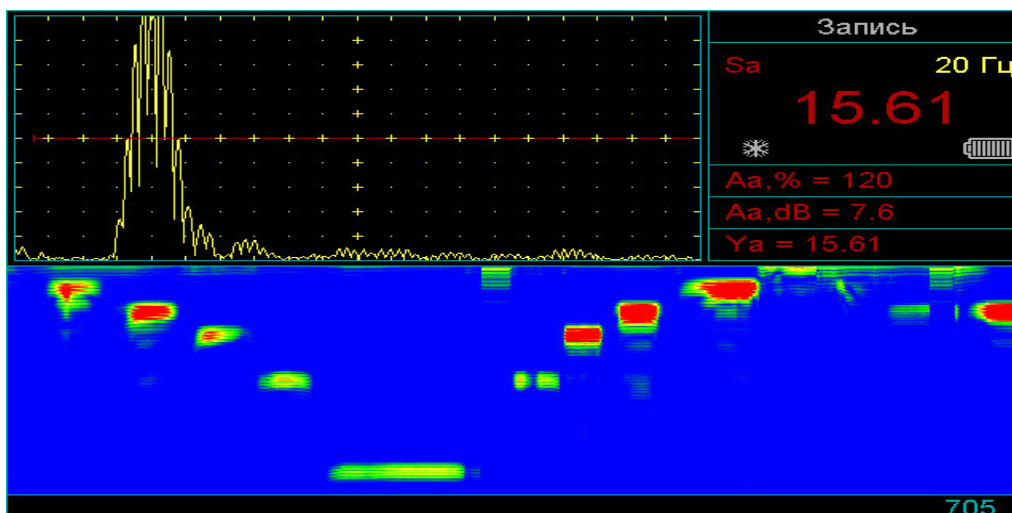


Рисунок 3 – Диагностика труб - дефекты коррозии внутренней поверхности трубы

Акустические методы по характеру регистрации первичного информативного параметра подразделяются на амплитудный, частотный, спектральный, решают следующие контрольно-измерительные задачи:

- метод отраженного излучения обнаруживает дефекты типа нарушения сплошности, определяет их координаты, размеры, ориентацию путём прозвучивания изделия и приёма отраженного от дефекта эхо-сигнала;

- резонансный метод применяется в основном для измерения толщины изделия (иногда применяют для обнаружения зоны коррозионного поражения, непропаев, расслоений в тонких местах из металлов);

- акустико-эмиссионный метод обнаруживает и регистрирует только развивающиеся трещины или способные к развитию под действием механической нагрузки. Метод имеет высокую чувствительность к росту дефектов позволяет обнаружить увеличение трещины на 1-10 мкм, причём измерения, как правило, проходят в рабочих условиях при наличии механических и электрических шумов;

- метод свободных колебаний применяется для обнаружения глубинных дефектов.

Вихретоковый контроль трубопроводов выявляет микротрещины поверхности труб и сварных швов в местах изгибов и деформации трубы трубопровода. Вихретоковый контроль трубопроводов можно применять в условиях высоких температур стенок труб, где неприменим капиллярный контроль поверхности.

По результатам применения активного акустического МНК представленного на рисунке 4, представлено, что в левой части рисунка изображен объект, не имеющий дефектов и соответствующий его проверке график, на котором отображены информативные параметры акустической волны (в данном случае время прохождения через объект). Справа изображен график, соответствующий наличию дефекта.

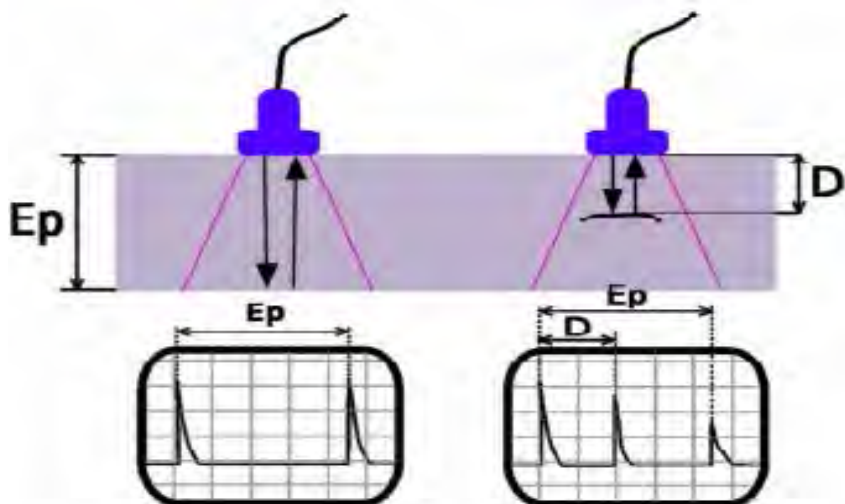


Рисунок 4 – Результат применения активного акустического МНК (отражения)

Выбор оптимального метода неразрушающего контроля следует осуществлять исходя из его: реальных особенностей; физических основ; степени разработки; области применения; чувствительности; разрешающей способности; технических условий отбраковки; технических характеристик аппаратуры.

Измерительная система неразрушающего контроля должна быть скомплектована из прибора, преобразователя и контрольного образца. Основные функции, которые должна выполнять разрабатываемая ИС для диагностики и мониторинга состояния теплотехнического оборудования:

- сбор результатов измерений параметров работы котельной в реальном времени;
- мониторинг эксплуатационных режимов;
- контроль значений параметров технологических процессов котельной;
- своевременное выявление нештатных и критических ситуаций, предупреждение аварийных;
- формирование архива результатов измерений параметров;
- формирование и визуализация графиков;
- анализ ретроспективной информации;

- учет выработанной и отпущенной тепловой энергии, а также расходов на собственные нужды;

- подготовка отчетной документации; расчет экономических показателей котельной.

Современные технологии, в частности Internet of Things (IoT, «интернет вещей»), открывают новые возможности для улучшения существующих систем. Применение такой технологии приведет к увеличению эффективности, снижению издержек, внедрение энергосберегающих технологий.

IoT – это глобальная сеть подключенных к Интернету физических устройств – «вещей», оснащенных сенсорами, датчиками и устройствами передачи информации. Эти устройства объединены посредством подключения к центрам контроля, управления и обработки информации.

На рисунке 5 показана упрощенная структурная схема разрабатываемой ИС. С помощью сенсоров возможно будет получать данные и накапливать их в течение продолжительного времени. В случае возникновения внештатной ситуации, фиксируются ее параметры, а также принятые действия. Это позволит построить прогнозирующую модель, которая позволит по накопленным данным не только предвидеть те или иные события, но и выработать рекомендации для дальнейшего функционирования объекта диагностики.

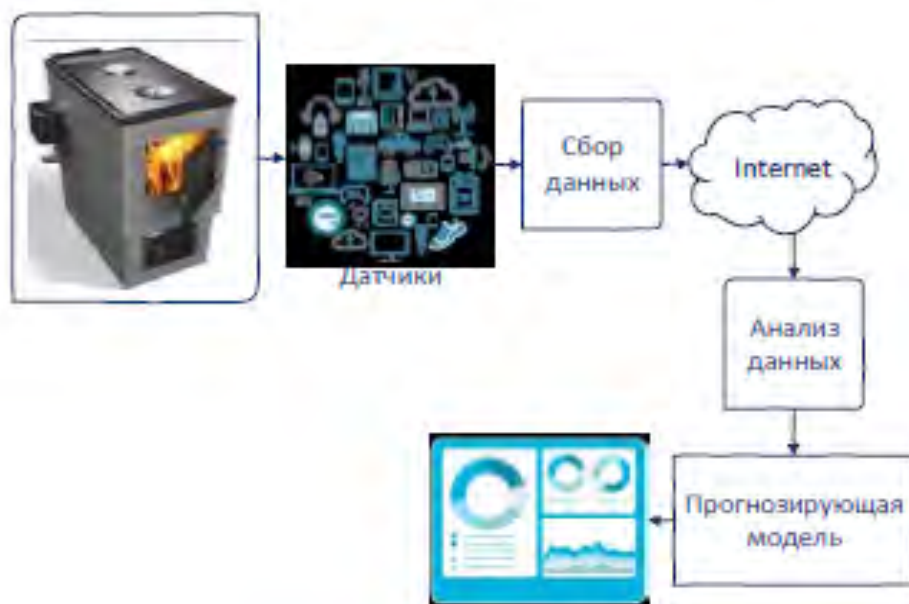


Рисунок 5 – Структурная схема разрабатываемой ИС

Базой для создания диагностических моделей могут служить процессы Бунимовича-Райса (модели шумовых сигналов) [5]:

Простейшей диагностической моделью могут служить процессы Бунимовича-Райса:

$$\xi(t) = \sum_{k=1}^{v(t)} \eta_k h(t-t_k),$$

где  $v(t)$  - однородный процесс Пуассона с интенсивностью  $\lambda$  описывает число импульсов на интервале  $[0,t]$ ; моменты времени возникновения импульсов  $t_k$  являются однородным пуассоновским потоком событий; неслучайная функция  $h(t)$  интенсивности появления импульсов  $\lambda$ . Поэтому диагностическими признаками могут являться вероятностные характеристики шумовых сигналов [6].

Таким образом, использование ИС на базе распределенных вычислительных инфраструктур с использованием ретроспективной информации позволит на качественно новом уровне подойти к диагностированию и мониторингу объектов теплоэнергетики.

В заключение проведенного анализа установлено, что большая часть теплотехнического оборудования, которое используется в Республике Казахстан,

технологически и морально устарело. В связи с этим актуальность создания информационной системы диагностирования и мониторинга состояния теплотехнического оборудования не вызывает сомнений.

В данной статье предложено создание нового типа ИС для теплотехнической диагностики, которая базируется на анализе ретроспективной информации с использованием распределенных вычислительных инфраструктур («облаков»). Наиболее вероятный вариант реализации такой системы возможен с использованием цифровой технологии IoT.

В настоящее время ведется анализ параметров контроля, необходимых для создания ИС. Одним из наиболее важных параметров станет состав дымовых газов, который можно измерять при помощи системы контроля за процессом горения.

### Литература

1. Казаков А.В. Надежность, диагностика элементов энергетического оборудования. Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та. 2010. 224 с.
2. Гладышев Г.П. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС. Учеб. пособие для вузов / Под ред. А.И. Андриященко. М.: Высш. шк. 2000. 301 с.
3. Ахметзянов А.М., Дубравский Н.Г., Тунаков А.П. Диагностика состояния ВРД по термогазодинамическим параметрам. М.: Машиностроение. 1983. 206 с.
4. Бюргер И.А. Техническая диагностика. М.: Машиностроение. 1978. 240 с.
5. Вапник В.Н., Червоненкис А.Я. Теория распознавания образов. М.: Наука. 1974. 416 с.
6. Елисеев Ю.С., Крымов В.В., Малиновский К.А., Попов В.Г. Технология эксплуатации, диагностики и ремонта газотурбинных двигателей. Учеб. пособие. М.: Высш. шк. 2002. 355 с.

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ ПЛАСТА

Нуриддинов Ж.Ф., Хабибуллаев С.С.

*jnuriddinov13@mail.ru*

Институт геологии и разработки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент,  
Республика Узбекистан

*В статье дан анализ распространения упругости горных пород и упругости фильтрующейся жидкости, изменения давления в пласте и при каких условиях это обстоятельство можно использовать для определения одного из важнейших параметров пласта - коэффициента пьезопроводности. Изучены и проанализированы несколько методов определения и в заключении дана предлагаемая методика подсчета коэффициента пьезопроводности пласта.*

*Ключевые слова: упругость, горные породы, фильтрация, пласт, параметры, пьезопроводность.*

Вследствие упругости горных пород и упругости фильтрующейся жидкости изменения (возмущения) давления в пласте распространяются всегда не мгновенно. При соответствующих условиях это обстоятельство можно использовать для определения одного из важнейших параметров пласта – коэффициента пьезопроводности [1].

Допустим, что при практически установившемся состоянии пластового давления пустили в эксплуатацию какую-нибудь возмущающую скважину с постоянным дебитом  $Q = const$ . Затем через определенный промежуток времени  $t_1$  ее остановили. При этих условиях характерные особенности изменения забойного пластового давления  $\Delta p$  в любой реагирующей соседней скважине описаны в книге [1] и схематично изображены на рисунке 1.

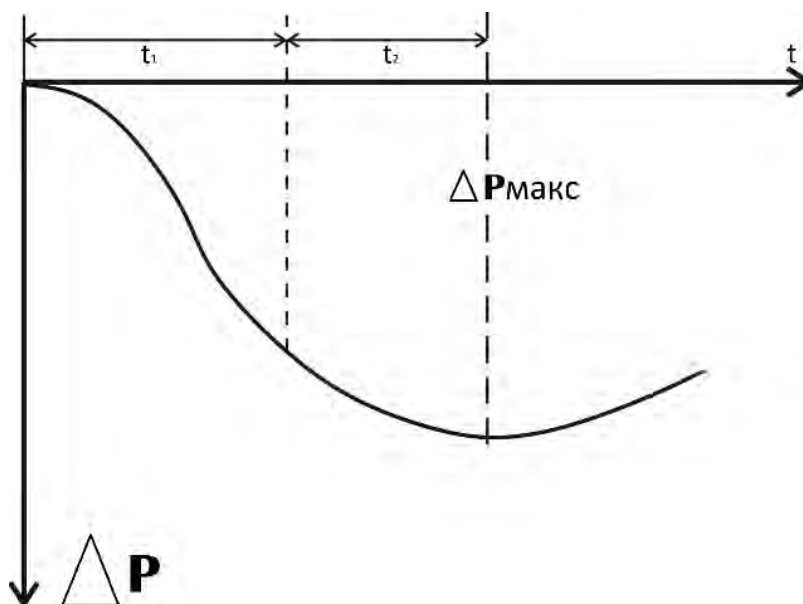


Рисунок 1 – Изменение забойного пластового давления.  $t_1$  - промежуток времени от начала пуска возмущений скважины до ее остановки;  $t_2$  - промежуток времени от начала остановки до момента, соответствующего максимальному изменению  $\Delta p_{\text{макс}}$  в реагирующей скважине

Изменение пластового давления  $\Delta p$  в реагирующей скважине в любой момент после остановки возмущающей скважины определяют по следующей формуле:

$$\Delta p = \frac{\mu * Q}{4\pi * k * h} \left[ -E_i \left( -\frac{r^2}{4\kappa(t_1 + t)} \right) + E_i \left( -\frac{r^2}{4\kappa * t} \right) \right], \quad (1)$$

где  $r$ -расстояние между возмущающей и реагирующей скважинами;

$Q$ -постоянный дебит возмущающей скважины до ее остановки, т.е. в течение промежуточного времени  $t_1$ ;

$\frac{kh}{\mu}$ -коэффициент гидропроводности пласта;

$t$ -время, отсчитываемое от момента остановки.

Дифференцируя уравнение (1) по  $t$ , получим:

$$\frac{\partial \Delta p_c}{\partial t} = \frac{\mu * Q}{4\pi * k * h} \left[ \frac{e^{-\frac{r^2}{4\kappa(t_1+t)}}}{t_1 + t} - \frac{e^{-r^2}}{t} \right]. \quad (2)$$

Для момента  $t_2$  должны иметь или, учитывать равенство (2),

$$\left. \frac{\partial \Delta p_c}{\partial t} \right|_{t=t_2} = 0$$

$$\frac{e^{-\frac{r^2}{4\kappa(t_1+t_2)}}}{e^{-\frac{r^2}{4\kappa t_2}}} = \frac{t_1 + t_2}{t_2}. \quad (3)$$

Прологарифмируем равенство (3):

$$\frac{r^2}{4\kappa * t_2} - \frac{r^2}{4\kappa(t_1 + t_2)} = \ln \frac{t_1 + t_2}{t_2},$$

Отсюда получим:

$$\kappa = \frac{\frac{r^2 * t_1}{4t_2(t_1 + t_2)}}{\ln \frac{t_1 + t_2}{t_2}}. \quad (4)$$

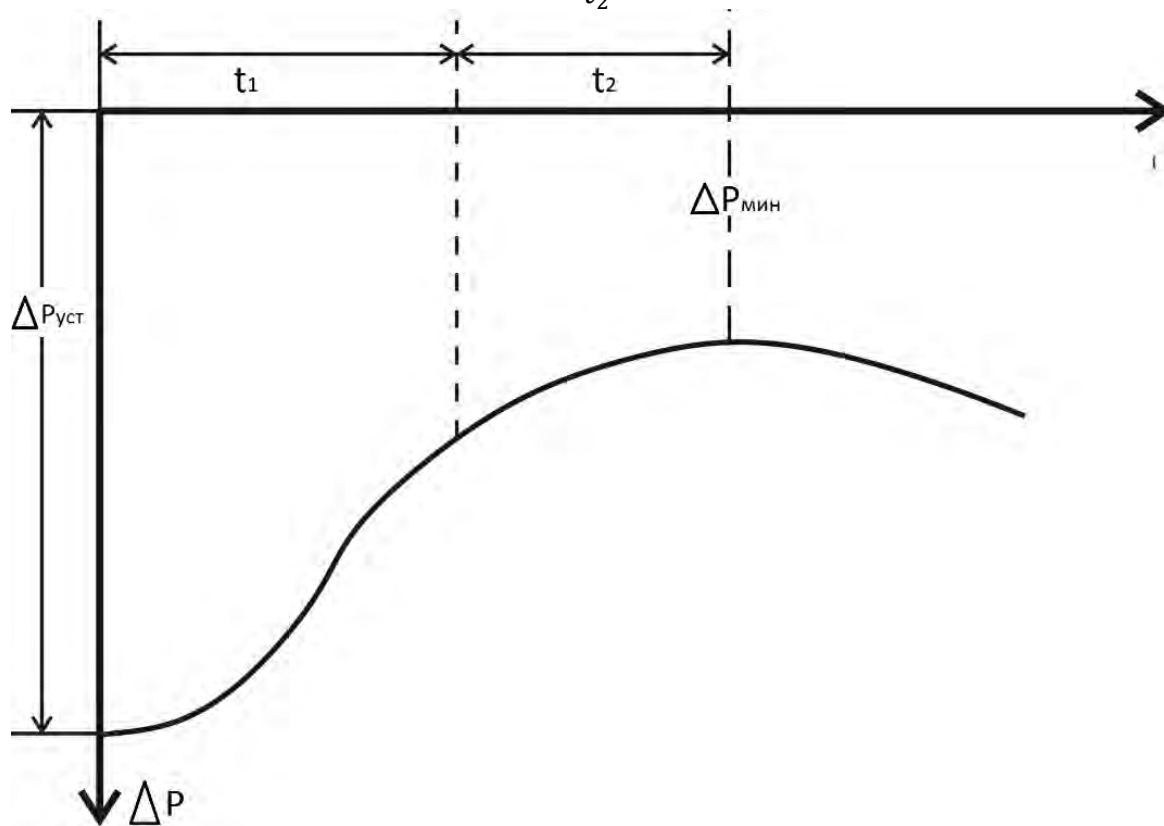


Рисунок 2 – График изменения забойного давления реагирующей ( $t_1$ ) и возмущающей ( $t_2$ ) скважин во времени

Очевидно, при наличии графика изменения давления в реагирующей скважине, отражающего пуск и последующую остановку соседней возмущающей скважины, и при известном  $r$  всегда можно определить  $k$ , пользуясь формулой (4).

Однако в большинстве случаев приходится исследовать скважины не вновь пускаемые, а работающие при практически установившемся режиме. Поэтому, чтобы получить необходимые данные для определения коэффициента  $k$ , удобно сначала остановить какую-нибудь из работающих скважин на время  $t_1$ , а затем снова пустить ее. При этом получается характер изменения давления в реагирующей скважине, обратный тому, который изображен на рис.1, причем формула (4) не изменяется. На рисунке 2 схематично изображен график изменения пластового давления в реагирующей скважине после остановки последующего пуска возмущающей скважины.

Преимущества предлагаемой методики подсчета коэффициента пьезопроводности пласта следующие:

- 1) Формула расчета весьма простая;
- 2) Влияние притока к забою возмущающей скважины после ее остановки на характер изменения пластового давления в реагирующей скважине очень мало;
- 3) Расчетная формула позволяет определить коэффициент пьезопроводности  $k$ , характеризующий пласт на всем протяжении от возмущений до реагирующей скважины (т.е. вдоль заданного направления);
- 4) Не требуется никакой обработки кривой изменения давления; достаточно только определить точку, соответствующую максимальному изменению пластового давления;
- 5) При остановке одной скважины (или изменении ее режима) можно одновременно исследовать все соседние реагирующие скважины, что позволяет значительно ускорить работу исследования скважин.

#### Литература

1. Щелкачев В.Н. Разработка нефтеводоносных пластов при упругом режиме. М.: Гостоптехиздат, 1959. 467 с.
2. Малофеев Г.Е. Нагнетание в пласт теплоносителей для интенсификации добычи нефти и увеличения нефтеотдачи. М.: НИЦ "Регулярная и хаотическая динамика", Институт компьютерных исследований. 2017. 224 с.
3. Кубанов А.Н., Федулов Д.М., Сокерин А.В. и др. Новый методический подход к расчетному определению температуры точки росы газа сепарации по углеводородам // Наука и техника в газовой промышленности. 2017. № 2. С. 63-71.

## **МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ВАРИАЦИЙ АКТИВНОСТИ ПТИЦ В СВЯЗИ С КРАТКОСРОЧНЫМ ПРОГНОЗОМ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КАЗАХСТАНЕ**

Ню В.А., Арифлулова И.И., Суровцева Н.В.  
*nu\_viktoriya@mail.ru, arif\_irina@mail.ru, natali.s71@mail.ru*  
Институт сейсмологии, г. Алматы, Республика Казахстан

*В работе представлен анализ вариаций двигательной активности волнистых попугайчиков. Определено, что у данного вида птиц практически не выражены сезонные ритмы, что обусловлено особенностями биологии вида. Проанализирована связь двигательной активности птиц с солнечной активностью, атмосферными и сейсмическими факторами. Выявлена четкая связь параметров биологической активности с исследуемыми внешними факторами. Зафиксировано повышение показателей двигательной активности перед рядом сейсмических событий, выражающееся в проявлении аномальных вариаций.*

*Ключевые слова: волнистые попугайчики, двигательная активность, сейсмические события, атмосферные факторы, вариации активности*

### **Введение**

Проблема прогноза землетрясений крайне актуальна и сложна. Основой прогноза является организация мониторинга сейсмических процессов в сейсмоактивных регионах различными методами. В этой связи для решения задач краткосрочного прогноза используется междисциплинарный подход с привлечением таких наук, как геофизика, биология, физиология, метеорология, астрофизика, математика и др. Сейсмобиомониторинг – один из методов комплексного прогноза сейсмических процессов в Казахстане.

