

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



XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ

МАТЕРИАЛЫ ДОКЛАДОВ

27 - 29 апреля 2022 года
г. Бишкек



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

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

**XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

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

**27-29 апреля 2022 года
г. Бишкек**

УДК 001
ББК 30.6
С56

Ответственный редактор:
Забинякова О.Б.

Редакционная коллегия:
Баталева Е.А., Карабут Н.В., Кирилов А.А., Кожогулова Г.К., Коломейцев Д.В., Кульков Д.С.,
Лазарева Е.А., Матюков В.Е., Морозова Л.Е., Непейна К.С.

Дизайн обложки:
Борисова О.Г.

С56 Современные техника и технологии в научных исследованиях: Сб. материалов XIV
Междунар. конф. молодых ученых и студентов. – Бишкек: НС РАН, 2022. – 447 с.

ISBN 978-9967-12-939-9

В данный сборник включены материалы XIV 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 и Таджикистана, 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 978-9967-12-939-9

©ФГБУН Научная станция РАН в г. Бишкеке

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

© Коллектив авторов, 2022

**КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ
ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ**

**CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL
CORRELATION SECTION BASED ON THE DATA OF DRILLING WELLS AND
LOGGING STUDIES IN THE SELECTED AREAS ON THE PROFILE OF MUBAREK-
GUZAR-BOYSUN-BOBOTAG**

Jumaev D.D.¹, Jovliyev H.Sh.²

dostonbekjumayev777@gmail.com, hamidjovliyev110@gmail.com

¹ Institute of Seismology, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

² National university of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Republic of Uzbekistan

Today, it is well known that minerals and mineral resources are extracted from the upper part of the earth's crust, and it is difficult to extract deep crops using existing technologies. In addition, the operation of large reservoirs located in these zones can significantly affect the state of the parameters of geological and geophysical sections according to well drilling and well logging data in selected areas. In this case, it is important to study the surface layer and model it according to certain physical and geological parameters. The development of such models will require the use of reliable and accurate sources, such as drilling wells and logging data. The object of our study is the territory of Southern Uzbekistan, in which there is a fairly high density of man-made objects with a high level of influence on geophysical fields. Therefore, the section Mubarek, Guzar, Baysun and Bobotag was chosen as an example. The object of our study is the territory of southern Uzbekistan, based on the evidence of existing boreholes on the profile of Mubarek, Guzar, Boysun and Bobotag for cutting. As a result of the analysis of the cross section, it is possible to get an overview of the boundary depths of the layers formed in certain periods on the profile, as well as the position of the layers relative to each other. It is also possible to identify the position and distribution of tectonic structures and faults in a section with high accuracy.

Keywords: geological-geophysical model, logging, tectonic structure, facies model, synthetic seismogram, man-made object.

Introduction. Logging methods are based on the study of the physical properties of rocks - density, porosity, natural radioactivity, electrical conductivity, and more. These properties are compared with the petrographic, granulometric and mineral composition of rocks, density, porosity, chemical composition of the liquid that fills the porosity. Many methods of logging have been developed. The main ones are neutron, density, gamma-logging, natural potential methods, acoustic, electrical and inclinometric logging. Physical measurements are made using a probe that is lowered into the wellbore. The probe records the change in all the properties of the rocks along the entire cross section and describes them using