### **Объекты наблюдения**

Выбор птиц, как объекта наблюдения в системе сейсмобиомониторинга обусловлен чувствительностью данного класса животных к магнитным потокам Земли, что делает птиц очень удобными и перспективными объектами исследований в области сейсмобиологии. Анализ литературы показал, что практически в 50% случаев среди животных, ощущающих приближение землетрясений, были птицы [1]. Волнистых попугайчиков (*Melopsittacus undulatus*) считают одним из самых распространенных видов домашних попугаев в частности и домашних птиц в целом. Они отличаются небольшими размерами, неприхотливы в содержании. В этой связи данный вид был выбран как объект наблюдения на сейсмобиостационарах, и вот уже более 15 лет его поведение изучается.

Основой наблюдения за поведением волнистых попугайчиков в зоне сейсмической уязвимости является изучение вариаций активности (суточных и сезонных) и выявление связи данного параметра с атмосферными, космическими и сейсмическими факторами. Наблюдение осуществлялось на одном из биостационаров Алматинского прогностического полигона ТОО «СОМЭ» («Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция»), расположенном в черте города Алматы.

### **Методика исследования**

Регистрация двигательной активности осуществляется при помощи специального прибора «РДА-П». В конструкции прибора используется механический контактный датчик, укрепленный на жердочке для присаживания птиц и срабатывающий при посадке и взлете. Показания счетчика за один час характеризуют суммарную двигательную активность



попугайчиков [1]. Информативными параметрами являлись изменение амплитуды вариаций двигательной активности, рассогласование и инверсия суточного ритма.

Обработка данных сводилась к расчёту значений среднего квадратичного отклонения ( $\sigma$ ) для среднесуточных данных. Выявлялись аномалии, превышающие пороги  $\pm 2\sigma$  – отклонения от фонового уровня и  $\pm 3\sigma$  – критический уровень, отражающий аномалии предвестникового характера [2].

Одновременно с регистрацией двигательной активности проводилось измерение атмосферных параметров (температуры воздуха и атмосферного давления). Данные о геомагнитных изменениях в магнитосфере Земли были получены с сайта «Лаборатории Рентгеновской астрономии Солнца» [3]. Данные о солнечной активности (числа Вольфа) были получены с сайта Кисловодской Горной астрономической станции [4].

### Результаты и обсуждение

В работе представлены результаты анализа многолетних вариаций (2001-2019 годы) двигательной активности птиц; проанализированы данные за 14-летний период на предмет выявления внешних факторов, влияющих на активность птиц.

На рисунке 1 представлены сезонные вариации двигательной активности волнистых попугайчиков, зарегистрированной в автоматическом режиме за многолетний период (2001-2019 гг.). Из рисунка следует, что сезонные ритмы двигательной активности практически не выражены, что соответствует литературным данным [5] и обусловлено особенностями биологии вида.

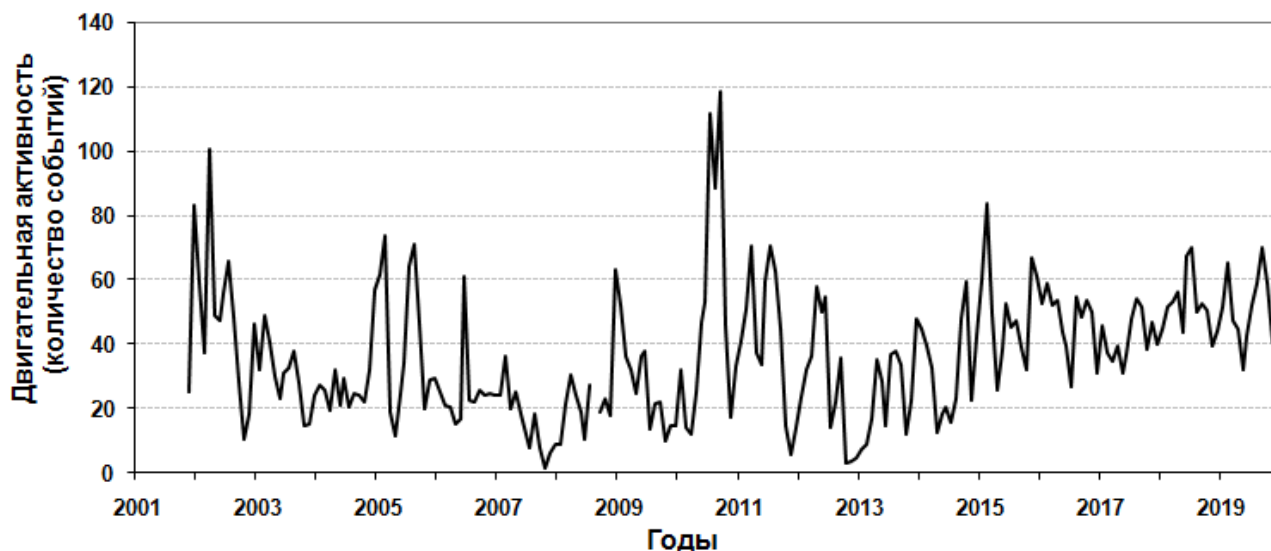


Рисунок 1 – Многолетние ряды сезонных вариаций активности волнистых попугайчиков

На рисунках 2 и 3 представлены диаграммы распределения аномалий в двигательной активности попугайчиков по месяцам за период с 2001 по 2019 годы. Из рисунков 2, 3 и таблицы 1 видно, что большая часть аномалий двигательной активности попугайчиков приходится на месяцы с декабря по февраль и с июня по июль, однако высокая активность попугайчиков сохраняется в течение всего года, что также соответствует нормальному поведению изучаемого вида птиц в природе. Наименьшее количество аномальных вариаций двигательной активности было зафиксировано в мае, октябре и ноябре.

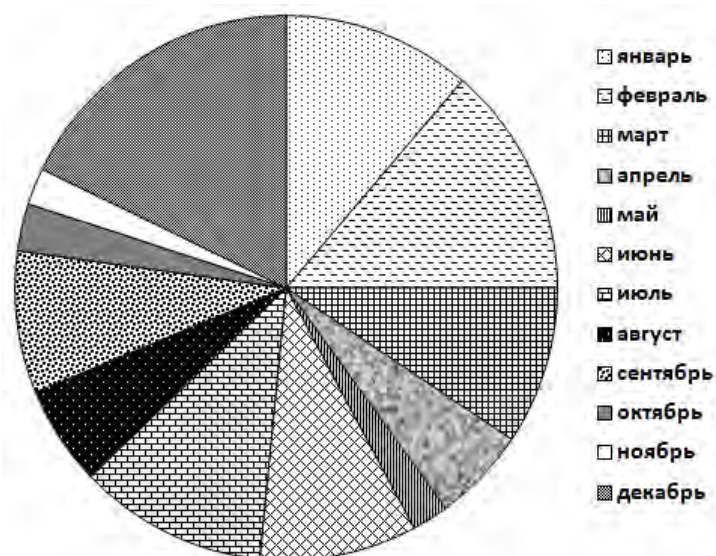


Рисунок 2 – Процентное соотношение аномалий двигательной активности волнистых попугайчиков по месяцам за 2001-2019 годы

Таблица 1 – Распределение аномалий двигательной активности волнистых попугайчиков по месяцам за 2001-2019 годы

Месяцы	Кол-во аномалий	%
январь	36	11,3
февраль	44	13,8
март	30	9,4
апрель	18	5,6
май	7	2,2
июнь	30	9,4
июль	36	11,3
август	19	5,9
сентябрь	27	8,4
октябрь	9	2,8
ноябрь	7	2,2
декабрь	57	17,8

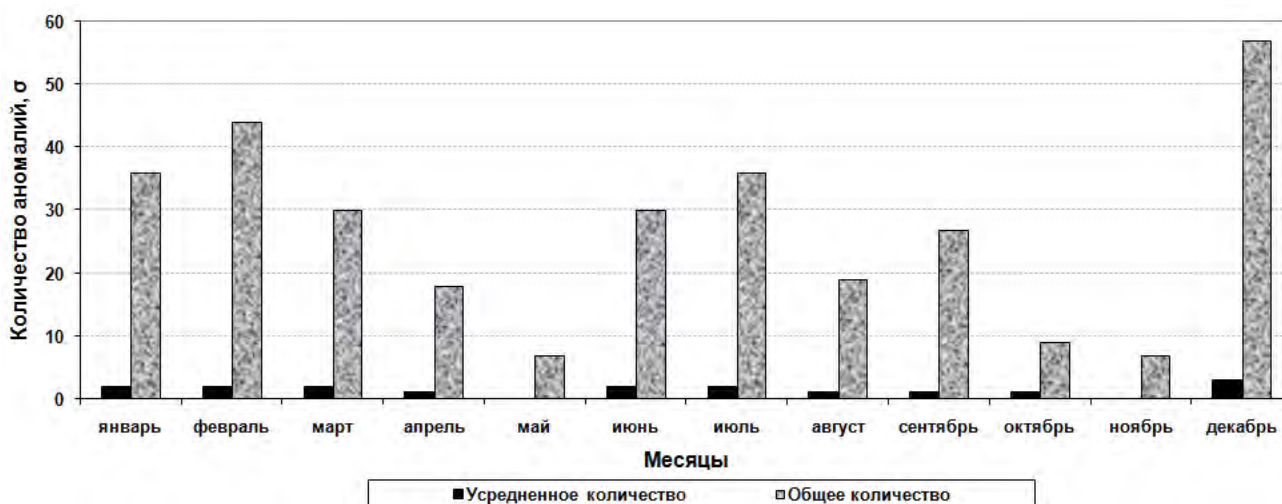


Рисунок 3 – Отношение усредненного количества к общему количеству аномалий двигательной активности волнистых попугайчиков за 2001-2019 годы

### Аномалии, выражающиеся в превышении значений $\sigma = 2$

При анализе двигательной активности волнистых попугайчиков за 2006-2019 годы путём расчёта среднего квадратического отклонения ( $\sigma$ ) было выявлено 250 аномалий, выражающихся в превышении значения  $\sigma=2$ . Как видно из таблицы 2 и рисунка 4 наибольшее влияние на поведение птиц оказывали атмосферные факторы (такие как, перепады или резкие изменения температуры воздуха и атмосферного давления), а также совокупность различных факторов.

Таблица 2 – Факторы, оказывающие влияние на аномалии в двигательной активности волнистых попугайчиков в 2006-2019

№	Факторы	%
1	атмосферные	52,8
2	магнитные	8,4
3	совокупность факторов	19,2
4	сейсмические	3,2
5	биологические	2,8
6	неясной природы	13,6

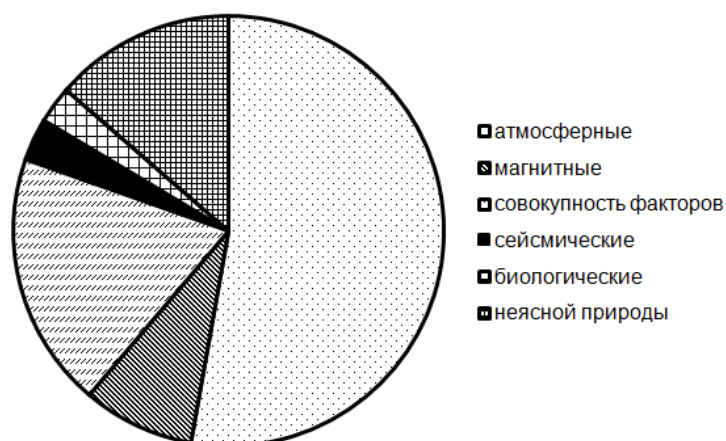


Рисунок 4 – Процентное соотношение факторов, влияющих на двигательную активность волнистых попугайчиков (2006-2019 гг.)

Анализ многолетних данных (2006-2019 гг.) показал повышение двигательной активности волнистых попугайчиков перед сейсмическими событиями, приведенными в таблице 3. Аномальные вариации со значением  $\sigma$  в диапазоне от 2,1 до 4,2 проявлялись за 1-3 дня до события.

Таблица 3 – Сейсмические события, перед которыми было зарегистрировано повышение двигательной активности волнистых попугайчиков

№	Дата, время (UTC+06:00)	Координаты эпицентра	Расстояние до эпицентра, энергетический класс	Аномальное поведение волнистых попугайчиков
1	13.06.2009 г., 13ч 57мин	44°45' с.ш., 78°49' в.д.	230 км, K=14,3	за 2 дня ( $\sigma=2,1-2,3$ )
2	12.09.2010 г., 19ч 01 мин	45°10' с.ш., 77°25' в.д.	220 км, K=12	за 2 дня ( $\sigma=2,2$ )
3	22.01.2015 г., 21ч 52 мин	42°15' с.ш., 75°01' в.д.	188 км, K=11,9	за 1 день ( $\sigma=2,5$ )
4	28.04.2017 г., 11ч 01 мин	41°52' с.ш., 76°50' в.д.	147 км, K=12,2	за 3 дня ( $\sigma=2,6-4,2$ )

### **Выводы**

Были описаны многолетние вариации двигательной активности волнистых попугайчиков, содержащихся в вольерных условиях на одном из пунктов наблюдений Алматинского прогностического полигона, расположенном на территории города Алматы. Представлены графики, характеризующие сезонную активность наблюдаемого вида птиц, схемы распределения повышенной активности птиц по месяцам.

Анализ зависимости двигательной активности попугайчиков от атмосферных и космических факторов выявил четкую связь параметров биологической активности с исследуемыми внешними факторами.

На основе автоматизированной регистрации двигательной активности птиц зафиксировано повышение показателей перед рядом сейсмических событий, выражающееся в аномальной активности, с амплитудой вариаций, превышающих порог  $2\sigma$  и  $3\sigma$ .

### **Литература**

1. Серазетдинова Б.З. Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений. Алматы: Эверо. 2012. 364 с.
2. Серазетдинова Б.З., Адильгиреева С.Х., Арифурова И.И., Шимов С.В. Исследование активности животных на основе инструментальных методов регистрации в сейсмически уязвимом регионе Казахстана // Сейсмичность, прогноз землетрясений, сейсмостойкое строительство. Тез. докл. 5-й междунар. конф., Азербайджан, г. Баку, 7-12 окт. 2012 г. Баку. 2012. С. 372-380.
3. Лаборатория Рентгеновской астрономии Солнца ФИАН. URL: <https://tesis.lebedev.ru/>
4. Кисловодская Горная астрономическая станция. URL: <http://old.solarstation.ru/>
5. Иерусалимский И. Попугаи и певчие птицы: виды, содержание, обучение. Ростов-на-Дону: Владис. 2001. 320 с.

## СТАТИЧЕСКАЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ СПРОСА

Панченко Е.М.  
rina19\_87@mail.ru

ОсОО «Салгар», г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В данной работе рассматривается статическая детерминированная модель управления запасами без дефицита и пример ее реализации. Решается несколько типов задач с различными исходными данными. Делаются выводы о значениях параметров для минимизации затрат.*

*Ключевые слова: управление запасами, интенсивность потребления (спрос), партия товара, периодичность поставки, затраты на хранение товара, затраты на приобретение одной партии.*

### Введение

Задачи управления запасами составляют одну из наиболее многочисленных классов экономических задач исследования операций, решение которых имеет важное значение. Правильное и своевременное определение стратегии управления запасами, а также нормативного уровня запасов позволяет высвободить значительные оборотные средства, замороженные в виде запасов, что, в конечном счете, повышает эффективность используемых ресурсов.

В качестве критерия эффективности принятой стратегии управления запасами выступает функция затрат (издержек), представляющая суммарные затраты на хранение и поставку запасаемого продукта.

*Управление запасами состоит в отыскании такой стратегии пополнения и расхода запасов, при которой функция затрат принимает минимальное значение.*

### Анализ предметной области

Пусть функции  $A(t)$ ,  $B(t)$  и  $R(t)$  выражают соответственно пополнение запасов, их расход и спрос на запасаемый продукт за промежуток времени  $[0, t]$ . В моделях управления запасами обычно используются производные этих функций по времени  $a(t)$ ,  $b(t)$  и  $r(t)$ , называемые соответственно интенсивностями пополнения, расхода и спроса.

Предположение о том, что дефицит не допускается, означает полное удовлетворение спроса на запасаемый продукт, т.е. совпадение функций  $r(t)$  и  $b(t)$ . Пусть общее потребление запасаемого продукта за рассматриваемый интервал времени  $\Theta$  равно  $N$ . Рассматривается простейшая модель, в которой предполагается, что расходование запаса происходит непрерывно с постоянной интенсивностью, т.е.  $b(t) = b$ . Эту интенсивность можно найти, разделив общее потребление продукта на время, в течение которого он расходуется [1]:

$$b = \frac{N}{\Theta}. \quad (1)$$

Но в дальнейшем, модель меняется и рассматривается случай, когда расходование запаса и интенсивность спроса совпадают, но функция спроса не является постоянной величиной, а представляет собой аппроксимирующую функцию, полученную на неполных статистических данных. Функция спроса имеет вид [2]:

$$r = M + k * t + b + (a * t + A_0) * \sin\left(\left(\frac{2\pi}{52}\right) * t - \left(\frac{2\pi}{52}\right) * \varphi\right) + A * \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n*c)}{n} * \cos\left(\left(\frac{2\pi}{52}\right) * t - \left(\frac{2\pi}{52}\right) * m\right) * n.$$

Вводятся обозначения величин необходимые для составления модели.

Таблица 1 – Обозначения, единицы обозначения, предположения величин модели

Величина	Обозначение	Единицы обозначения	Предположения
Интенсивность спроса	$r$	Шин/неделя	Спрос непрерывен и постоянен; весь спрос удовлетворяется
Организационные издержки	$c_1$	Долларов за партию	Издержки постоянны, независимо от размера партии
Издержки содержания запасов	$c_2$	Долларов за шт. в неделю	Стоимость хранения единицы товара в единицу времени постоянна
Размер партии	$n$	Единиц товара в партии	Размер партии постоянен; поступление товара происходит мгновенно, как только уровень запаса будет равен нулю

Пополнение заказа происходит партиями одинакового объема, так как интенсивность расхода равна  $b$ , то вся партия будет использована за время:

$$T = \frac{n}{b}, \quad (2)$$

Если отсчет времени начать с момента поступления первой партии, то уровень запаса в начальный момент равен объему этой партии  $n$ , т.е.  $J(0) = n$ .

На временном интервале  $[0, T]$  уровень запаса убывает линейно  $J(t) = n - b \cdot t$  от значения  $n$  до нуля. Так как дефицит не допускается, то в момент  $T$  уровень запаса мгновенно пополняется до прежнего значения  $n$  (Таблица 1) за счет поступления партии заказа.

*Задача управления запасами состоит в определении такого объема партии  $n$ , при котором суммарные затраты на создание и хранение запаса были бы минимальными.*

Пусть суммарные затраты обозначаются через  $C$ , затраты на создание запаса – через  $C_1$ , затраты на хранение запаса – через  $C_2$  и необходимо найти эти величины за весь промежуток времени  $T$ .

Пусть затраты на доставку одной партии продукта, не зависящие от объема партии, равны  $c_1$ , а затраты на хранение одной единицы продукта в единицу времени –  $c_2$  (Таблица 1). Так как за время  $\Theta$  необходимо запастись  $N$  единицами продукта, который доставляется партиями объема  $n$ , то число таких партий  $k$  равно:

$$k = \frac{N}{n} = \frac{\Theta}{T}. \quad (3)$$

Отсюда получаем [3, 4]:

$$C_1 = c_1 k = c_1 \frac{N}{n}, \quad (4)$$

Мгновенные затраты хранения запаса в момент времени  $t$  равны  $c_2 \cdot J(t)$ . Значит, за промежуток времени  $[0, T]$  они составят

$$c_2 \int_0^T J(t) dt = c_2 \int_0^T (n - bt) dt$$

или, учитывая (2) [5–7]:

$$c_2 \int_0^T J(t) dt = c_2 \int_0^T \left( n - \frac{n}{T} t \right) dt = c_2 \left( nt - \frac{nt^2}{2T} \right) \Big|_0^T = \frac{c_2 n T}{2}$$

Средний запас за промежуток  $[0, T]$  равен  $(n \cdot T)/2$ , т.е. затраты на хранение всего запаса при линейном (по времени) его расходе равны затратам на хранение среднего запаса.

Учитывая периодичность функции  $J(t)$  и формулу (3), получается, что затраты хранения запаса за промежутки времени  $\Theta$  равны:

$$C_2 = \frac{c_2 n T}{2} k = \frac{c_2 n T}{2} \frac{N}{n} = \frac{c_2 T N}{2} = \frac{c_2 \Theta n}{2}, \quad (5)$$

Функция суммарных затрат будет иметь вид:

$$C = \frac{c_1 N}{n} + \frac{c_2 \Theta}{2} n, \quad (6)$$

В точке минимума функции  $C(n)$  ее производная  $C'(n) = -\frac{c_1 N}{n^2} + \frac{c_2 \Theta}{2} = 0$ , откуда

$$n = n_0 = \sqrt{\frac{2c_1 N}{c_2 \Theta}}, \quad (7)$$

или, учитывая (1):

$$n_0 = \sqrt{\frac{2c_1 b}{c_2}}. \quad (8)$$

Формула (8), называемая **формулой Уилсона** или формулой наиболее экономичного объема партии, широко используется в экономике. Эта формула может быть получена и другим способом, если учесть, что произведение  $C_1 \cdot C_2 = 0,5 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot N \cdot \Theta$  есть величина постоянная, не зависящая от  $n$ . В этом случае, как известно, сумма двух величин принимает наименьшее значение, когда они равны, т.е.  $C_1 = C_2$  или

$$\frac{c_1 N}{n} = \frac{c_2 n \Theta}{2}, \quad (9)$$

откуда получается (7).

Из (9) следует, что минимум общих затрат задачи управления запасами достигается тогда, когда затраты на создание запаса равны затратам на хранение запаса. При этом минимальные суммарные затраты

$$C_0 = C(n_0) = \frac{2c_1 N}{n}, \quad (10)$$

откуда, учитывая (7) и (1), получается:

$$C_0 = \sqrt{2c_1 c_2 \Theta N} \text{ или } C_0 = \Theta \sqrt{2c_1 c_2 b}, \quad (11)$$

Число оптимальных партий за время  $\Theta$  с учетом (3), (7) и (1) равно:

$$k_0 = \frac{N}{n_0} = \sqrt{\frac{c_2 N \Theta}{2c_1}} = \Theta \sqrt{\frac{c_2 b}{2c_1}}.$$

Время расхода оптимальной партии на основании (2) с учетом (7) и (1) равно

$$T_0 = \frac{n_0}{b} = n_0 \frac{\Theta}{N}, \quad (12)$$

или [1]

$$T_0 = \sqrt{\frac{2c_1 \Theta}{c_2 N}} = \sqrt{\frac{2c_1}{c_2 b}}. \quad (13)$$

### Условия задачи и ее решение

Данная задача была рассмотрена на основе данных Шинной Компании. В качестве примера в данной статье рассматривается один вид товара, типоразмер 195/65 R15 и по одному заводу, условно завод будет называться N. Были вычислены затраты на приобретение одной партии 195/65 R15 ( $c_1$ ) и затраты на хранение данного товара завода N на складе ( $c_2$ ). Известно, что за 2019 год было завезено 1920 шин этого типоразмера завода N. Имеющиеся данные и вычисленные по формулам объем партии (8) и периодичность поставки (12), интенсивность потребления (1) представлены в Таблице 2:

Таблица 2 – Имеющиеся и рассчитанные данные задачи

c1	30 086	\$ за 1 партию
c2	3	\$ /шт.
N	1 920	Шин/год
Θ	365	год
$n_0$	312	Шин/партия
$T_0$	60	Дней или 2 месяца
$b$	36	Шин/неделя

Чтобы увидеть наглядно, как будут меняться запасы на складе во времени, а именно, в течение года можно представить сценарий управления запасами в табличной форме. Для такого сценария на остатках уже имеется 312 шин, каждую неделю покупают по 36 шин, партия в 312 шин завозится каждые 2 месяца без задержек (Таблица 2). При рассмотрении случая, когда объем партии будет меняться, но остальные условия останутся неизменными, также можно отследить, как будут меняться запасы 195/65 R15 на складе. Для такого примера оптимальный размер партии будет изменен на другой, который будет равен 400 шинам, и каждый раз этот объем будет изменяться в пределах 100 шин (данные были получены случайным образом). Сценарии управления затратами, как при неизменном объеме партии, так и при меняющемся, представлены ниже в табличной (Таблица 3) и графической (Рисунок 1) формах.

Таблица 3 – Сценарий управления запасами при неизменной потребности, неизменном и меняющемся объемах партии (указаны в отдельных столбцах) и неизменной периодичности поставок

Номер недели	Потребность, шин/неделя	Запасы шин на начало недели при неизменном объеме партии, шт.	Запасы шин на начало недели при меняющемся случайным образом объеме партии, шт.	Запасы шин на конец недели при неизменном объеме партии, шт.	Запасы шин на конец недели при меняющемся случайным образом объеме партии, шт.	Объем партии постоянный, шт.	Объем партии меняющийся случайным образом, шт.
1	36	312	400	276	364		
2	36	276	364	240	328		
3	36	240	328	204	292		
4	36	204	292	168	256		
5	36	168	256	132	220		
6	36	132	220	96	184		
7	36	96	184	60	148		
8	36	60	148	24	112		
9	36	336	562	300	526	312	450
10	36	300	526	264	490		
...	...	...	...	...	...		
41	36	432	1455	396	1419	312	506
42	36	396	1419	360	1383		
43	36	360	1383	324	1347		
49	36	456	1647	420	1611	312	480
50	36	420	1611	384	1575		
51	36	384	1575	348	1539		
52	36	348	1539	312	1503		



График этих сценариев управления затратами представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Количество запасов шин на складе типоразмера 195/65 R15 завода N по неделям при изменении партии товара

При изменении каждой ввозимой партии происходит изменение затрат. В соответствии с формулой:

$$\frac{\Delta C}{C_0} \approx \frac{1}{2} \left( \frac{\Delta n}{n_0} \right)^2 \quad (14)$$

Влияние объема партии на изменение затрат можно наглядно представлено на рисунке 2.



Рисунок 2 – Изменение затрат при изменении объема партии в процентном соотношении

Из рисунка 2 видно, что затраты увеличиваются пропорционально объему партии. Чем больше разница между минимальным объемом партии и случайным, тем больше изменение затрат. Так, например, если разница между минимальным объемом партии и случайным составляет 200 колес, то изменение затрат равно 20 % и т.д. Таким образом, требуется корректировка заказа объема партии.

Была рассмотрена теоретическая задача, когда спрос имел постоянное значение, то есть потребность шин каждую неделю составляла 36 шин. Но на практике спрос меняется под влиянием сезонности, цикличности и культурных особенностей, которое описывается

$$\text{следующей аппроксимирующей функцией: } r = M + k * t + b + (a * t + A_0) * \sin\left(\frac{2\pi}{52}\right) * t - \left(\frac{2\pi}{52}\right) * \varphi + A * \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\sin(n*c)}{n} * \cos\left(\frac{2\pi}{52}\right) * t - \left(\frac{2\pi}{52}\right) * m \right) * n. \quad [2]$$

С помощью данной функции спрос был спрогнозирован с середины марта до конца года (с начала года до середины марта были взяты фактические данные продаж) типоразмера 195/65 R15 завода N. Кроме этого есть еще два условия: 1) на начало года было 262 шины; 2) в начале февраля пришло 690 шин. При данных условиях можно выяснить, когда закончится данный типоразмер завода N на складе или к какому времени необходимо на склад доставить шины, чтобы они были в наличии на рынках, в магазинах и т.д. (Таблица 4). Используя сценарий управления запасами, определяется дата, когда закончится товар на складе:

Таблица 4 – Сценарий управления запасами при спросе, полученном с помощью аппроксимирующей функции

Номер недели	Потребность, шин/неделя	Запасы шин на начало недели, шт.	Запасы шин на конец недели, шт.	Объем партии, шт.
1	4	262	258	
2	4	258	254	
3	6	254	248	
4	6	248	242	
5	36	242	206	
6	32	896	864	690
7	51	864	813	
8	75	813	738	
9	34	738	704	
10	92	704	612	
11	92	612	520	
12	93	520	427	
13	111	427	316	
14	127	316	189	
15	81	189	108	
16	83	108	25	
17	79	25	-54	

Таким образом, из таблицы видно, что на 17 неделе года или в начале мая товар на складе закончится или к началу мая товар должен поступить на склад.

Так как задача, рассмотренная в статье, предполагает заранее заданные параметры, которые не меняются во времени, то и решает простые случаи: находит объем заказа, и периодичность при неизменных условиях во времени. То есть когда спрос имеет постоянное значение, когда партия товара неизменна, периодичность поставок не меняется. В статье были рассмотрены случаи, когда какой-либо из параметров меняется. Сначала это была партия товара. При изменении партии товара было выяснено, чем больше разница между минимальным и случайным объемам партии, тем больше изменение затрат, что не желательно для компании. При замене постоянного значения спроса на прогнозный, который был получен с помощью аппроксимирующей функции, была решена задача, когда товар закончится на складе. То есть, постепенно подводится к тому, что каждый параметр может меняться во времени, а это уже задача имитационного моделирования, при которой можно разрабатывать разные сценарии управления запасами, меняя один или несколько параметров во времени и

оставляя неизменными другой/другие параметры, отслеживая наиболее оптимальный для компании и применяя его на практике [3, 4].

### **Выводы**

- 1) Статическую детерминированную модель без дефицита можно применять на данных Шинной Компании;
- 2) Статическую детерминированную модель без дефицита с условием изменения объема партии также можно применять на данных Шинной Компании;
- 3) Допустимо использовать аппроксимирующую функцию, построенную на неполных статистических данных для расчета плана продаж на будущий период и на его основе рассчитать план поставок;
- 4) Этот подход показал, что можно вычислить дату, когда закончится товар на складе, что эффективно при планировании поставок в Шинной Компании.

### **Литература**

1. Кремер Н.Ш., Путко Б.А., Тришин И.М., Фридман М.Н. Исследование операций в экономике / Под ред. Н.Ш. Кремера. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт. 2010. 430 с.
2. Панченко Е.М. Критерий достаточности статистических данных // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XI Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Т. 2. Бишкек: НС РАН. 2019. С. 141-145.
3. Бадокин О.В., Лукинский В.В., Малевич Ю.В., Степанова А.С., Шульженко Т.Г. Управление запасами в цепях поставок. Учеб. пособие / Под общ. и науч. ред. В.С. Лукинского. СПб.: СПбГИЭУ. 2010. 372 с.
4. Бродецкий Г.Л. Управление запасами. Учеб. пособие М.: Эксмо. 2007. 398 с.
5. Кремер Н.Ш., Путко Б.А., Тришин И.М., Фридман М.Н. Высшая математика для экономистов. Учеб. для студентов вузов, обучающихся по экономическим специальностям / Под ред. Н.Ш. Кремера. 3-е изд. М.: ЮНИТИ-ДАНА. 2010. 479 с.
6. Мордкович А.Г., Солодовников А.С. Математический анализ. М.: Высш. шк., 1990. 416 с.
7. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы анализа экономики. М.: ДИС. 2001. 366 с.

## ПОИСК ВЫБРОСОВ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ КООРДИНАТ МАРОК ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ

Прохоров О.А.  
helgpro@yandex.ru

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе представлены результаты сравнения качества классических алгоритмов и моделей машинного обучения для выявления выбросов во временном ряде на примере восточной компоненты марки IAT3 Центрально-Азиатской GPS сети. Произведен выбор признаков временного ряда для обучения и тестирования моделей с применением функций потерь для оценки качества на перекрестной проверке при проведении обучения.*

*Применение таких алгоритмов, как экспоненциальное сглаживание, линейная регрессия, Ridge и Lasso регрессий показали схожий результат в ошибках, как и модели Хольта-Уинтерса и XGBoost, но с более меньшим временем на обучение.*

*Ключевые слова: линейная регрессия, машинное обучение, экспоненциальное сглаживание, временной ряд, перекрестная проверка*

После обработки GPS данных на выходе программы GAMMIT/GLOBK получают высокоточные временные ряды и на их основе векторы скорости для геодезических пунктов наблюдения. Один из последних циклов обработки GPS данных Центрально-Азиатской GPS сети включает в себя информацию по трем координатам для >1600 марок за 1994-2018 годы наблюдений. Чтобы сделать корректные выводы на основе этих данных, необходим визуальный анализ временных рядов координат для выявления в них ошибочных аномалий, которые могут возникать на разных этапах формирования данных от процесса измерения и до этапа обработки. Причиной таких аномалий может быть человеческий фактор, аппаратные сбои, воздействие неизвестных внешних факторов. Во временном ряду координаты это может выражаться в интервалах пропуска данных, ступенчатое смещение тренда и отскоки позиции от линии основного тренда.

Визуальный анализ временных рядов координат каждой GPS марки занимает значительное количество времени, в результате чего возникла необходимость автоматизировать этот процесс. В данной работе интерес представляет задача выявления выбросов во временном ряду и возможная их коррекция с использованием, как самых классических методов, так и методов с машинным обучением. Для анализа был взят временной ряд центрированных значений восточной компоненты для марки IAT3, которая измеряется непрерывно с 2005 по 2018г (рис.1).

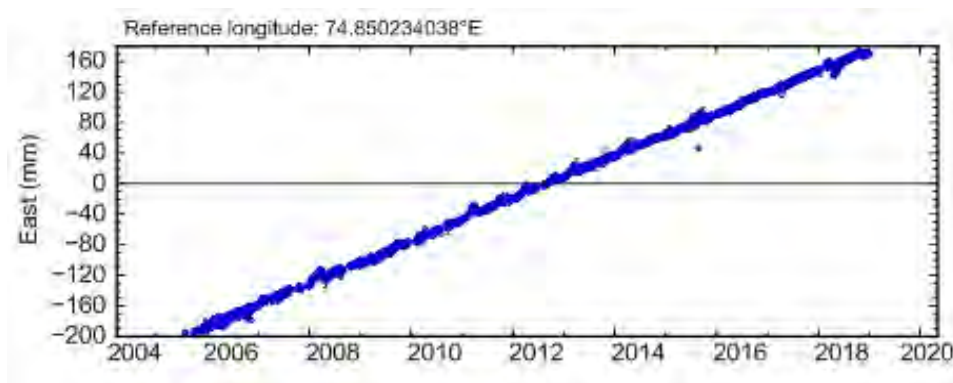


Рисунок 1 – Центрированные значения восточной координаты марки IAT3 в системе отсчета ITRF-2014

Из графика видно, что данный ряд имеет небольшое количество выбросов, которые слабо влияют на разброс и ярко выраженный прямолинейный тренд изменения координаты.

В общем случае при анализе временных рядов выделяются две основные задачи: идентификация и прогноз. Задача идентификации какого-либо события предполагает определение параметров анализируемой системы: размерность вложения, корреляционная размерность, энтропия и др. Задача прогноза имеет цель на основе известных данных наблюдений предсказать будущие их значения, т.е. составить прогноз на некоторый отрезок времени вперед.

В этой работе для нас интерес представляет только задача идентификации выбросов, поэтому для анализа можно применить классические методы скользящего среднего и экспоненциального сглаживания. Метод скользящих средних имеет элемент субъективности и зависит от длины периода  $L$ , выбранного для вычисления средних значений. Для того чтобы исключить циклические колебания вдоль генерального прямолинейного тренда, длина периода  $L$  должна быть целым числом, кратным средней длине цикла. Этот метод хорошо выявляет тренды, чем больше ширина интервала, тем более сглаженным будет тренд.

Все приведенные в этой работе расчеты проведены на языке Python, и в среде разработки jupyter-notebook, работа с которой осуществляется из браузера. Для расчета скользящего среднего был импортирован метод `rolling_mean` из библиотеки `Pandas`[1].

На рис. 2 изображен график скользящего среднего с шириной окна 30 дней и доверительным интервалом  $\pm 3\sigma$ , за границы которого попадают выбросы.

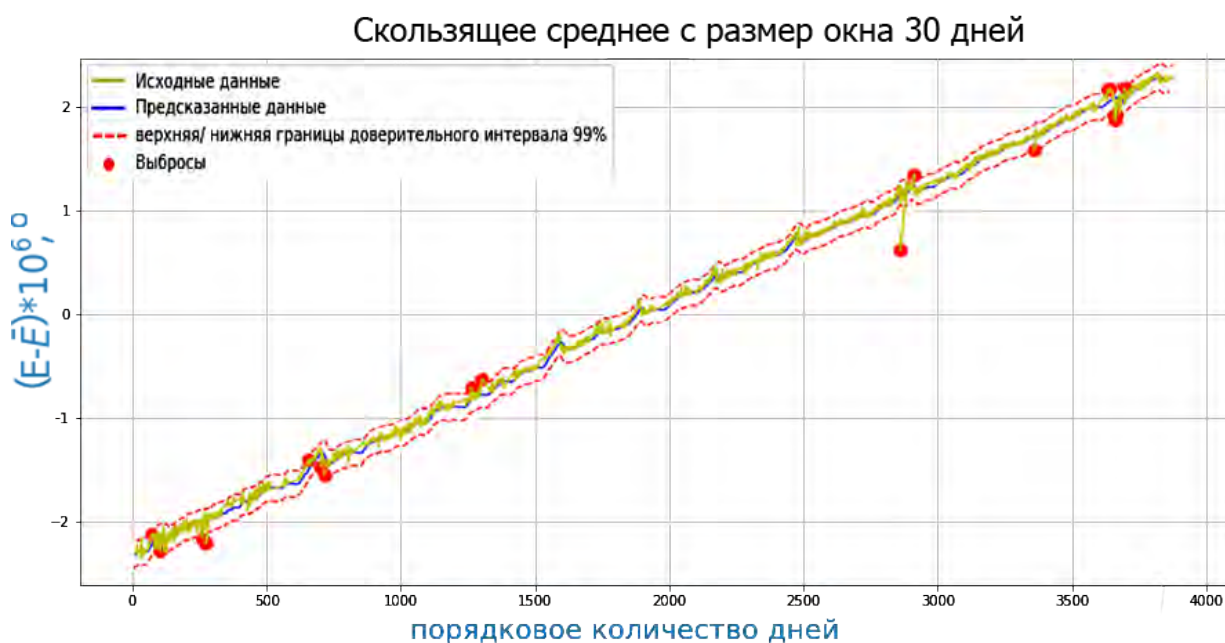


Рисунок 2 – График скользящего среднего с шириной окна  $L=30$  дней и доверительным интервалом  $\pm 3\sigma$ . Красные точки идентифицированные выбросы по центрированным значениям долготы

Выделенные таким образом выбросы превышают коридор случайных отклонений в  $\pm 3\sigma$  от усредненного тренда и могут быть удалены из временного ряда данных, или уменьшены до допустимых граничных значений в  $\pm 3\sigma$ , или приняты как значения модели.

Модификацией простого скользящего среднего является метод экспоненциального сглаживания, который получил свое название от последовательности экспоненциально взвешенных скользящих средних. Каждое значение в этой последовательности зависит от всех предыдущих наблюдаемых значений. При экспоненциальном сглаживании веса, присвоенные наблюдаемым значениям, убывают со временем, поэтому наиболее часто встречающиеся значения получают наибольший вес, а редкие величины — наименьший. В

этом случае используется более сложная модель экспоненциального сглаживания. Модель Хольта-Уинтерса [2], является расширением метода Хольта до трехпараметрического экспоненциального сглаживания. Это значит, что метод характеризуется тремя параметрами, которые необходимо выбрать, чтобы получить прогноз. Выбор этих параметров может производиться путем простого перебора.

Вес  $\alpha$  называется сглаживающим фактором, отвечает за сглаживание ряда вокруг тренда,  $\beta$  за сглаживание самого тренда и третий параметр отвечает за цикличность ( $\gamma$ ). Выбор сглаживающего коэффициента, или веса, присвоенного членам ряда, является принципиально важным, поскольку он непосредственно влияет на результат. Этот выбор до некоторой степени субъективен, поэтому перебор параметров будет осуществляться путем перекрестной проверки [3] с использованием метрики качества [4].

Процесс кросс-валидации в себя включает: разбиение набора данных на части (фолды), затем построение модели на одной части (называемой тренировочным набором). Чтобы уменьшить разброс результатов, разные циклы кросс-валидации могут проводиться на разных объемах и разных комбинациях исследуемого набора данных, а результаты валидации усредняются по всем циклам. В этом процессе создаются разные варианты обучающих (train) и тестируемых (test) выборок и соотношение доли верных ответов в выборке train приблизительно должно быть равно таковым как в выборке test. На каждом цикле валидации за качеством обучения могут следить функции потерь: RMSE, MAE, MAPE и др. [4], одну из которых необходимо предварительно выбирать. Задача функции потерь: сравнивать доли верных ответов с предсказанными, рассчитывать градиент функции потерь, менять в соответствии с ним параметры модели для достижения глобального минимума ошибки.

Если набор входных данных имеет временную привязку, то перемешивание данных в случайном порядке приведет к потере взаимосвязей наблюдений друг с другом. В этом случае необходимо применять кросс-валидацию на скользящем окне [5] (рис.3), которая обучит модель на небольшом отрезке временного ряда (от начала до некоторого  $t$ ). Затем делаем прогноз на  $t+n$  шагов вперед и считаем ошибку. Далее расширяем обучающую выборку и прогнозируем с  $t+n$  до  $t+2*n$ , так продолжаем двигать тестовый отрезок ряда до тех пор, пока не упрёмся в последнее доступное наблюдение. В итоге получим столько частей (фолдов), сколько уместится в промежуток между изначальным обучающим отрезком и всей длиной ряда. Так же модель Хольта-Уинтерса имеет ограничения на значения параметров ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) от 0 до 1. Поэтому здесь используется алгоритм Truncated Newton conjugate gradient [6], который задаёт ограничения этих параметров на кросс-валидации.

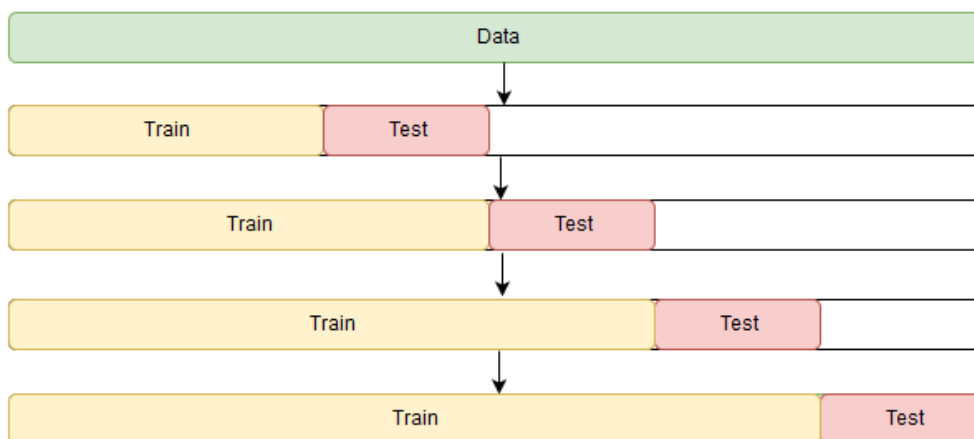


Рисунок 3 – Перекрестная проверка методом скользящего окна

Исследуемая нами выборка координаты по долготе марки IAT3 содержит около 4 тысяч значений. При этом модель обучилась за ~51 секунду и подобрала оптимальные

параметры  $(\alpha, \beta, \gamma)$  и сделала прогноз на 50 шагов вперед (дискретных единиц данных, в нашем случае – дней). Так же видно, как модель реагирует на изменения ряда. Средняя абсолютная ошибка составляет 7,14% (рис. 4).

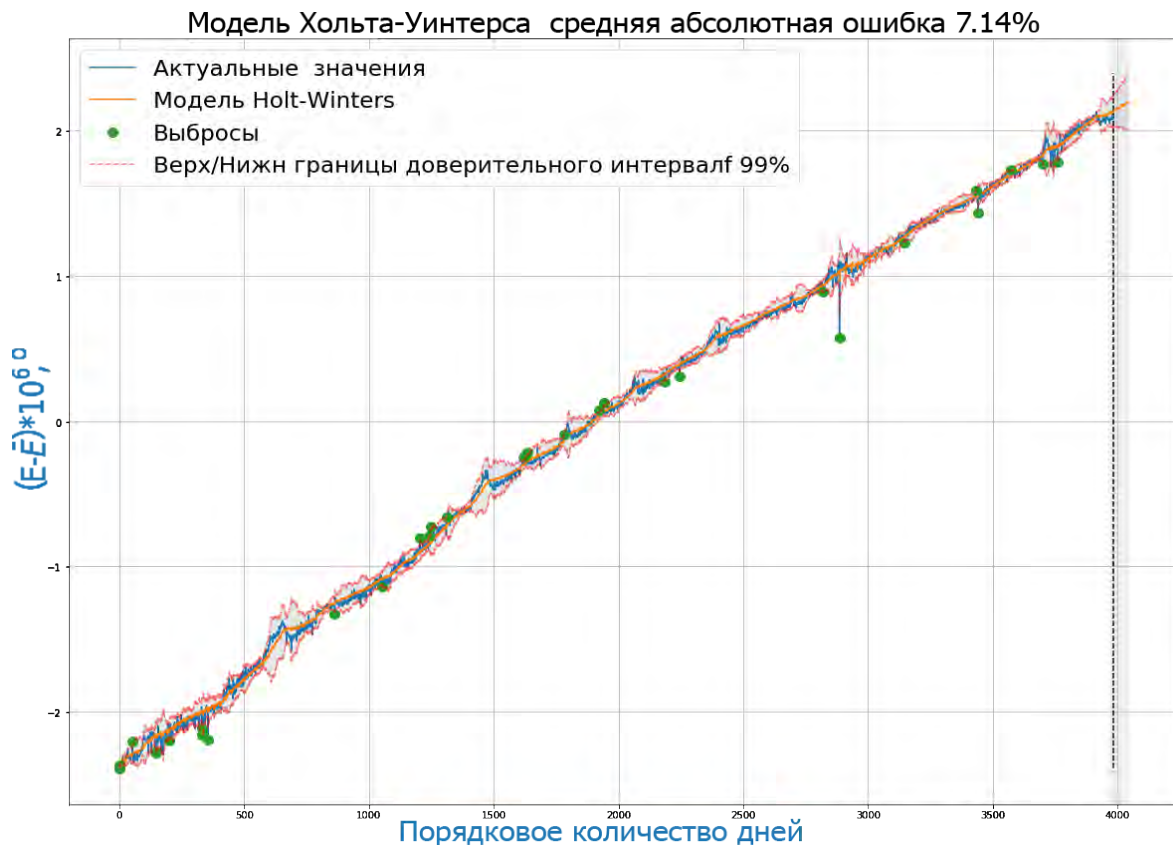


Рисунок 4 – Модель Хольта-Уинтерса с доверительным интервалом  $\pm 3\sigma$ . Зеленые точки – идентифицированные выбросы по центрированным значениям долготы. Серая вертикальная зона – модель прогноза вне исходных данных

Следующая модель обучается относительно быстро и не требуют больших затрат по подготовке данных – линейная регрессия [7]. В результате для работы этого алгоритма формируются так называемые лаги, фрагменты исходных данных с выбранным шагом сдвига относительно друг друга. Количество лагов выбирается с учетом лучшего описания исходных данных. В итоге образуется многомерный (по ширине лагов) массив, вновь сформированных данных, которые являются основой для дальнейших вычислений методом линейной регрессии.

На рисунке 5 приведен результат работы линейной регрессии, которая хорошо описывает ряд исходных данных и выделяет выбросы со средней абсолютной ошибкой MAPE 11,03% при скорости обучения  $8 \cdot 10^{-3}$  секунд.

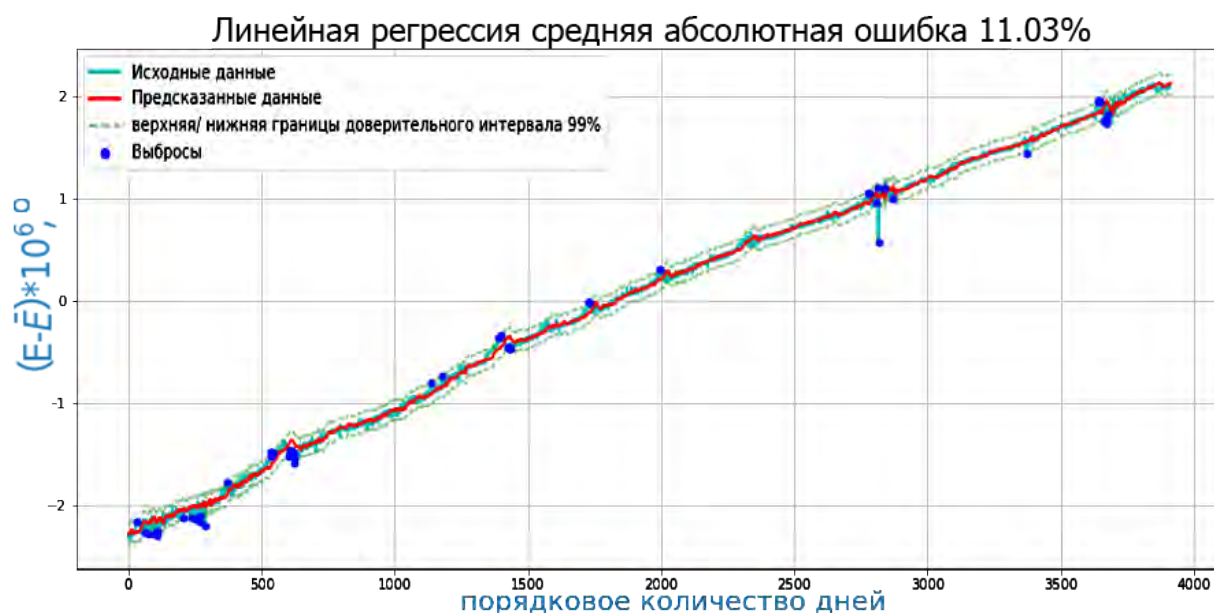


Рисунок 5 – Модель линейной регрессии с доверительным интервалом  $\pm 3\sigma$ . Синие точки – идентифицированные выбросы по центрированным значениям долготы

Наиболее популярными регрессионными моделями являются регрессии Ridge и Lasso [8], которые добавляют еще ограничения к функции потерь в виде весов и более приближаются к исходным данным. В регрессии Ridge эти ограничения являются суммой квадратов коэффициентов, умноженных на вес, который указывается в виде параметра в модели. Чем больше коэффициент у функции, тем больше будет расхождение выходных данных модели и входных данных. По умолчанию на обучении функция перебирает коэффициенты в количестве 100 значений и оптимизирует модель, сохраняя веса на достаточно низком уровне.



Рисунок 6 – Ridge регрессия с доверительным интервалом  $\pm 3\sigma$ . Синие точки – идентифицированные выбросы по центрированным значениям долготы

Этот тип регуляризации весов называется L1, который может уменьшать так же мульти-коллинеарные признаки, при которых отмечается высокая корреляция между входными данными и моделью, что сказывается на качестве обучения. При использовании модели Ridge ошибка упала до 7,57% (рис. 7).



Регрессия Lasso, добавляет к функции потерь не квадраты, а абсолютные значения коэффициентов. В результате процесса оптимизации, коэффициенты несущественных признаков могут становиться нулевыми, что позволяет автоматически выбирать объекты для обучения. По модели Lasso нами получены примерно такие же результаты, как и в случае модели Ridge.

Была опробована еще одна модель XGBoost из группы алгоритмов градиентного бустинга [9] и деревьев решений. Для корректной работы этой модели, нужно удалить тренд, как показано на рисунке 7.

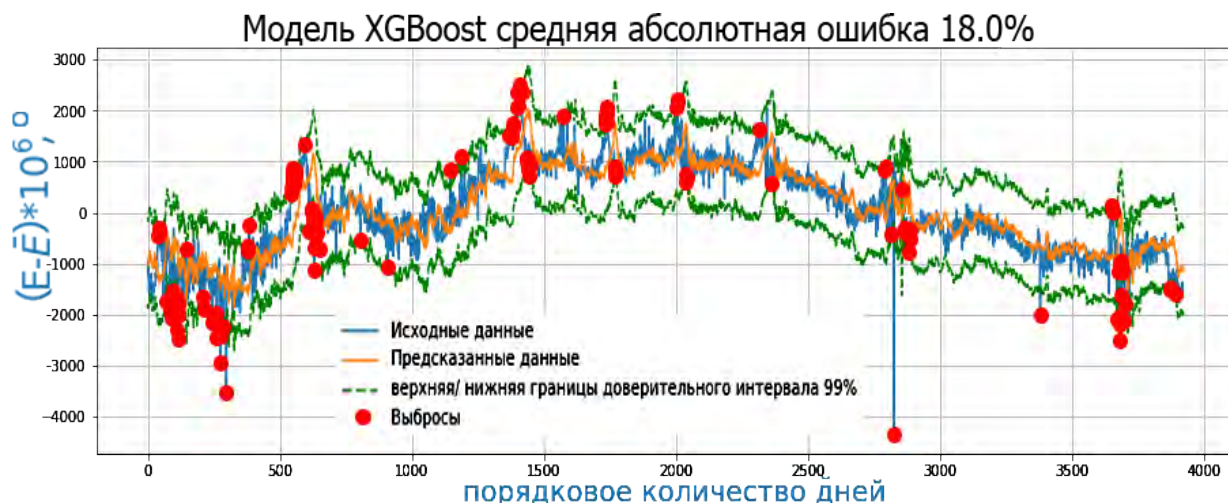


Рисунок 7 – Результаты работы модели XGBoost с доверительным интервалом  $\pm 3\sigma$ . Красные точки идентифицированные выбросы по центрированным значениям долготы

Из рисунка 7 следует, что данная модель достаточно детально описывает поведение входных данных при средней абсолютной ошибке в 18%. Обучение данного алгоритма заняло 30 секунд, что гораздо больше предыдущих моделей, за исключением модели Хольта-Уинтерса.

Из приведенных выше алгоритмов анализа временного ряда, можно сделать следующий вывод. Для идентификации выбросов и прогноза поведения временного ряда можно использовать классические алгоритмы, которые бы удовлетворяли качеству и времени работы. Так скользящее среднее и линейная регрессия затратили меньше ресурсов на результат, их работа занимает миллисекунды рис.8.

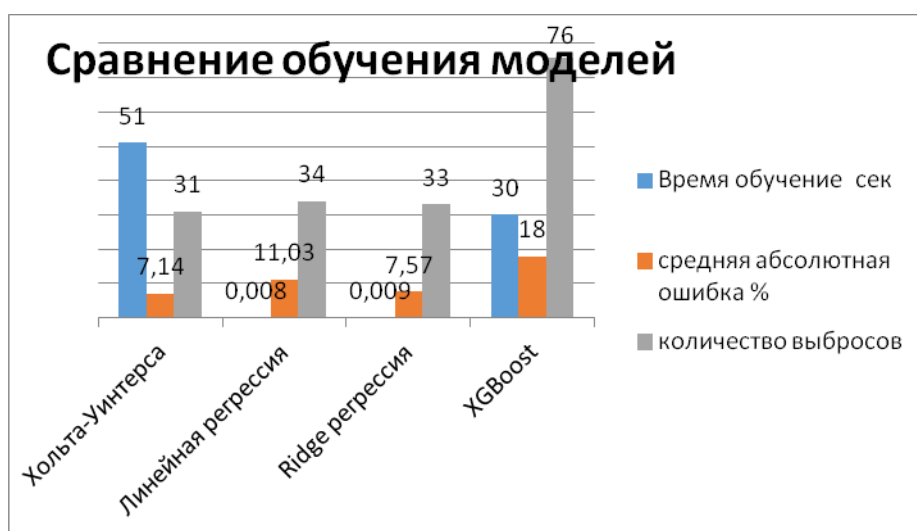


Рисунок 8 – Диаграмма сравнения скорости обучения моделей

Оценка ошибки в модели Ridge регрессии составила 7,57%, а в модели Хольта-Уинтерса – 7,14% и время обучения составило 51 секунду. Обучение модели XGBoost на исследуемом наборе данных завершилось через 30 секунд с ошибкой 18%. Модели Хольта-Уинтерса и линейной регрессии показали приблизительно равный результат, по найденному количеству выбросов за исключением XGBoost. Быстрее всего обучаются модели линейной регрессии и Хольта-Уинтерса, на большом наборе данных в сравнении скорости и качества выигрывают эти модели, так как модель XGBoost некорректно работает на данных с трендом и его предварительно надо убирать.

*Автор работы выражает благодарность своему научному руководителю к.ф.-м.н., заведующему ИГПС ИС РАН Кузикову С.И. за советы при проведении работ и рекомендации по оформлению статьи.*

### Литература

1. Программная библиотека на языке Python для обработки и анализа данных [Электронный ресурс] / Pandas documentation <https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/reference/api/pandas.Series.rolling.html>
2. Реализация алгоритма Брутлага в Обнаружении аномалий [Электронный ресурс] / Implementation of Brutlag's algorithm in Anomaly Detection 3. – Режим доступа: <https://annals-csis.org/proceedings/2012/pliks/118.pdf> (ссылка актуальна на 11.03.2020).
3. Кросс-валидация, [Электронный ресурс] / Time Series cross-validator. – Режим доступа: [https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.model\\_selection.TimeSeriesSplit.html](https://scikitlearn.org/stable/modules/generated/sklearn.model_selection.TimeSeriesSplit.html) (ссылка актуальна на 16.03.2020)
4. Выбор метрик качества моделей, [Электронный ресурс] / Regression Metrics.- Режим доступа: <https://medium.com/@george.drakos62/how-to-select-the-right-evaluation-metric-for-machine-learning-models-part-1-regression-metrics-3606e25beae0> (ссылка актуальна на 25.03.2020)
5. Перекрестная проверка на скользящем окне, [Электронный ресурс] / Using k-fold cross-validation for time-series model selection. - Режим доступа: <https://stats.stackexchange.com/questions/14099/using-k-fold-cross-validation-for-time-series-model-selection> (ссылка актуальна на 25.03.2020)
6. Ограниченное число итераций, [Электронный ресурс] / Truncated Newton Method . – Режим доступа: [https://stanford.edu/class/ee364b/lectures/trunc\\_newton\\_slides.pdf](https://stanford.edu/class/ee364b/lectures/trunc_newton_slides.pdf) (ссылка актуальна на 11.03.2020).
7. Модель линейной регрессии, [Электронный ресурс] / Linear Models . – Режим доступа: [https://scikit-learn.org/stable/modules/linear\\_model.html](https://scikit-learn.org/stable/modules/linear_model.html) (ссылка актуальна на 16.03.2020).
8. Ridge-Lasso регрессия, [Электронный ресурс] / Regularization: Ridge, Lasso and Elastic Net. <https://www.datacamp.com/community/tutorials/tutorial-ridge-lasso-elastic-net> (ссылка актуальна на 16.03.2020).
9. Модель XGBoost, [Электронный ресурс] / XGBoost Documentation. – Режим доступа: <https://xgboost.readthedocs.io/en/latest/> (ссылка актуальна на 16.03.2020).

## **ИНСТРУМЕНТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ДРОБЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ГОРНОГО МАССИВА ПРИ ВЗРЫВЕ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ**

Райымкулов М.А., Сыдыков Э.Ш.

*rmarat@istic.kg, ernazarsydykov@mail.ru*

Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского  
Славянского университета, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*Влияние воздушных промежутков в скважинных зарядах на разрушение горной массы известно достаточно давно. Однако имеющиеся упрощенные описания данного эффекта не позволяют удовлетворительно определить характер формирования зон разрушения от составных зарядов. Внедрение цифровых технологий в горном производстве открыли возможность производить оценку зоны дробления на стадии проектирования. В работе рассматриваются такие инструменты численного моделирования как метод бинарных элементов и ANSYS AUTODYN.*

*Ключевые слова: зона дробления, рассредоточенный заряд, метод бинарных элементов.*

Внедрение цифровых технологий на карьере позволяет получать достоверную и детальную информацией о неоднородности горного массива, осуществлять прогнозирование зоны дробления при массовых взрывах, оценивать разубоживания и потери полезного ископаемого и т.д. Благодаря такому подходу открываются перспективы решения широкого спектра задач горного производства от селективной разработки сложноструктурных пластов до снижения сейсмического воздействия от массовых взрывов. Данный подход полноценно реализован в программно-техническом комплексе (ПТК) «BlastMaker»: на основе сбора и анализа данных о бурении рассчитывается энергоемкость бурения и строится трехмерная цифровая модель неоднородности отрабатываемого массива, производится проектирование и прогнозирование результатов отработки блока [1]. Информация об энергоемкости бурения позволяет решать, например, задачу оптимизации конструкции заряда с применением воздушных промежутков (ВП). Специальные средства пакета «BlastMaker» позволяют моделировать насыщение взрываемого массива энергией взрывчатого вещества (ВВ), прогнозировать каркас взрыва на основе инженерных методик и определять оптимальные параметры проекта на взрыв. Для моделирования каркаса взрыва, в процессе адаптации ПТК, производится настройка параметров взрыва, посредством сопоставления результатов моделирования и съемок площадки после зачистки.

Как известно, применение воздушных промежутков в конструкции заряда приводит к снижению максимального пикового давления продуктов взрыва в воздушной полости. При этом уменьшается доля энергии на переизмельчение породы в ближней зоне, увеличивается время действия расширяющихся продуктов взрыва на горный массив, улучшается проработка подошвы, обеспечивается сейсмически щадящее действие взрыва [2-3]. Особенности воздействия ВП в скважинных зарядах на процесс дробления массива горных пород, как было показано в работах [4-5], удастся наиболее полно воспроизвести методом численного моделирования с применением инструмента явного динамического анализа. Одним из программных пакетов, реализующих возможность моделирования разрушения ближней зоны от составного заряда, является коммерческий продукт ANSYS AUTODYN, предназначенный для моделирования высоко нелинейной динамики твердых тел, жидкостей, газов и их взаимодействия, позволяющий рассчитывать такие быстропротекающие процессы, как высокоскоростной удар или взрыв [6].

Однако для решения конкретных задач горного производства некоторые функции

ANSYS AUTODYN либо избыточны, либо недостаточно проработаны. Например, в ANSYS реализовано достаточно трудоемкое задание сложной геометрии прослоек неоднородного горного массива. В модуле AUTODYN отсутствует возможность параллелизации расчета на графических процессорах, что при нынешнем уровне вычислительных мощностей, способствовало бы заметному ускорению расчета. Задание физико-механических свойств пород в библиотеке материалов осуществляется посредством настройки не менее 15 параметров, в то время как геологическая служба на производстве оперирует 4-5 основными параметрами пород. Отсутствует возможность задания такой важной характеристики как трещиноватость и т.д. В связи с этим разработано и предлагается альтернативное программное обеспечение, позволяющее производить расчет зоны дробления от скважинных зарядов, рассредоточенных воздушными промежутками, методом численного моделирования [7].

Особенность разрабатываемого ПО состоит в том, что базовым типом элемента принято использовать стержни (бинарные элементы). Пространственная картина выглядит в виде сетки из бинарных элементов, соединённых в узлах. Распределение масс по пространству выполняется в соответствии с плотностью среды таким образом, чтобы сохранялся закон сохранения массы [8]. В качестве основных параметров физико-механических свойств среды задаются 5 параметров: плотность породы, модуль Юнга, коэффициент Пуассона, предел прочности на растяжение и предел прочности на сжатие. Неоднородность массива может быть импортирована в виде величины энергоёмкости из ПО «Blast Maker». Условия разрушения бинарного элемента определяются соотношением:

$$\begin{aligned} \sigma_{ij} &> \sigma_p, \text{ при растяжении,} \\ -\sigma_{ij} &> \sigma_{сж}, \text{ при сжатии.} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\sigma_{ij}$  - напряжение  $ij$ -элемента,  $\sigma_p$  - предел прочности на растяжение,  $\sigma_{сж}$  - предел прочности на сжатие.

Сопоставление времени, необходимого для расчета зоны дробления на одном процессоре для одинакового количества тетраэдральных элементов, показало преимущество метода бинарных элементов по сравнению с ANSYS AUTODYN (Рисунок 1). Такое ускорение расчета обусловлено допустимым упрощением заданий нагрузок в скважинах, применением схемы интегрирования по времени, приведенной с применением явной схемы, что позволяет отказаться от громоздкой матрицы жёсткости. Большую часть расчетного времени при подготовке модели занимает подготовка списка бинарных элементов. Время можно значительно сократить, используя технологию распараллеливания, например, с применением графических процессоров GPU.

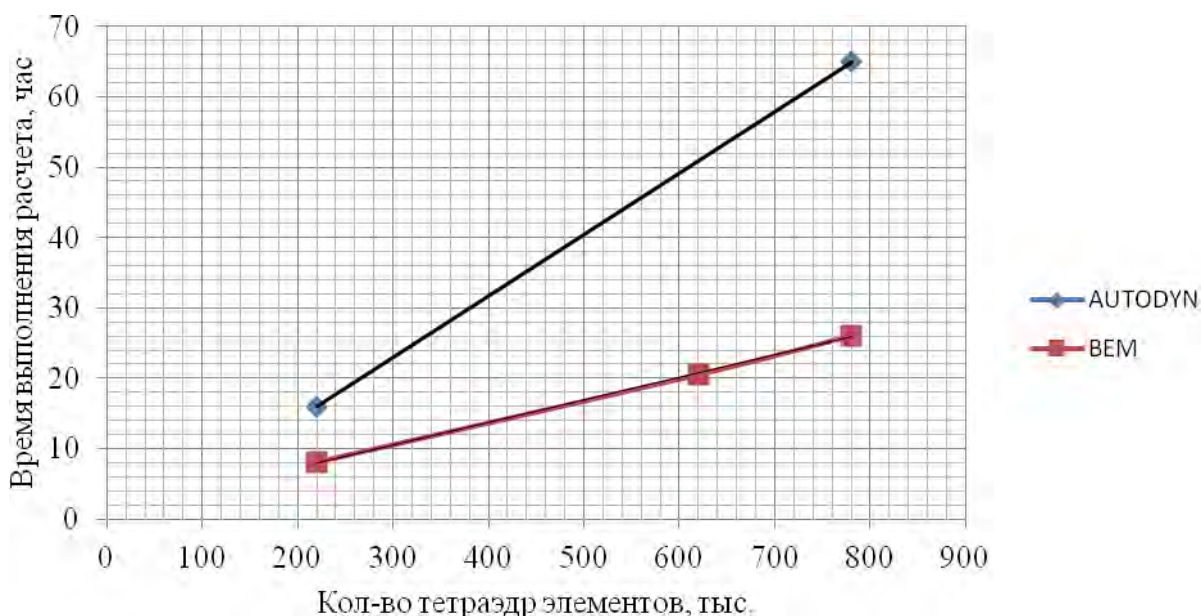


Рисунок 1 – Сравнение затраченного времени для расчета формирования зоны разрушения в неоднородном массиве на одном процессоре при применении метода бинарных элементов и ANSYS AUTODYN

#### Литература

1. Коваленко В.А. Система автоматизированной подготовки производства на карьерах. «Blast Maker» // Добывающая промышленность. 2018. Т. 11. № 3. С. 294-296.
2. Мельников Н.В. Использование энергии взрывчатых веществ и кусковатость пород при взрывных работах // Горный журнал. 1940. № 5-6. С. 61-64.
3. Мельников Н.В., Марченко Л.Н. Энергия взрыва и конструкция заряда. М.: Недра. 1964. 138 с.
4. Нифадьев В.И., Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Комиссаров П.В., Басакина С.С. Механизм действия воздушного промежутка скважинных зарядов // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2017. Т. 1. № 12. С. 170-174.
5. Комиссаров П.В., Нифадьев В.И., Коваленко В.А., Райымкулов М.А., Басакина С.С. Поперечные эффекты в воздушном промежутке при взрыве сегмента рассредоточенного скважинного заряда // Горение и взрыв. 2018. Т. 11. № 3. С. 103-109.
6. Прис Д. Использование ANSYS AUTODYN для оптимизации процесса взрывных работ в горной промышленности // ANSYS Advantage. Русская ред. инж.-техн. журн. 2010. № 14. С. 13-14.
7. Коваленко В.А., Григорьев В.В. О численном моделировании разрушения горных пород динамическим нагружением // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. Академия наук СССР, Сиб. отд-ние. 1991. № 5. С. 71-77.
8. Григорьев В.В. Метод бинарных элементов в задачах динамики разрушения горных пород // Добывающая промышленность. 2019. Т. 13. № 1. С. 140-142.

## ЧТО ТАКОЕ ФИЗИКА ЭВОЛЮЦИИ

Сомсиков В.М.<sup>1,2</sup>

*vmsoms@rambler.ru*

<sup>1</sup> Институт ионосферы, г. Алматы, Республика Казахстан

<sup>2</sup> Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

*Физика эволюции - область науки, изучающая процессы возникновения, развития и разрушения природных объектов на основе фундаментальных законов физики. Она строится на основе детерминированного механизма необратимости (ДМН). ДМН был установлен, опираясь на принцип дуализма симметрии (ПДС) и условие структурности материи. ПДС утверждает, что динамика систем определяется не только симметриями пространства, как в случае динамики бесструктурной материальной точки, но и симметриями самой системы. Опираясь на ПДС, условие структурности материи, путем разделения энергии системы на энергию движения и внутреннюю энергию, из представленного таким образом энергии системы было найдено ее уравнение движения. Из этого уравнения следует, что при движении систем в неоднородном поле сил возникает нарушение симметрии времени. При условии достаточно большого количества частиц в системе ее динамика необратима из-за трансформации энергии движения системы в ее внутреннюю энергию. Установление существования ДМН позволило доказать бесконечную делимость материи. Все это положило начало основам физики эволюции. Сегодня в рамках физики эволюции изучаются уравнения динамики систем, построенные на их основе расширенные формализмы механики, описывающие процессы эволюции открытых неравновесных динамических систем (ОНДС). Согласно законам классической механики, все существующие элементы материи являются ОНДС. В рамках законов физики эволюции развивается понятие Д-энтропии. На основе уравнений динамики ОНДС разной сложности предлагается обоснование феноменологических разделов физики. Изучается расширенное уравнение Шредингера, позволяющее описывать нарушение временной симметрии для квантовых систем. Обсуждаются принципы построения иерархической картины мира на основе физических законов. В целом физика эволюции строится исходя из условий единства и познаваемости картины мира в рамках физических законов.*

*Ключевые слова: динамика, эволюция, фазовое пространство, энтропия, необратимость, формализмы механики.*

### Введение

Сегодня, как никогда раньше, существование человечества, его настоящее и будущее, зависят от уровня и темпов развития знания об окружающем мире, включая знания о человеке и обществе. Причем, если раньше эти знания, главным образом, были необходимы для обеспечения существования человека, то теперь они в значительной степени необходимы для сохранения среды обитания, которая ускоряющимися темпами разрушается в результате человеческой деятельности. Это делает актуальной проблему гармонии человека и окружающего мира. Отсюда возрастает роль физических знаний. Физика должна ответить на такие актуальные вопросы: как строить эволюционную картину мира, как сложное возникает из простого, как возникает материя, как создать формализм, который позволит построить «теорию всего», суть природы гармонии человека и среды обитания [1-4]. Актуальность этих и многих других подобных вопросов стала особенно очевидной в связи с ростом населения планеты, глобальным изменением природы, необходимостью освоения космического пространства. Решение этих и других проблем физики, касающихся построению

эволюционной картины мира, опирается на идеи познаваемости мира, его единственности, замкнутости и непротиворечивости законов природы.

Длительное время основным препятствием на пути построения эволюционной картины мира было то, что современная фундаментальная физика описывала существующий мир, но не процессы его возникновения, развития и преобразования [5, 6]. Это объясняется тем, что эволюция связана с необратимыми и нелинейными процессами, описание которых пока лежит за пределами современных возможностей физики.

В результате поиска решения проблемы необратимости вначале был найден ее вероятностный механизм. Он опирался на условие экспоненциальной неустойчивости процессов гамильтоновых систем и гипотезу о существовании случайных внешних воздействий на них [5]. Этот механизм отвечал на вопрос, как может возникать хаос, но он не мог ответить на ключевые вопросы эволюции: как порядок возникает из хаоса, как природа выбирает путь от простого к сложному. Ведь строить картину мира, опираясь на вероятностные гипотезы невозможно, поскольку не ясно, как сложное возникает из простого [9]. Поэтому поиски детерминированного механизма необратимости (ДМН), несмотря на установленный вероятностный механизм необратимости не прекращались. Тем более, что ДМН не запрещался фундаментальными законами физики. И он был найден [7,8]. Это послужило новым толчком к построению основ физики эволюции. Попытаемся кратко пояснить, как был найден механизм ДМН и как он привел к возникновению физики эволюции.

### Детерминированный механизм необратимости

Анализ огромного числа попыток найти ДМН в рамках канонических формализмов классической механики еще в прошлом веке привел к выводу, что ДМН не существует в рамках этих формализмов. Отсюда возникали предположения, что классическая механика либо неполна, либо формализмы классической механики, на основе которых пытаются решить эту задачу, требуют расширения, например, путем снятия каких-то не известных к тому времени ограничений [4, 16]. Анализ динамики простейших систем твердых дисков привел к мысли, что ДМН скрывается в необходимости корректного учета роли структуры материи в ее динамике [8]. В связи с этим возникла идея получить уравнение движения структурированного тела из ключевых принципов и законов классической механики, не используя ее формализмы. Для этого было решено использовать модель тела в виде структурированной частицы (СЧ) [7]. В качестве СЧ взяли равновесную систему из достаточно большого количества потенциально взаимодействующих материальных точек (МТ). Это продиктовано тем, что, как правило, все тела с хорошей степенью аппроксимации могут быть представлены совокупностью СЧ [13]. Кроме того, движение каждой МТ определяется детерминированными законами механики.

Таким образом, ключевой идеей, на основе которой осуществлялся поиск ДМН, была идея о **необходимости учитывать влияние структуры тела на его динамику**. Для реализации этой идеи нужно было построить механику, в которой в качестве модели тела использовалась СЧ [7]. Для построения такой механики вначале нужно было получить уравнение движения систем МТ. Изучение систем твердых дисков подсказало, что его нужно получать на основе принципа дуализма симметрии (ПДС). Суть ПДС в том, что **движение систем определяется не только симметрией пространства, как в случае бесструктурной МТ, но и внутренней симметрией системы** [10, 11]. Согласно ПДС, уравнение движения системы требовалось получать из выражения полной энергии системы, представленной суммой энергии ее движения и внутренней энергии. Такой вывод уравнения движения также позволил избежать использования канонических формализмов механики [14].

Согласно ПДС **вдоль траектории тела сохраняется сумма энергий его движения и внутренней энергии при условии возможного преобразования одного типа энергии в другой**. Из представленной таким образом энергии и было получено уравнение системы МТ. Оно имеет вид [7]:

$$M_N \dot{V}_N = -F_N^0 - \mu V_N, \quad (1)$$

где  $M_N$  - масса системы;  $V_N$  - скорость системы относительно ее центра масс;  $i, j$  - номера МТ системы, где  $i, j$  пробегает значения от 1 до  $N$ , причем  $i \neq j$ ;  $v_i - v_j = v_{ij} = \dot{r}_{ij}$  - относительные скорости МТ системы;  $F_N^0 = \sum_{i=1}^N F_i^0$ ;  $F_i^0$  - внешние силы, действующие на каждую  $i$ -ю МТ;  $F_{ij}^0 = F_i^0 - F_j^0$ ;  $F_{ij}$  - силы взаимодействия между  $i$  и  $j$  МТ;  $\mu = \dot{E}_N^{\text{int}} / (V_N^{\text{max}})^2$ ;

$$\dot{E}_N^{\text{int}} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N v_{ij} (m\dot{v}_{ij} + F_{ij}^0 + NF_{ij}).$$

Вывод уравнения (1) осуществлялся путем дифференцирования по времени, представленной в соответствии с ПДС полной энергии системы при условии ее сохранения. В соответствии с ПДС, энергия системы задавалась в дуальном виде с помощью независимых микро - и макропеременных [7]. Через микропеременные выражалась внутренняя энергия, а через макропеременные выражалась энергия движения системы в пространстве, связанная с энергией движения ее центра масс.

Два типа энергии системы, в свою очередь, привели к двум типам сил, отвечающих за их изменение. Первый член в правой части уравнения (1) является центральной силой, изменяющей энергию движения системы. Второй член определяет силы, изменяющие внутреннюю энергию. Этот член возникает только при наличии внешнего неоднородного поля сил. Он зависит от микро-и макропеременных. Поэтому он билинеен и является членом второго порядка малости. Из-за наличия этого члена уравнение (1) не симметрично относительно обращения времени, а для СЧ оно необратимо [7, 8, 12, 14].

Уравнение (1) было получено на основе фундаментальных законов и принципов, применимых ко всем формам материи. Эти законы и принципы включают в себя законы сохранения энергии, импульса, принцип Галилея и ПДС. Поэтому вытекающая из уравнения (1) необратимость СЧ является детерминированной.

Как оказалось, ДМН обусловлен преобразованием энергии движения СЧ в ее внутреннюю энергию (поглощение энергии движения тела средой качественно не меняет суть ДМН, поэтому оно не было принято во внимание). Ранее механизм диссипативных процессов в рамках законов классической механики осуществлялся путем дополнения уравнения движения Ньютона эмпирической силой трения, пропорциональной скорости и коэффициенту трения. Интересно, что это было известно еще Аристотелю [21].

Уравнение (1) натолкнул на идею расширения существующих рамок математических теорий для описания процессов нарушения симметрий. Так, билинейный член в его правой части, определяющий диссипативную силу, свидетельствовал о необходимости ввести понятие **взаимодействия динамических групп симметрии**. Действительно, исходя из вида этого билинейного члена, **нарушение симметрий обусловлено зацеплением переменных двух групп симметрии: симметрии системы и симметрии пространства**. Эти билинейные члены, определяющие взаимодействие элементов различных групп симметрии, были названы **эволюционной нелинейностью**, поскольку они отвечают за нарушение симметрии и соответствующие этому нарушению диссипативные процессы. В свою очередь диссипативные процессы отвечают за эволюцию, поскольку возникновение аттракторов невозможно без диссипации. Для движущейся системы в неоднородном поле сил эволюционная нелинейность приводит к преобразованию энергии движения системы во внутреннюю энергию. Отсюда понятно, что необходимость использования ПДС продиктована тем, что **эволюция обусловлена нарушением симметрий пространства и времени в результате нелинейной взаимосвязи элементов групп симметрии, возникающей при движении системы в неоднородном поле сил**.

Подчеркнем, что в уравнении движения системы, полученном из канонических уравнений Лагранжа [14, 15], эволюционная нелинейность отсутствует. Это связано с тем, что уравнения Лагранжа были получены при требовании голономности связей и потенциальности всех коллективных сил, что исключает нарушение симметрии.



Таким образом, заменив МТ на систему, используя ПДС, представляя энергию системы в виде суммы энергии ее движения и внутренней энергии, принимая во внимание неголономность связей при выводах уравнения движения систем, а также введя понятие взаимодействия динамических групп симметрии, возникающего при наличии градиентов внешних сил, удалось раскрыть природу ДМН. ДМН открывал возможность построения физики эволюции.

Механика систем позволила ввести в классическую механику понятие Д-энтропии, определив ее как отношение приращения внутренней энергии системы за счет энергии ее движения, к полной величине внутренней энергии. Благодаря тому, что уравнение (1) было построено в микро и макропеременных, выражение энтропии для неравновесной системы [13], представленной совокупностью СЧ, напрямую следует из этого уравнения. Д - энтропию для ОНДС можно записать следующим образом [11,12]:

$$\Delta S^d = \sum_{L=1}^R \left\{ N_L \sum_{k=1}^{N_L} \left[ \int \sum_s F_{ks}^L v_k dt \right] / E_L \right\} \quad (2)$$

где  $E_L$  - внутренняя энергия  $L$ -СЧ;  $N_L$  - число частиц в  $L$ -СЧ;  $L=1,2,3\dots R$  - количество СЧ в ОНДС;  $s$  - внешние МТ, взаимодействующие с  $k$ -й МТ из  $L$ -СЧ;  $F_{ks}^L$  - составляющая силы, меняющая скорость движения  $k$ -й МТ относительно центра масс  $L$ -СЧ. Эта сила действует со стороны  $s$ -ой МТ другой СЧ;  $v_k$  - скорость  $k$ -й МТ относительно центра масс для СЧ.

Формула (2) определяет относительное изменение внутренних энергий всех СЧ, входящих в ОНДС, за счет работы сил, действующих между ними. То есть, эта формула определяет часть энергии относительных движений СЧ, которая уходит в их внутреннюю энергию.

В отличие от существующих типов энтропии, Д-энтропия определяется в рамках законов классической механики для движущейся системы в неоднородном поле сил. Для равновесных, а, значит, для достаточно больших систем Д-энтропия соответствует термодинамической энтропии. Это следует из того, что только для равновесных систем тепловая энергия эквивалентна внутренней энергии [13]. А то, что для равновесных систем внутренняя энергия необратимо возрастает за счет энергии движения, соответствует второму закону термодинамики.

Д - энтропия обладает большой универсальностью, так как она определяется через уравнения движения систем, полученные на основе детерминированных законов классической механики. Поэтому ее можно использовать для анализа как равновесных, так и неравновесных систем. Более того, поскольку она выводится из строгих законов классической механики, она в принципе может быть использована для определения областей применения феноменологической энтропии Клаузиуса, а также вероятностных энтропий. Важно отметить, что принцип энергии или первое начало термодинамики [13] на самом деле уже соответствует ПДС для сплошных сред. Записав энергию системы при переходе к сплошной среде в дуальном виде, придем к законам термодинамике, опираясь на законы классической механики [19].

В соответствии с определением Д-энтропии, она применима не только для систем с большим количеством МТ. Она также может быть использована для систем с малым количеством МТ, движущихся в неоднородных полях внешних сил. Но тогда она может быть, как положительной, так и отрицательной [19]. Таким образом, **Д – энтропия характеризует нарушение симметрии времени, или изменение внутренней энергии системы.** Она находится в согласии с существующими определениями энтропии, а также в соответствии со статистической природой установления равновесия [11, 13].

В результате решения проблемы ДМН было установлено, что согласно законам классической механики, **материя делима до бесконечности** [7]. Это обстоятельство привело к выводу, что базовым элементом материи должна являться не бесструктурная частица, как предполагалось ранее, а **ОНДС** [12]. То есть, **материя представляет собой иерархию ОНДС.** Изучение этого обстоятельства позволило предложить ряд принципов, которые связывают

законы эволюции ОНДС с законами эволюции ее элементов. Это открывало возможности построения эволюционной картины мира в рамках фундаментальных законов физики на основе знания принципов, определяющих взаимосвязь законов эволюции ОНДС, с законами динамики ее элементов [12, 21].

Из возможности построения необратимой механики СЧ вытекает возможность объяснения законов и принципов эволюции. При этом феноменологические законы разделов физики конденсированных сред следуют из законов классической механики. Так, оказалось, что эволюция материи, скорее всего, определяется эволюционными нелинейностями, которые обеспечивают зацепление переменных двух групп симметрии. Это и приводит к нарушению симметрии времени и к эволюции. Было получено, что аналитическая форма эволюционной нелинейности имеет универсальный вид, который совпадает с аналитической формой потенциалов, определяющих фазовые переходы в квантовых системах [18, 20]. Этот потенциал имеет вид:

$$H = \alpha\chi^2 - \beta\chi^4 . \quad (3)$$

Здесь  $\alpha, \beta$  константы, которые можно определить с помощью уравнения (1),  $\chi$  - так называемый параметр порядка.

На основе ПДС было получено расширенное уравнение Шредингера квантовой механики. Оно имеет вид [17]:

$$\{i\hbar \frac{\partial}{\partial t} + \sum_{a=1}^N [\frac{\hbar^2}{2m_a} \nabla_a^2 - U(r_a, t)] - W_{int}(r_1, r_2, \dots, r_N)\} \psi(r_1, r_2, \dots, r_N, t) = 0. \quad (4)$$

Здесь  $R$  - координаты центра масс системы,  $\tilde{r}_i$  - координаты  $i$ -частицы относительно ЦМ системы,  $\psi(r_1, r_2, \dots, r_N, t)$  волновая функция системы,  $N$  - число частиц. Суммирование выполняется по частицам системы

Учтем, что на квантовом уровне частицы делимы до бесконечности и принцип образования макросистем из микросистем универсален. Тогда квантовые частицы должны представлять собой ОНДС и обладать внутренней энергией. Но тогда использование для описания динамики квантовых частиц классического уравнения Шредингера приведет к неопределенности их траектории. Эта неопределенность подобна неопределенности траектории, которая возникнет при описании динамики системы с использованием уравнения Ньютона, справедливого для бесструктурных частиц. Ведь уравнение Шредингера получено из канонического формализма классической механики, которое не принимает во внимание роль структуры системы в ее динамике. Как и в классической механике, эта неопределенность, будет определяться относительной долей изменения внутренней энергии к энергии движения. Известно, что в квантовой механике внутренняя энергия системы не может быть равной нулю. Причем она не меньше постоянной Планка. Следовательно, как и в классической механике, это даст неопределенность в расчетах объема фазового пространства взаимодействующих квантовых систем, которая соизмерима с величиной постоянной Планка. Для устранения этой неопределенности нужно использовать расширенное уравнение Шредингера. Оно учитывает изменение внутренней энергии частиц в их динамике [17]. То есть, можно утверждать, что **принцип неопределенности Гейзенберга, так или иначе, связан с существующими методами описания квантовых систем, которые не учитывают роль их структур в динамике, но не с тем, что он продиктован природой микромира.** В результате проблема обоснования возможности построения физики эволюции, связанная с принципом неопределенности в квантовой механике, в значительной степени снимается. Это открывает возможность строить физику эволюции, включающую в себя принципы и законы, определяющие процессы возникновения, развития и распада структур материи, поднимаясь по иерархической лестнице строения материи от простого к сложному.

Существование ДМН демонстрирует, как количество переходит в качество, и что целое не есть сумма его частей, а законы динамики целого следуют из законов их элементов [9, 16,

21]. Это свидетельствует о возможности построения эволюционной картины мира в рамках фундаментальных законов физики, опираясь на физику эволюции.

### Литература

1. Эбелинг В., Энгель А., Файстель Р. Физика процессов эволюции. М.: Эдиториал. УРСС. 2001. 328 с.
2. Шредингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики. 2-е изд. М. Атомиздат. 1972. 88 с.
3. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. М.: Наука. 1994. 236 с.
4. Пригожин И. От существующего к возникающему. М.: Наука. 1985. 328 с.
5. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука. 1984. 273 с.
6. Хайтун С.Д. Механика и необратимость. М.: Янус. 1996. 448 с.
7. Somsikov V.M. Deterministic mechanism of irreversibility// Journal of Advances in Physics. V. 14. Is. 3. 5708-5733p. DOI: 10.24297 / jap.v14i3.7759 ISSN: p.2347-3487.
8. Somsikov V.M. To the basics of physics evolution. Almaty. Nauka. 2016. 306 p.
9. Anderson P. W. More Is Different Science, New Series, Vol. 177, No. 4047. (Aug. 4, 1972). p. 393-396.
10. Сомсиков В.М. О механизме установления термодинамического равновесия и необратимости в газах // Известия НАН РК. Сер. физ. 1993. № 4. С. 57-61.
11. Somsikov V.M. Thermodynamics and classical mechanics // Journal of physics: Conference series. 2005. 23. P. 7-16.
12. Somsikov V.M. Deterministic irreversibility and the matter structure. Journal of Advances in Physics. 2019. V. 16. p. 21-33. ISSN: 2347-3487 <http://cirworld.com/index.php/jap>
13. Румер Ю.Б., Рывкин М.Ш. Термодинамика, статистическая физика и кинематика. М.: Наука. 1977. 552 с.
14. Голдстейн Г. Классическая механика. М.: Наука. 1975. 416 с.
15. Ланцош К. Вариационные принципы механики. М.: Мир. 1962. 408 с.
16. Пенроуз Р. Путь к реальности или законы, управляющие Вселенной. Полный путеводитель. М.-Ижевск. 2007. 912 с.
17. Somsikov V. Extension of the Schrodinger equation. EPJ Web of Conferences 138. 07003 (2017) Baldin ISHEPP XXIII, DOI: 10.1051/ epjconf/201713807003 p. 1-7.
18. Сомсиков В.М. Детерминированная необратимость в природе хаоса и порядка // ПЭОС. 2019. Вып. 21. Т. 1. С. 45-55.
19. Somsikov V.M. From the laws of classical mechanics to the laws of thermodynamics. Eurasian Physical Technical Journals // 2017. Vol14 N 2(28) p. 4-9.
20. Shirkov D.V. 60 years of broken symmetries in physics (From Bogolyubov's theory of superfluidity to the Standard Model). UFN. V.179. No 6. 2009. p. 581-589.
21. Somsikov, V. M., & Azarenko, S. N. Determinism in Physics and Cognoscibility of a Picture of the World. Open Journal of Philosophy, 9, 265-280. <https://doi.org/10.4236/ojpp.2019.93018>

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СКЛАДСКОГО УЧЕТА НА ОСНОВЕ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА СИСТЕМЫ STOREHOUSE

Усманов Т.Р.

*l3iteg1997@gmail.com*

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В статье рассмотрена проблема автоматизации сбора данных на складе для различных документов движения товара на складе. Была предложена идея по автоматизации сбора данных на складе, посредством реверс-инжиниринга рабочей системы StoreHouse.*

*Ключевые слова: StoreHouse, ТСД, синхронизация баз данных.*

### Введение

*Актуальность.* Ни один бизнес не обходится без таких составляющих, как логистика и склад. От того, насколько качественно работают складские и логистические процессы, во многом зависит успех компании.

В логистике склад - это место преобразования материальных потоков, направленных на удовлетворение клиентской базы. Склад является неотъемлемой частью единой логистической цепочки «поставка - производство - сбыт». Участвуя во всех звеньях, склад оказывает существенное влияние на качество и количество выпускаемой продукции. Именно поэтому складская логистика играет важную роль в логистической системе и в обеспечении конкурентоспособности организации в условиях рыночной экономики.

Программные решения и их использование для автоматизации склада уже долго являются главной задачей компаний, сфера деятельности которых связана со складской логистикой. Ведь от того, насколько эффективно работает логистика и склад, зависит успешная реализация всех поставленных задач компаний. Правильная организация работы складского комплекса – это залог бесперебойной работы предприятия.

В основном предприятие сталкивается со следующими проблемами:

1. низкая скорость работы склада;
2. отсутствие точной информации о наличии и местонахождении товаров на складе;
3. сложность проведения контрольных процедур;
4. «бумажный» вид обработки информации;
5. невозможность инвентаризации без остановки работы склада;
6. неуправляемость работы склада.

Автоматизация склада с помощью внедрения специализированных программ является наиболее эффективным решением этих проблем. Основным плюсом автоматизации уменьшение использования «бумажной» технологии, что позволяет повышать эффективность складского учета, так как из-за большого количества обрабатываемой информации появляется риск возникновения ошибок или неточностей.

*StoreHouse[2].* Система автоматизации складского учета StoreHouse, разработанная компанией UCS, позволяет полностью контролировать процесс управления производством.

Программа StoreHouse решает важнейшую для производства задачу по учёту складских остатков и контролю списания товаров. В Store House ведутся калькуляционные карты, а также технологические и технико-технологические карты, рассчитывается калорийность блюд.

Программа StoreHouse позволяет осуществлять полный контроль расходования продуктов, эффективно управлять себестоимостью, правильно организовать закупки, контролировать действия персонала. Программа существенно облегчает работу бухгалтера-калькулятора по постоянной борьбе с пересортицей, так как в ней заложены хитроумные механизмы автоподстановки и тотального контроля всех остатков.

## Описание проблем работы склада

Были выделены следующие участки автоматизации работы склада:

1. Прием товара
  - 1.1. Точная фиксация поступлений
  - 1.2. Сокращение времени на прием товара
2. Хранение товара на складе
  - 2.1. Потери и порча товара
  - 2.2. Контроль срока годности и условий хранения продукции
3. Организация склада
  - 3.1. Время поиска товара
  - 3.2. Скорость обслуживания клиентов
  - 3.3. Точность формирования заказов
4. Отгрузка товара
  - 4.1. Скорость отгрузки
5. Инвентаризация
  - 5.1. Время проведения инвентаризации

Все вышеупомянутые проблемы можно отнести к одному классу – человеческий фактор. Для решения этих проблем было решено использовать ТСД [1] со специальным программным обеспечением которое должно быть интегрировано с рабочей системой StoreHouse, которая в свою очередь ответственна за учёт складских остатков, контроль списания товаров и различные калькуляции на складе.

ТСД (Терминал сбора данных) – представляет собой портативный компьютер со встроенным сканером штриховых кодов. Он позволяет сканировать товар, что позволяет в максимально быстрые сроки создавать накладные с минимальными ошибками.

Основной проблемой являлась **интеграция** [5] (объединение разнородных частей и систем в единую среду) со StoreHouse. Решение которой будет описано ниже.

Целью работы является повышение эффективности процессов складской логистики предприятия, отличающегося широкой номенклатурой.

## Аналогичные системы

Opticon Smart [3] – вариант при автоматизации учета товародвижения или переучета на складе. Разработан специально для сокращения времени проведения стандартных складских операций и снижения вероятности ошибок со стороны оператора при приеме товара, его отгрузке, инвентаризации, учете перемещений продукции по складскому помещению. Используя терминал Opticon Smart, можно выполнять задачи любой сложности, начиная от накопления информации об остатках товара и заканчивая «подсказками», которые аппарат может дать пользователю при навигации по складу.

Opticon Smart работает следующим образом: при приемке товаров в базу программы сбора данных аппарата записываются сведения, которые содержатся в штрих-коде, и вводится количество продукции.

При отгрузке товара в память устройства загружается накладная, а комплектование заказа происходит при помощи подсказок аппарата. Это практически исключает ошибочные действия в работе оператора.

При переучете сканирование штрих-кодов и ввод их количества позволяют программе складского учета сформировать инвентаризационную ведомость.

## Алгоритм интеграции со StoreHouse

Для интеграции со StoreHouse были выделены следующие проблемы:

1. Выделение сущностей, необходимых для создания накладных в StoreHouse.
2. Синхронизация данных [4] со StoreHouse и отображение их в реляционную модель.
3. Генерация штрих-кодов для товаров внутреннего перемещения
4. Создание накладных в StoreHouse.

5. Работа приложения инвенторизации в оффлайн режиме  
Более подробно программная система показана на диаграмме компонентов (рис. 1).

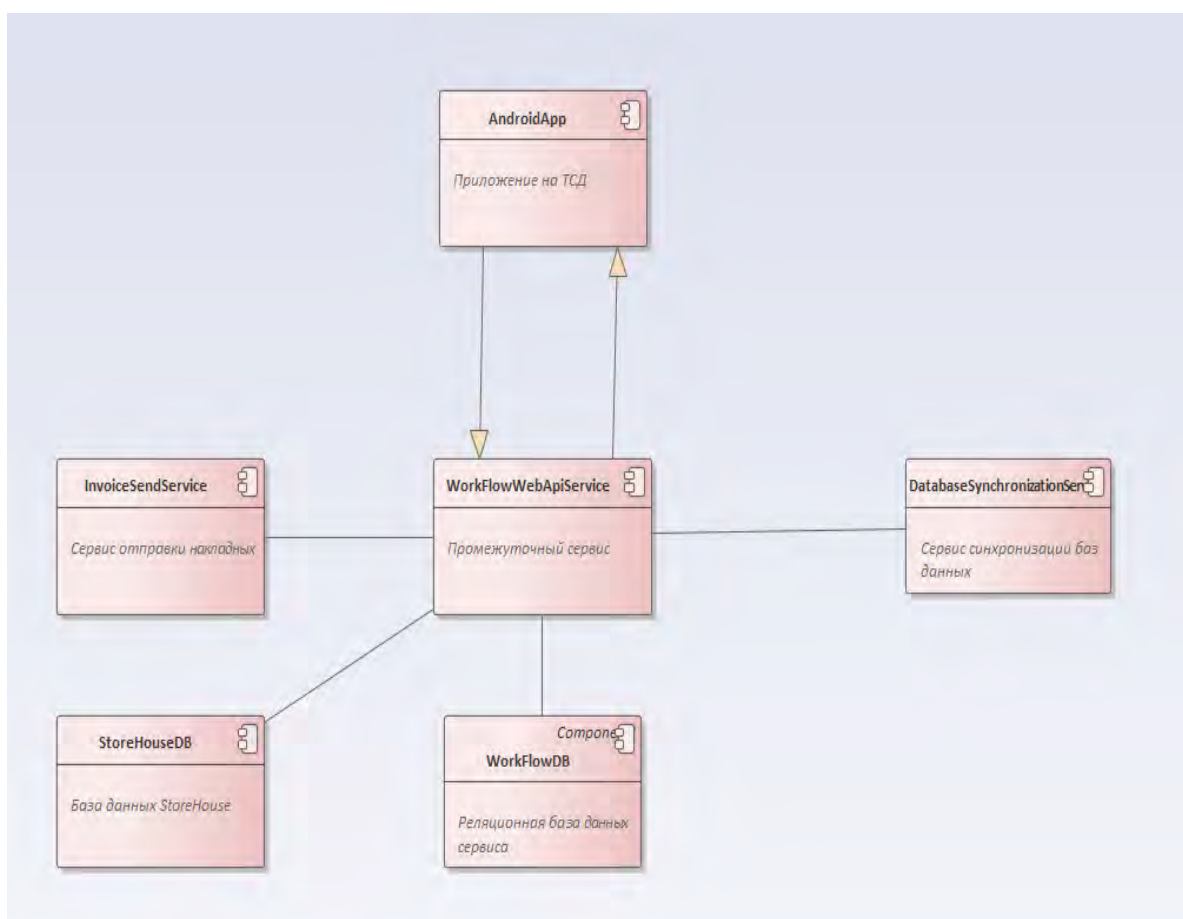


Рисунок 1 – Диаграмма компонентов системы.

*StoreHouseDB* – представляет собой компонент доступа к данным программного компонента *StoreHouse*.

*WorkFlowDB* – представляет собой отражение базы данных *StoreHouse* в реляционном виде с дополнительными сущностями необходимыми для функционирования системы.

*WorkFlowWebApiService* – связующее звено всех приложений, которое представляет собой веб-службу (ASP.NET приложение), которая может взаимодействовать с различными приложениями [6]. В свою очередь имеет слои доступа к базам данных как *StoreHouseDb* и *WorkFlowDB*. Доступ к базе данных *WorkFlowDB* осуществляется посредством EntityFramework [7], который представляет специальную объектно-ориентированную технологию на базе фреймворка .NET для работы с данными.

В слое бизнес логики сервиса *WorkFlowWebApiService* был реализован алгоритм синхронизации данных нереляционной базы данных *StoreHouseDB* и реляционной базы данных *WorkFlowDB*. Так же было введено понятие версионной баз данных, так как синхронизация данных запускается раз в 3 часа посредством *DatabaseSynchronizationService* и необходимо знать какие именно данные были изменены в этот промежуток времени, для отправки на ТСД не всей базы данных *WorkFlowDB*, а только измененной части.

Для синхронизации данных было написано отдельное расширение над EntityFramework, которое представляет собой библиотеку классов [8] и может быть переиспользовано в различных проектах. Обновленные данные хранятся в отдельных таблицах (Рисунок 2). Где *DatabaseVersion.Id* – версия базы данных, *DatabaseVersion.TransactionId* – идентификатор транзакции, в ходе которой были изменены данные, *\_TransactionLog.TableName* – таблица, в которой были сделаны изменения,

\_TransactionLog.EntityJsonAfter и \_TransactionLog.EntityJsonBefore – состояния сущностей после и до изменений соответственно в Json виде.

*InvoiceSendService* – представляет собой WindowsService, который создает накладные в StoreHouse, отправленные с ТСД в *WorkFlowWebApiService*.

*DatabaseSynchronizationService* – представляет собой WindowsService, синхронизирующий базы данных StoreHouseDB и WorkFlowDB.

*AndroidApp* – представляет собой Android приложение, позволяющее сканировать товар, создавать накладные и печатать штрих-кода для товара внутреннего перемещения.

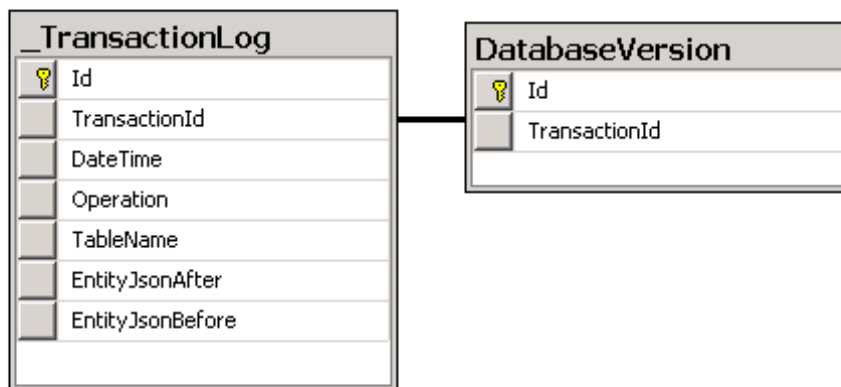


Рисунок 2 – Структура хранения измененных данных

### Результаты

Таким образом, полученная программная система позволила решить следующие проблемы: (Точная фиксация поступлений, сокращение времени на прием товара, контроль срока годности продукции, увеличение скорости отгрузки, время проведения инвентаризации). Главным преимуществом системы стала возможность работы андроид приложения в режиме оффлайн. Система так же была успешно внедрена в производство.

### Литература

1. Определение Терминал сбора данных (Portable data terminal) [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BB\\_%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0\\_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A2%D0%B5%D1%80%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B0%D0%BB_%D1%81%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%B0_%D0%B4%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8B%D1%85) (2 августа 2019)
2. StoreHouse [https://www.ucs.ru/products/r\\_keeper/storehouse/](https://www.ucs.ru/products/r_keeper/storehouse/) (2020)
3. Opticon Smart [https://rdmspb.com/files/docs/opticon\\_smart.pdf](https://rdmspb.com/files/docs/opticon_smart.pdf) (на англ.) (8 декабря 2016)
4. Синхронизация баз данных <https://intellect.icu/teoriya-sinkhronizatsii-dannykh-v-informatike-5964> (18 января 2019)
5. Определение «Интеграция» <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%98%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F> (4 ноября 2019)
6. Определение «Web API» [https://metanit.com/sharp/aspnet\\_webapi/1.1.php](https://metanit.com/sharp/aspnet_webapi/1.1.php) (28 ноября 2015)
7. Определение «Entity Framework» <https://metanit.com/sharp/entityframework/1.1.php> (31 октября 2015)
8. Библиотека классов [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F\\_%D0%B1%D0%B8%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D0%B0%D1%80%D1%82%D0%BD%D0%B0%D1%8F_%D0%B1%D0%B8%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BE%D1%82%D0%B5%D0%BA%D0%B0) (26 августа 2019)

## **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОДСЧЕТА ЯЧЕЕК ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГЕОМАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ОБРАЗЦА ГАББРО**

Чешев М.Е., Имашев С.А.

*cheshevmihail@yandex.ru, sanzhar.imashev@gdirc.ru*

Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

*В работе представлен метод дифференциального подсчета ячеек, использующийся для вычисления фрактальной размерности (ФР) изображений с большим количеством пикселей, имеющих различный уровень серого. Были получены микроснимки поверхности образца габбро, сделанные до и после разрушения, для которых были рассчитаны соответствующие значения ФР методом дифференциального подсчета ячеек. Анализ полученных результатов показал, что значение ФР существенно меняется при появлении дефектов поверхности.*

*Ключевые слова: фрактал, фрактальная размерность, геоматериалы, дифференциальный подсчет ячеек.*

### **Введение**

В ходе многочисленных экспериментальных работ было показано, что трещиноватость поверхностей имеет схожие характеристики на разных масштабных уровнях [1], что позволяет анализировать поверхности, используя методы фрактального анализа [2]. Подобные работы были проведены для количественного описания поверхностей разрушения для металлов, керамики и полимерных материалов [3]. Для вычисления фрактальной размерности, как количественной оценки поверхности разрушения, были предложены несколько алгоритмов, наиболее популярным из которых является метод подсчета ячеек (box-counting) [4], реализация которого происходит следующим образом: измеряемый объект покрывается сеткой из ячеек фиксированного размера, затем подсчитываются все ячейки, которые оказались непустыми. Так происходит итерирование по нескольким значениям масштаба сетки, и в итоге получается два ряда значений, состоящие из количества пустых ячеек и соответствующим им масштабам. Полученные данные позволяют получить фрактальную размерность как угловой коэффициент линии регрессии, построенной по этим рядам.

Подобный расчет хорошо применим для объектов, чья пространственная размерность лежит в пределах от 1 до 2, в то время как поверхность геоматериалов имеет неоднородную (неплоскую) структуру, в связи с наличием пикселей разных оттенков. При применении метода подсчета ячеек необходимо преобразовывать такие участки бинарный тип - в черный цвет, либо в белый, в зависимости от выбранного фонового уровня. При таком подходе к оценке фрактальной размерности может теряться значительная часть полезной информации, так как сама трещина на микроснимке имеет несколько градаций серого, и бинаризация ниже определенного уровня будет трансформировать эти серые пиксели в фон. В этой связи Н. Саркар [5] был предложен алгоритм, в основе которого лежит метод подсчета ячеек с поправкой на учет оттенков серого – так называемый дифференциальный подсчет ячеек.

### **Метод дифференциального подсчета ячеек**

Представим изображение размерами  $M \times M$  пикселей как плоскость, где каждый пиксель является столбцом с высотой (рис. 1), которой соответствует его уровень оттенков серого. Представленная плоскость покрывается сеткой, каждая ячейка  $n$  которой имеет размеры  $S \times S$ , где



S изменяется от 2 до M/2. Внутри ячейки располагается группа блоков, высота z каждого из которых вычисляется следующим образом:

$$z = S * L / M,$$

где L – уровень оттенков серого.

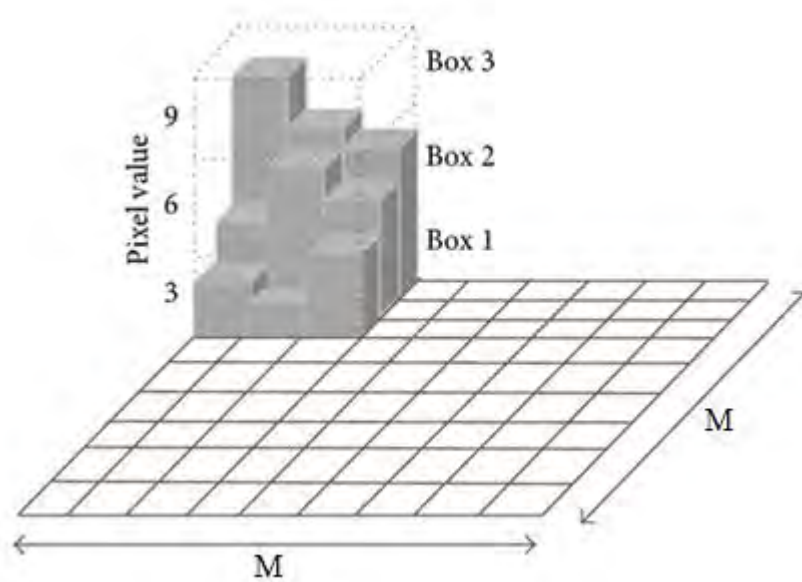


Рисунок 1 – Пример получения блоков в ячейке сетки

Каждому блоку присваивается порядковый номер, начиная от плоскости, определяется минимальный и максимальный уровень градаций серого для пикселей в данной ячейке, нормированные на h. Затем для каждой i,j-й ячейки вычисляется следующее:

$$n_r(i, j) = l - k + 1$$

где r - масштаб ячейки, равный S/N.

Далее суммируя все блоки при выбранном масштабе r, получаем меру неоднородности изображения:

$$N_r = \sum n_r(i, j)$$

Соответственно, чем выше будут уровни градаций серого, тем больше будет высота блоков ячейки. Фрактальная размерность при этом вычисляется как тангенс угла наклона линейной аппроксимации зависимости логарифма  $N_r$  от логарифма  $1/r$  (рис. 2):

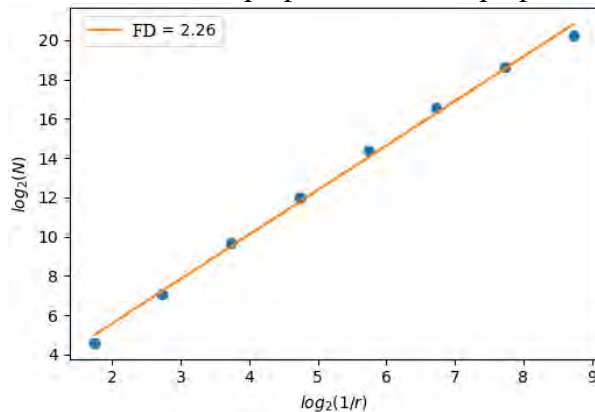


Рисунок 2 – Вычисление фрактальной размерности как тангенс угла наклона линейной аппроксимации зависимости логарифма  $N_r$  от логарифма  $1/r$

### Оценка фрактальной размерности микроснимков поверхностей разрушения образцов горных пород

В качестве примера был выбран образец габбро, который представлял собой прямоугольный параллелепипед с размерами Д x Ш x В (2см x 2см x 4см) (рис.3а). Механическое воздействие производилось на рычажной установке в режиме одноосного сжатия (рис.3б). Для фиксации изменений в структуре образца производились снимки поверхности образца до и после разрушения с помощью микроскопа Leica DM IL (рис.3в).

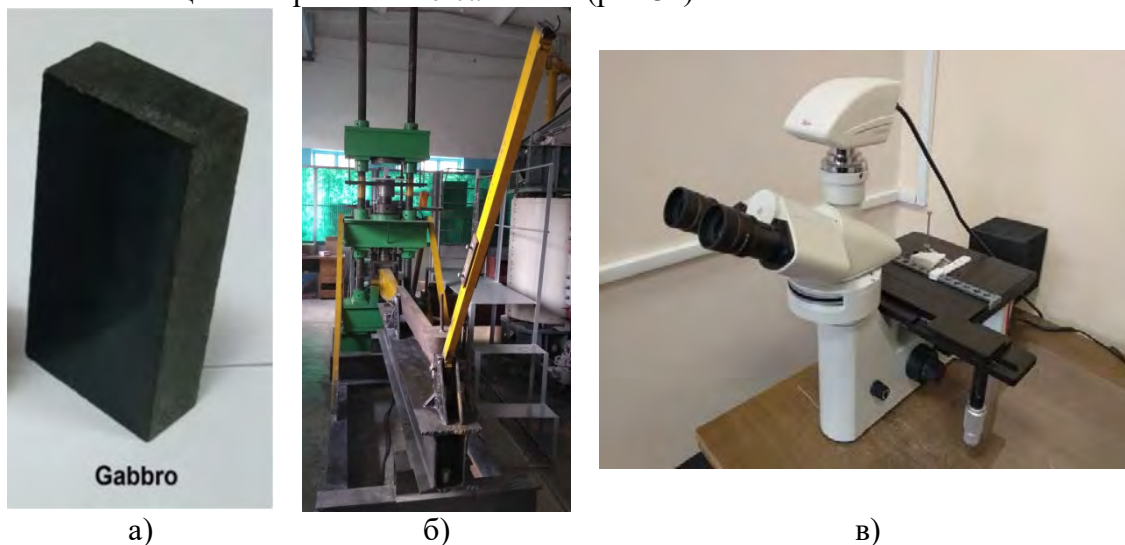


Рисунок 3 – Образец габбро (а), рычажная установка (б) и микроскоп Leica DM IL (в)

На рисунке 4 представлены микрофотографии поверхности образца габбро до и после разрушающего воздействия (рис.4).

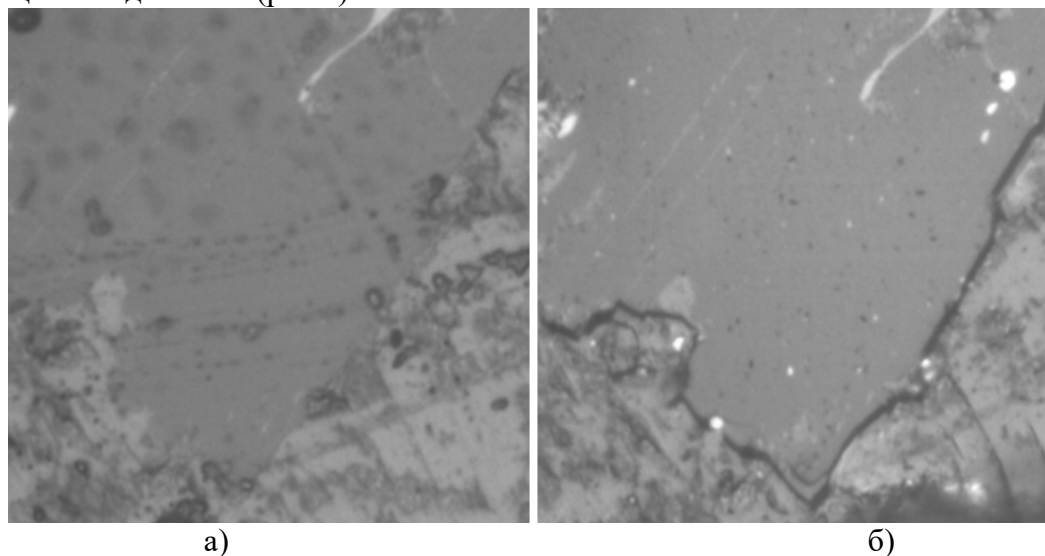


Рисунок 4 - Развитие трещиноватости поверхности образца габбро до (а) и после (б) разрушения

Как видно из рис.4, развитие трещины происходит вдоль границ зерен. При этом контуры трещины имеют различные градации серого цвета. Расчет фрактальной размерности представленных поверхностей представлен на рис.5:

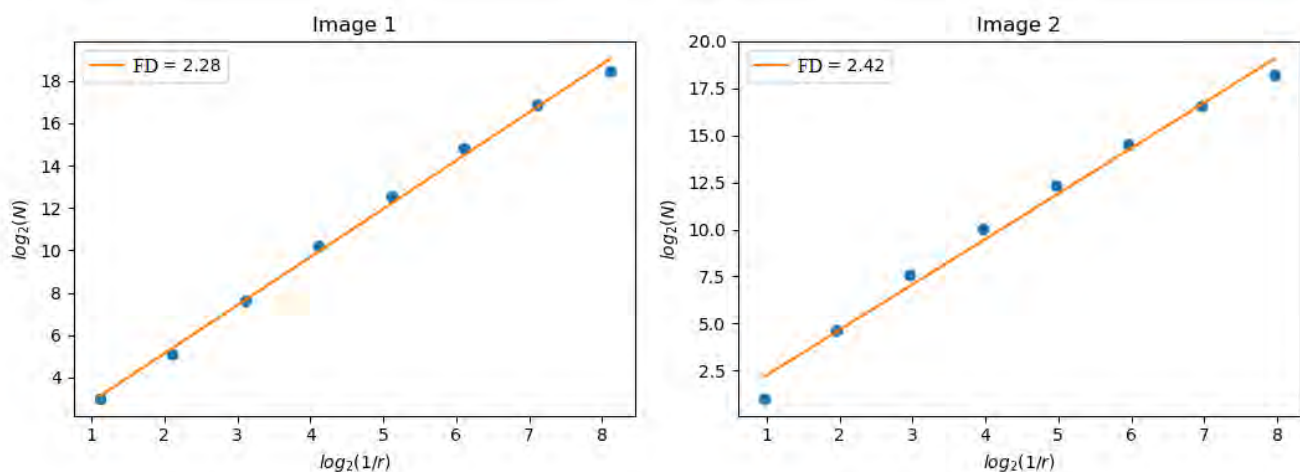


Рисунок 5 – Расчет фрактальной размерности поверхностей образца габбро до (Image 1) и после разрушения (Image 2)

Расчет показал, что после разрушения значение фрактальной размерности увеличилось на 0.14, что количественно характеризует структурные изменения поверхности, произошедшие в результате разрушения образца.

### Заключение

Метод дифференциального подсчета ячеек позволяет вычислять фрактальную размерность двумерного объекта, не теряя при этом существенную часть информации, как при использовании других методов, так как отпадает необходимость в бинаризации пикселей, уровень серого которых находится на промежуточном уровне. Расчет фрактальной размерности поверхности образца габбро до и после разрушения показал, что значение фрактальной размерности существенно изменяется после появления дефектов поверхности, в данном случае трещин. Данный метод не учитывает возможность появления цветовых аномалий, которые могут возникнуть при съемке поверхности образца, как это видно на рис.4. В дальнейших работах предполагается использовать фильтры для нивелирования подобных эффектов.

Работа выполнена в рамках государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке (тема № АААА-А19-119020190064-9)

### Литература

1. Paggi M., Carpinteri A. Fractal and multifractal approaches for the analysis of crack-size dependent scaling laws in fatigue // *Chaos, Solitons & Fractals*. 2009. Vol. 40. P. 1136–1145.
2. Farhidzadeh A., Dehghan-Niri E., Moustafa A., Salamone S., Whittaker A. Damage Assessment of Reinforced Concrete Structures Using Fractal Analysis of Residual Crack Patterns // *Exp Mech*. 2013. Vol 53. P. 1607–1619.
3. Hadjileontiadis L.J., Douka E., Trochidis A. Fractal dimension analysis for crack identification in beam structures // *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2005. Vol. 19. P. 659–674.
4. Theiler, J. Estimating fractal dimension // *Journal of the Optical Society of America*. 1990. Vol. 7. P. 1055-1073.
5. Sarkar N., Chaudhuri B.B. An efficient differential box-counting approach to compute fractal dimension of image // *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern*. 1994. Vol. 24. P. 115–120.

## УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (BIM)

Шахзадаев Р.М., Дубинин А.А.

*shakhzadayev.rakhman@gmail.com, alex.dub777@mail.ru*

Казахская головная архитектурно-строительная академия, г. Алматы, Республика Казахстан

*Любой инвестиционно-строительный проект является успешным при условии своей экономической целесообразности на каждом из этапов своего жизненного цикла. Период эксплуатации является самым продолжительным и важным этапом, когда становится очевидной инвестиционная состоятельность проекта. Современные технологии информационного моделирования открывают новые возможности в оценке эффективности управления эксплуатацией объекта. В статье рассмотрены возможности применения BIM-технологии в управлении недвижимостью. Раскрываются основные проблемы, связанные с внедрением системы информационного моделирования зданий на этапе эксплуатации и дается характеристика процессам управления эксплуатацией объекта на основе информационной модели.*

*Ключевые слова: информационное моделирование, управление, недвижимость, эксплуатация, здания и сооружения.*

В современном мире, в эпоху развития цивилизации, экономики и инфраструктуры, строительство, проектирование и эксплуатация зданий и сооружений переходят на новый уровень. Во всемирной практике многие годы поднимаются вопросы, как рационально и эффективно эксплуатировать здания. Дебаты на эту тему возобновились с новой силой после того, как была разработана технология информационного моделирования зданий и возникла гипотеза, что FM-информация, получаемая в течение жизненного цикла объекта может помочь повысить эффективность управления недвижимостью (*FM - Facility Management*).

Этап эксплуатации является самым важным и продолжительным в жизненном цикле объекта, и может составлять 50 и более лет. Как свидетельствуют подсчеты, стоимость жизненного цикла от пяти до семи раз выше стоимости исходных инвестиций и в три раза превышает стоимость строительства. Существует колоссальная экономическая и экологическая потребность в том, чтобы управление вновь построенными и уже существующими объектами недвижимости осуществлялось максимально эффективным способом. [1]

Проведенные зарубежные исследования потенциальности *BIM* в направлении повышения эффективности эксплуатации зданий, а также исследование барьеров, препятствующих ее использованию, показали, что потенциал *BIM* возникает благодаря улучшению существующих на данный момент ручных процессов передачи информации, например, исполнительной документации [1]. При этом отмечалось, что технология также повышает точность данных и увеличивает эффективность эксплуатации с точки зрения скорости доступа к данным об объекте. Также была выявлена недостаточность исследований на основе реальных примеров, в особенности применительно к существующим зданиям, несмотря на тот факт, что вновь построенные здания представляют лишь незначительный процент в общем фонде зданий. Полученные результаты стали свидетельством ценности системы *BIM* для повышения эффективности *FM*-заказов на работы, а также для точности геометрических информационных записей.

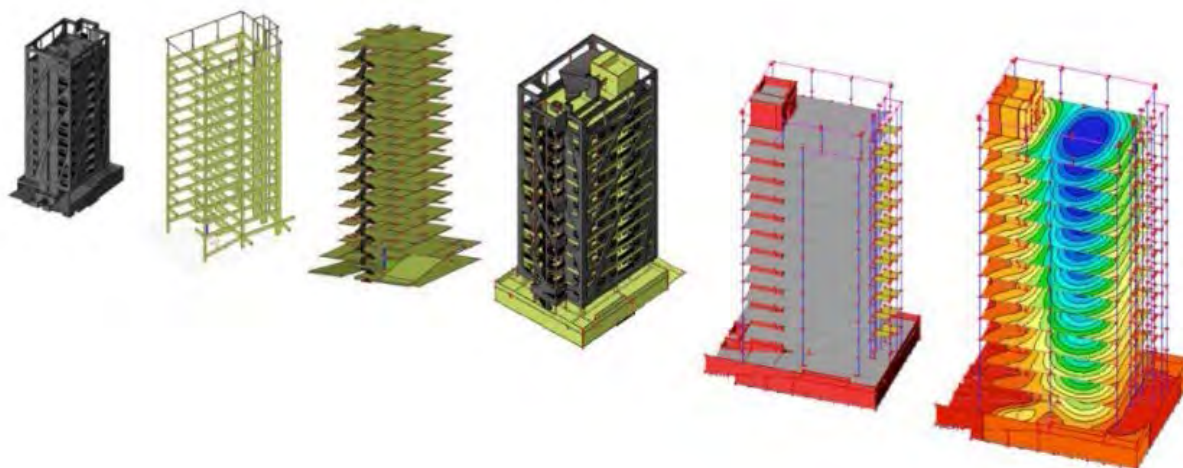


Рисунок 1.а – Примеры с использованием BIM

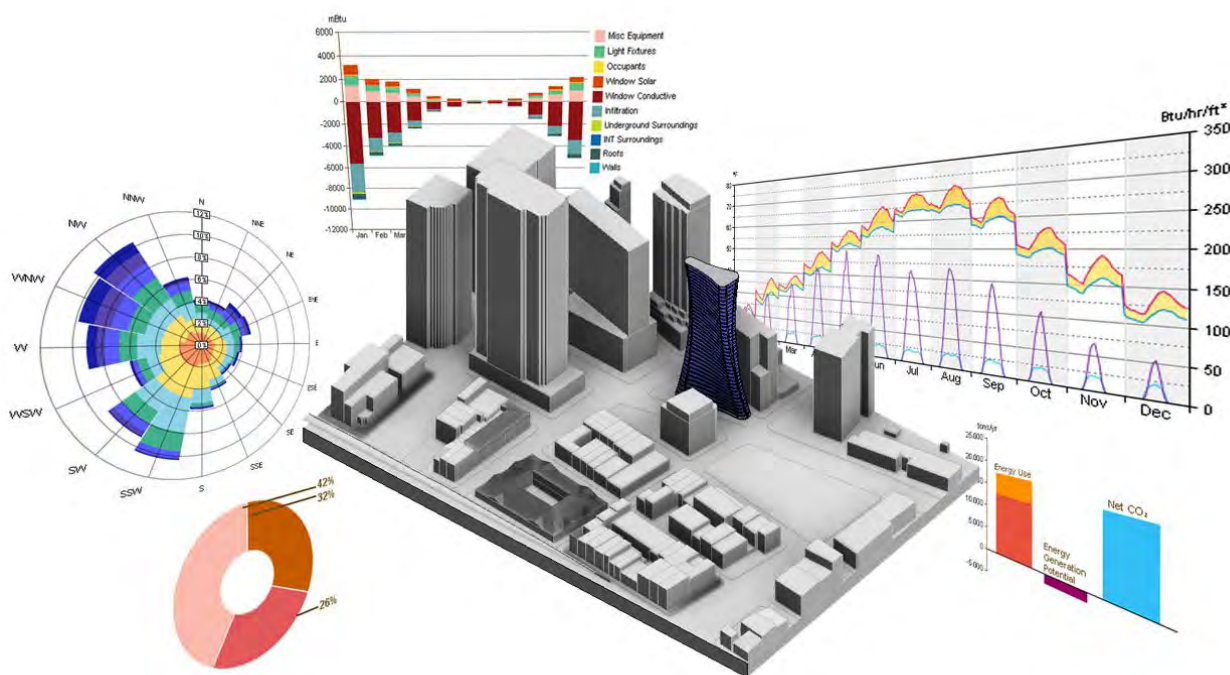


Рисунок 1.б – BIM-Технологии и его применения

Управление недвижимостью (*FM*) - это обобщающий термин, сводящий вместе широкий круг функций, относящихся к недвижимости и ее пользователю, и приносящих выгоду организации и ее сотрудникам в целом. *FM* глобально по своей природе, охватывает все - от управления недвижимостью и финансами до технического обслуживания и санитарного содержания здания.



Рисунок 2 – FM-виды услуг

Правительства многих стран мира признали неэффективность применяемых процессов, которые оказывают влияние на строительную индустрию в целом, рекомендовав использование информационного моделирования зданий в качестве стратегии, направленной на решение вопросов снижающейся продуктивности в данной сфере. [2]

Информационное моделирование зданий в управлении недвижимостью - это процесс генерирования и управления информацией о здании в течение всего его жизненного цикла. Например, правительство Великобритании, как одной из ведущих стран по использованию BIM-технологий, санкционировало использование BIM-моделей применительно ко всем объектам общественного строительства, начиная с 2016г., с включением передачи цифровых данных, требуемых для этапа эксплуатации здания. В последнем обзоре по BIM-технологиям, представленном в *NBS National BIM report*, опубликованы результаты исследований, в основном направленных на нахождение решений по различным аспектам, относящимся к внедрению BIM в процессы планирования, проектирования и строительства. BIM для FM - это вновь возникающая сфера деятельности, и потому имеющиеся знания по сути данного предмета пока еще ограничены. [2]

Одной из основных проблем в сфере эксплуатации зданий на основе BIM, на наш взгляд, является отсутствие реально действующих процессов для совершенствования построенной модели с учетом исполнительной документации. Также неясно, кто наилучшим образом подходит для того, чтобы вести загрузку данных в модель и сопровождать эту модель. Традиционно, управленцы недвижимостью подключаются к процессам жизненного цикла здания в очень ограниченной степени и уже на поздних этапах передачи сооружений заказчиком. Кроме того, проектные решения, как правило, не проверяются с точки зрения их влияния на эксплуатационную стоимость или обслуживание.



Рисунок 3 – Процесс обслуживания FM

Индустрия управления недвижимостью довольно негибка в своих подходах к новым технологиям. Нехватка в FM-индустрии информационных моделей и отсутствие понимания

системы препятствует принятию *BIM*, и это особенно важно, так как *BIM*-модель для использования в *FM* считается отдельным ресурсом здания, который требует постоянного обслуживания для того, чтобы он оставался ценным для самого здания и его владельцев.[3] Кроме того, операционная совместимость *BIM*-технологий и *FM*-технологий продолжает оставаться проблемным моментом, суть которого заключается в передаче информации и данных тем, кто работает на этапе эксплуатации. И на самом деле, в существующих зданиях, например, унаследованная документация может применяться в течение последующего десятилетия или даже двух. Отсутствие контрактных и юридических рамок для практического применения *BIM* применительно к *FM* представляет собой еще одну проблемную зону, где имеются затруднения. На сегодняшний день, большинство контрактов требует передачи бумажных документов, содержащих перечни оборудования, листки данных на продукцию, гарантии, перечни запасных частей, графики профилактического обслуживания и т. д. Данная информация является существенной для поддержки управления со стороны владельца и управленца недвижимостью. Существующий на данный момент процесс передачи информации на этап *FM* осуществляется, как правило, вручную. В результате, переданная информация оказывается неполной и неточной.

Анализируя сложности, связанные с переходом отныне существующих *FM*-процессов к основанным на *BIM* процессам важно выделить несколько ключевых проблем, связанных с практической реализацией технологии. Так, необходима разработка краткой и четкой спецификации *BIM* для *FM* с целью определения информации, нужной для того, чтобы она соответствовала особым требованиям данной сферы бизнеса и *FM*-функциям. Другой проблемой является ограниченная совместимость между *BIM*-технологиями и *FM*-технологиями, которая осложняется огромной разницей между жизненными циклами *BIM*-технологий, *FM*-технологий и сроком службы зданий. Это означает, что стандарты данных и оперативная совместимость будут оставаться критически важным фактором для принятия *BIM* с целью использования в *FM*-технологиях. [3]

Проведенный анализ вопроса целесообразности применения *BIM* в *FM* показал, что ценность и потенциал современной информационной технологии моделирования с позиции эксплуатации объекта заключается главным образом в следующем: [2]

- усовершенствование имеющихся на данный момент ручных процессов передачи информации; повышении точности *FM*-данных;
- увеличение эффективности исполнения заказов на работы, с точки зрения скорости их исполнения, доступа к данным и локализации производимых вмешательств. Такая ценность извлекается из способности *BIM* обеспечивать обширно обеспеченную данными визуальную среду и представленную интегрированными данными среду.

Тем не менее, есть и сложности, препятствующие применению *BIM* в *FM*. К ним относятся: недостаточно четкое определение ролей, обязанностей, а также контрактных рамок и рамок ответственности; трудности в обеспечении оперативной совместимости *BIM* и *FM*-технологий; недостаточная четкость требований в отношении практического применения *BIM* в *FM*. Помимо этих трудностей, современная практика эксплуатации зданий на основе *BIM* выявила дополнительную проблему, которая связана с существенной разницей в продолжительности жизненных циклов *BIM*-технологий, *FM*-технологий и срока службы зданий. Это означает, что в средне- и долгосрочной перспективе *FM*-организации должны быть готовы вести работу с различными информационными стандартами и стандартами данных, вместо того, чтобы идти путем адаптации своих бизнес-процессов к специфическим технологиям. Таким образом, разработка спецификации *BIM* для *FM*, соответствующей потребностям *FM*-процессов, проводимых организацией, должна стать на данный момент ключом к использованию преимуществ *FM* с *BIM*-основой и создать возможность для ее организации и использования. [3]

Обобщая вышеизложенное, необходимо подчеркнуть, что в соответствии с Постановлением Правительства РК «О системе управления реализацией программы «Цифровая экономика Республики Казахстан» задается новый вектор развития и

расставляются приоритеты в инвестиционно-строительной сфере на долгосрочный период, что дает новый виток в развитии системы информационных технологий. Поэтому для эффективной отдачи инвестиций в цифровую экономику и получения от нее дивидендов необходимо развивать не только институты, компетенции и инфраструктуру информационной среды, но и кадровый потенциал. Безусловно, разработка и использование новых технологий может осуществляться только специалистами, владеющими стройной системой знаний по таким технологиям. Важно подчеркнуть, что сейчас пришло время готовить в соответствии с требованиями цифровой экономики компетентные кадры в том числе и в FM-среде с акцентом на BIM-технологии. [1]

### Литература

1. Селютина Л.Г. Системный подход к решению задач в сфере проектирования и управления строительством // Kant. 2015. № 2 (15). С. 71-72.
2. Тимофеев С.В., Селютина Л.Г. Анализ зарубежного опыта развития и использования технологий информационного моделирования в строительстве // Проблемы экономики и управления строительством в условиях экологически ориентированного развития. Материалы II Всерос. науч.-практ. конф. Томск. 2015. С. 324-329.
3. Вечелковский Б.Е. Анализ ключевых факторов внедрения технологии информационного моделирования зданий в современном строительстве // Современная техника и технологии. 2015. № 1. С. 114-117.



---

# Содержание

---

## ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

<i>AN AUTOMATED SYSTEM FOR MONITORING OPEN PIT WALLS TAKING INTO ACCOUNT CLIMATE PROPERTIES</i> <i>Alparov A.</i>	4
<i>ESTIMATION OF BASE DISTANCES ACCURACY BY PHOTOGRAMMETRY METHOD</i> <i>Salamatina Yu. M.</i>	11
<i>HYDROLOGICAL SIMULATION OF THE KYZYL-SUU RIVER</i> <i>Zhumabaev A.Z., Kulenbekov Z.E.</i>	16
<i>ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЮЖНОЙ СТУПЕНИ ФЕРГАНСКОЙ МЕЖГОРНОЙ ВПАДИНЫ НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОГО КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ МЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ</i> <i>Абдуллаев Г.С., Икромов Т.Р., Нурматов М.Р.</i>	21
<i>МЕТОД ДЕТЕКТИРОВАНИЯ ИОНОСФЕРНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ ОТ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ GPS ТЕС</i> <i>Андреев А.Б., Капытин В.И.</i>	25
<i>СЕЙСМИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЕ ГОРНЫХ МАСС ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА</i> <i>Артиков Т.У., Мирзаев М.А., Артиков. М. Т., Терлецкая И.Р.</i>	29
<i>СОСТОЯНИЕ СРЕДНЕШИРОТНОЙ ИОНОСФЕРЫ ВО ВРЕМЯ ГЕОМАГНИТНОЙ БУРИ 20 ЯНВАРЯ 2010 ГОДА ПО ДАННЫМ СПУТНИКА DEMETER</i> <i>Аязбаев Г.М., Лозбин А.Ю., Инчин А.С., Крякунова О.Н.</i>	38
<i>ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЛЛЕКТОРСКИХ СВОЙСТВ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД В УХАРО-ХИВИНСКОМ РЕГИОНЕ НОВЫМИ МЕТОДАМИ ГИС (НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНЫЙ КЕМАЧИ)</i> <i>Бегматов Б.Б., Мирзаахмедов М.М., Нурматов М.Р., Расулов Б.Б.</i>	46
<i>АНАЛИЗ ИСКАЖАЮЩИХ ЭФФЕКТОВ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ КРИВЫХ СТАЦИОНАРНОГО ПУНКТА АКСУ</i> <i>Валуйский А.Ю.</i>	51
<i>МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ СОБЫТИЙ В СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ КАТАЛОГАХ КЫРГЫЗСТАНА И СОПРЕДЕЛЬНЫХ ТЕРРИТОРИЙ</i> <i>Воронцова Е.В.</i>	58
<i>РАЗВИТИЕ ГЕОФИЗИКИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ УЗБЕКИСТАНА</i> <i>Давиров А.О., Хабибуллаев С.С., Бегматов Б.Б., Мирзаахмедов М.М.</i>	62
<i>СИСТЕМА МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ МОРЕННЫХ ОЗЕР ДЛЯ РАННЕГО ОПОВЕЩЕНИЯ ОБ ОПАСНОСТИ СХОДА СЕЛЕВОГО ПОТОКА</i> <i>Жаксыгулова Д.Г., Калиева Р.А., Акуленко М.Ш.</i>	65

<i>ДЕТЕКТИРОВАНИЕ СЛАБЫХ СЕЙСМОАКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ С ПОМОЩЬЮ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ МЕТОДОВ</i> <i>Казначеев П.А., Непеина К.С., Кох В.В., Краюшкин Д.В., Казначеев С.А.</i>	70
<i>РАЗРАБОТКА ПРОЕКТА КОМПЛЕКСА ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СКВАЖИНАХ ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ БУХАРО-ХИВИНСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РЕГИОНА ИСПАНЛЫ-ЧАНДЫРСКОГО ПОДНЯТИЯ</i> <i>Касимова Д.Б., Турабеков Н.У.</i>	74
<i>ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ПОДХОДОВ В ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТАХ С ПРИМЕНЕНИЕМ МОДЕЛИРОВАНИЯ, НА ПРИМЕРЕ ПО УСТЮРТСКОМУ НЕФТЕГАЗОНОСНОМУ РЕГИОНУ</i> <i>Касимова Д.Б., Рахимов М.Е., Ли А.В.</i>	79
<i>ВЫСОКОТОЧНЫЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ В BERNESE GNSS SOFTWARE И СРАВНЕНИЕ С РЕЗУЛЬТАТАМИ РАСЧЁТОВ В GAMIT/GLOBK</i> <i>Кенигсберг Д.В.</i>	85
<i>МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВАРИАЦИЙ ПОЛНОГО ЭЛЕКТРОННОГО СОДЕРЖАНИЯ ИОНОСФЕРЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ GPS – ИЗМЕРЕНИЙ</i> <i>Кирилов А.А.</i>	90
<i>ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО И ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЕЙ НА ТЕРРИТОРИИ ИССЫК-КУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ</i> <i>Малосиева М.Т.</i>	95
<i>РАСПРОСТРАНЕНИЕ ПРОДУКТИВНЫХ ПЛАСТОВ В НИЖНЕ-СРЕДНЕЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ УСТЮРТСКОГО РЕГИОНА НА ПРИМЕРЕ КУАНЫШ-КОСКАЛИНСКОГО И БЕРДАХСКОГО ВАЛОВ И СУДОЧЬЕГО ПРОГИБА</i> <i>Мамиров Ж.Р., Холмуродов И.З., Маткаримов Э.Т.</i>	100
<i>ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПО ПРОФИЛЮ «СОН-КУЛЬ»</i> <i>Матюков В.Е.</i>	104
<i>ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ФЕРГАНСКОЙ ДОЛИНЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ НАМАНГАН-ТЕРГАЧИНСКОГО ИНВЕСТИЦИОННОГО БЛОКА РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН</i> <i>Мирзаахмедов М.М., Бегматов Б.Б., Хабибуллаев С.С., Умаров Ш.А.</i>	110
<i>КАТАЛОГ МЕХАНИЗМОВ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ТЕРРИТОРИИ УЗБЕКИСТАНА</i> <i>Мирзаев М.А., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л.</i>	116
<i>СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА И СЕЙСМИЧНОСТЬ РАЙОНА ДНЕСТРОВСКОГО ГИДРОУЗЛА (УКРАИНА)</i> <i>Назаревич Л.Е., Олийнык Г.И., Давыдяк А.Д., Гаранджа И.А.</i>	121
<i>АНАЛИЗ СЕЙСМОТОМОГРАФИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ТЯНЬ-ШАНЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОВРЕМЕННЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ</i> <i>Непеина К.С.</i>	128

<i>ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПАРАГЕНЕЗИСЫ МИНЕРАЛОВ ТИТАНА ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮВЕЛИРНОГО СКАПОЛИТА ЧЕРНОГОРСКОЕ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПАМИР (ТАДЖИКИСТАН) Одинаев Ш.А., Литвиненко А.К.</i>	<i>132</i>
<i>МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ АКДЖИЛГИНСКОГО РУДНОГО ПОЛЯ Ошурмамадов А.К., Асматов И.Х.</i>	<i>139</i>
<i>ЛИТОЛОГО-ПЕТРОФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, НА ПРИМЕРЕ УСТЮРТСКОГО НЕФТЕГАЗОНОСНОГО РЕГИОНА, СУДОЧЬЕГО ПРОГИБА Рахимов М.Е., Касимова Д.Б., Ли А.В.</i>	<i>144</i>
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ВАРИАЦИЯХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИГНАЛОВ В ULF И VLF ДИАПАЗОНАХ Салихов Н.М., Щепетов А.Л., Пак Г.Д.</i>	<i>147</i>
<i>ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ НА ТЕРРИТОРИИ КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ Сваров М.Х., Степанов С.Б., Кенжебаев Т.П.</i>	<i>152</i>
<i>ПРИМЕНЕНИЕ ПЕТРОУПРУГОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ЮРСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ТЕРРИГЕННОЙ ФОРМАЦИИ УСТЮРТА, НА ПРИМЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЖЕЛ Токарева К.М., Муминов А.С.</i>	<i>156</i>
<i>КОЛИЧЕСТВЕННАЯ СВЯЗЬ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ДАННЫХ С СЕЙСМИЧНОСТЬЮ ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА Тошпулатов Ф.Н., Зияудинов Ф.Ф.</i>	<i>164</i>
<i>ПАЛЕОТЕКТОНИКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ И ГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ НА СТРУКТУРЕ ТАЛДИКУДУК Хожиев Б.И.</i>	<i>167</i>
<i>ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ ДАННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ GNSS В СРЕДЕ GAMIT-GLOBK Шукуров З.Ф.</i>	<i>172</i>
<i>АМПЛИТУДНО-ФАЗОВАЯ КОРРЕКЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОЛЕВОГО МАТЕРИАЛА (НА ПРИМЕРЕ СТАЦИОНАРНОГО ПУНКТА МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЧУНКУРЧАК) Юнусов А.И.</i>	<i>177</i>
<i>ЛОКАЛЬНЫЕ ВАРИАЦИИ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ТЕХНОГЕННОЙ И СЕЙСМОГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ В РАЙОНЕ ЧАРВАКСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА Юсупов В.Р.</i>	<i>183</i>
<i>РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА ТЕРРИТОРИИ РУДОПРОЯВЛЕНИЯ ЖЕЛЕЗА УЗУНКУДУК Ядигаров Э.М., Юсупов В.Р., Шукуров З.Ф., Смирнов А.Н.</i>	<i>188</i>

## ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

- REMOTE SENSING FOR NATURAL HAZARDS ASSESSMENT OF THE PLANED HYDRO POWER STATION IN KULANAK VILLAGE, NARYN*  
*Begmetov A., Orunbaev S.* 195
- ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ ТЕРРИТОРИИ г. ДЖИЗАКА ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ*  
*Авазов Ш.Б., Аллаев Ш.Б., Бахтиёрова Р.Д.* 200
- К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ БАЗ ДАННЫХ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ПРИ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯХ И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА*  
*Актамов Б.У.* 204
- ВОЗМОЖНОЕ ВЛИЯНИЕ ВАРИАЦИИ НАГРУЗКИ ОТ ВОДОХРАНИЛИЩ НА ИЗМЕНЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА МЕСТНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОБЫТИЙ*  
*Артиков Ф.Р., Хамидов Л.А.* 208
- РАЗВИТИЕ ОПАСНЫХ ЭКЗОГЕННЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БООМСКОМ УЩЕЛЬЕ*  
*Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек у. Н., Чонтоев Д.Т.* 215
- ДИНАМИКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ВОКРУГ ГОРОДА БИШКЕК*  
*Калысова Ж., Омуралиева А.* 222
- ГЕОТЕХНИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПРИ ОТКРЫТОЙ РАЗРАБОТКЕ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА*  
*Тажипбаев Д.К., Качкынов Э.Т.* 229
- ОПАСНЫЕ ЭКЗОГЕННЫЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В БАССЕЙНЕ РЕКИ АЛА-АРЧА*  
*Кубанычбек у. Н., Загинаев В.В., Ерохин С.А., Чонтоев Д.Т.* 234
- ОБЗОР СЕЙСМИЧНОСТИ БАТКЕНСКОЙ ОБЛАСТИ*  
*Кыдырова Л.Ш.* 241
- РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ АКУСТИЧЕСКОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ГОРНЫХ ПОРОД*  
*Тажипбаев К.Т., Маканов К.М., Тажипбаев Д.К.* 244
- ГЕОМАГНИТНЫЕ ВОЗМУЩЕНИЯ НИЗКОЧАСТОТНОГО ДИАПАЗОНА ПРИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИИ МАГНИТУДОЙ  $M=5.9$*   
*Малимбаев А.М., Мукашева С.Н., Соколова О.И.* 250
- НЕЛИНЕЙНАЯ ДИНАМИКА ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И УТОЧНЕНИЕ ЗАКОНА ПОВТОРЯЕМОСТИ ГУТЕНБЕРГА – РИХТЕРА*  
*Мамбетова Г., Омуралиева А., Омуралиев М.* 255

<i>ДИНАМИКА СЕЙСМИЧНОСТИ, ПОВТОРЯЕМОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ЧОЛПОН-АТА И ПРИЛЕГАЮЩИХ РАЙОНОВ ЗА 1990-2019 ГГ.</i> <i>Мураталиева Ж., Омуралиева А.</i>	262
<i>МОНИТОРИНГ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН ВЗРЫВОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ КУМТОР ЗА 2019 г.</i> <i>Омурбек к. К., Омуралиева А., Омуралиев М.</i>	268
<i>К ВОПРОСУ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ИСТОРИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ УЗБЕКИСТАНА</i> <i>Рузимбаев Ф.Ф., Бозоров Ж.Ш., Тешаева Р.Б.</i>	275
<i>ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОБНАЖЕНИЙ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК</i> <i>Тажибаяв К.Т., Аскербеков И.Н., Шоруков А.К.</i>	281
<i>ВЛИЯНИЕ РЕК ТАЛАС И АССА НА ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАПАСОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ТАЛАС-АССИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ</i> <i>Тажиев С.Р.</i>	287
<i>ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕ <math>M=6.0</math> НА ПРИГРАНИЧНОЙ ТЕРРИТОРИИ КАЗАХСТАНА И КИТАЯ 1 ДЕКАБРЯ 2003г.: ВОЗМОЖНАЯ СВЯЗЬ С ГЕОМАГНИТНОЙ БУРЕЙ И ДИНАМИКОЙ РАДИАЦИОННОГО ПОЯСА ЗЕМЛИ</i> <i>Тойшиев Н.С.</i>	293
<i>ОСОБЕННОСТИ ПОТОКОВ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ГОРНЫХ МАССИВОВ (НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРНОГО СКЛОНА КЫРГЫЗСКОГО ХРЕБТА)</i> <i>Урсеитова Н.Б., Ерохин С.А., Шукурбеков К.К.</i>	299
<i>ИЗМЕНЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧНОСТИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ КРУПНЫХ ВОДОХРАНИЛИЩ ЮЖНОГО УЗБЕКИСТАНА</i> <i>Хамидов Х.Л., Ибрагимов Ф.И.</i>	311
<i>ПРОЯВЛЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С АНОМАЛЬНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ СОДЕРЖАНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИТИЯ, МАГНИЯ, ВАНАДИЯ</i> <i>Хасанова Г.И., Кудратов А.М., Бакиев С.А.</i>	318
<i>ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РИСКА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ТАШКЕНТА</i> <i>Хусамиддинов А.С., Ёдгоров Ш.И., Садиров Ф.Х.</i>	322

## **МЕХАНИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

<i>MATHEMATICAL MODEL OF PHOTVOLTAIC MODULE IN SIMULINK GRAPHICAL SIMULATION ENVIRONMENT</i> <i>Akhmetshin A.T., Akhmetshina E.M., Yarmukhametov U.R.</i>	328
<i>MAIN IMPORTANCE OF GROUNDWATER FOR SUPPLYING OF VEGETATION IN THE KARAGACHEV GROVE</i> <i>Mamedov E.</i>	333

ОПИСАНИЕ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В РАМКАХ ПЕРСПЕКТИВ КВАНТОВОЙ СИМУЛЯЦИИ Абдыкаимов И.З.	340
ПОВРЕЖДАЕМОСТЬ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ И ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ Аскарбеков С.Н.	343
AB INITIO ИССЛЕДОВАНИЕ СУЛЬФИДОВ НИКЕЛЯ ПРИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЯХ Базарбек А.Б., Сагатов Н.Е.	348
УДЕЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ БУРЕНИЯ КАК ЭФФЕКТИВНЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ НЕОБХОДИМЫХ СВЕДЕНИЙ О ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВАХ ВЗРЫВАЕМОГО МАССИВА Виноградов Д.Д.	351
УСТРОЙСТВО ЗАЩИТЫ ТЯГОВОГО КАНАТА ПОДЪЕМНОЙ УСТАНОВКИ ОТ ЗАКРУЧИВАНИЯ Гордиенко В.С.	354
АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ НОРМАТИВНО-ДИРЕКТИВНЫХ СРОКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА Дубинин А.А., Алдаберген А.Э.	358
МЕТОДИКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ И МОДЕЛИРОВАНИЕ КАЛЕНДАРНЫХ ГРАФИКОВ СТРОИТЕЛЬСТВА Дубинин А.А., Алдаберген А.Э.	363
ИЗ ОПЫТА ИНТЕНСИФИКАЦИИ РАБОТЫ ЛИНИИ ВОЛОЧЕНИЯ ПОСРЕДСТВОМ ВНЕДРЕНИЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДА Дьяченко Е.И.	369
ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКОГО ИМПЕДАНСА В ВЕРТИКАЛЬНО ГРАДИЕНТНОЙ СРЕДЕ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ЛОКАЛЬНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ Забинякова О.Б., Скляр С.Н.	371
ОБ УСТОЙЧИВОСТИ СЕРИЙНЫХ ФЕРМ С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ПОЯСАМИ, ВЫПУСКАЕМЫХ НА ЗАВОДЕ «ТЕМИР-ТУЛПАР АЗИЯ» Зотов В.В.	380
МЕТОДИКА КОНСТРУИРОВАНИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ УПЛОТНЯЮЩЕГО РАБОЧЕГО ОРГАНА КАТКА Казаков О.Ю.	383
ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СООТНОШЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ Кененбаев Э.	387
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЖЁСТКОСТИ СЕРИЙНОЙ ФЕРМЫ ЗАВОДА «ТЕМИР-ТУЛПАР АЗИЯ» Кобцев И.С.	392

<i>ОБ ОДНОМ ИЗ КРИТЕРИЕВ ПРОЧНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД</i> <i>Кулагина М.А.</i>	395
<i>ВАРИАЦИИ ПАРАМЕТРА B-VALUE АМПЛИТУД СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ ОБРАЗЦОВ ГЕОМАТЕРИАЛОВ ПРИ ОДНООСНОМ СЖАТИИ</i> <i>Кульков Д.С.</i>	399
<i>МЕТОД ГРАФИЧЕСКОЙ КЛАСТЕРИЗАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ</i> <i>Литовченко И.Н., Амиров Н.Б., Лютикова В.С.</i>	403
<i>ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА НА УТЕЧКИ ЖИДКОСТИ</i> <i>Мелис к. Н.</i>	408
<i>АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОВЕРКИ РЕШЕНИЯ ЗАДАНИЙ ПО SQL</i> <i>Мустафин Р.Ш.</i>	412
<i>ПРОЕКТ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТЕЛЕСКОПА СИНТЕЗ В КРЫМСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ РАН</i> <i>Назаров С.В.</i>	418
<i>ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕКТОВ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ</i> <i>Сагындикова А.Ж., Тогжанова К.О., Наухан Е.М., Исмаил О.</i>	421
<i>МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЬЕЗОПРОВОДНОСТИ ПЛАСТА</i> <i>Нуритдинов Ж.Ф., Хабибуллаев С.С.</i>	428
<i>МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ВАРИАЦИЙ АКТИВНОСТИ ПТИЦ В СВЯЗИ С КРАТКОСРОЧНЫМ ПРОГНОЗОМ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В КАЗАХСТАНЕ</i> <i>Ню В.А., Арифлулова И.И., Суровцева Н.В.</i>	431
<i>СТАТИЧЕСКАЯ ДЕТЕРМИНИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППРОКСИМИРУЮЩЕЙ ФУНКЦИИ СПРОСА</i> <i>Панченко Е.М.</i>	436
<i>ПОИСК ВЫБРОСОВ ВО ВРЕМЕННЫХ РЯДАХ КООРДИНАТ МАРОК ГЛОБАЛЬНЫХ НАВИГАЦИОННЫХ СПУТНИКОВЫХ СИСТЕМ</i> <i>Прохоров О.А.</i>	443
<i>ИНСТРУМЕНТЫ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЗОН ДРОБЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОГО ГОРНОГО МАССИВА ПРИ ВЗРЫВЕ СКВАЖИННЫХ ЗАРЯДОВ</i> <i>Райымкулов М.А., Сыдыков Э.Ш.</i>	450
<i>ЧТО ТАКОЕ ФИЗИКА ЭВОЛЮЦИИ</i> <i>Сомсиков В.М.</i>	453
<i>РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ СКЛАДСКОГО УЧЕТА НА ОСНОВЕ РЕВЕРС-ИНЖИНИРИНГА СИСТЕМЫ STOREHOUSE</i> <i>Усманов Т.Р.</i>	459



*ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ПОДСЧЕТА ЯЧЕЕК ДЛЯ  
ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ГЕОМАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ  
ОБРАЗЦА ГАББРО*

*Чешев М.Е., Имашев С.А.*

463

*УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО  
СТРОИТЕЛЬСТВА НА ОСНОВЕ СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНОЛОГИИ  
ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (ВИМ)*

*Шахзадаев Р.М., Дубинин А.А.*

467

Научное издание

**XII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Сборник материалов  
XII Международной конференции молодых ученых и студентов**

**22-24 апреля 2020 года  
Научная станция РАН  
г. Бишкек, Кыргызская Республика**

Тираж 100 экз.  
Отпечатано в НС РАН  
720049, Кыргызстан, Бишкек-49  
Тел.: +996 (312) 61 31 40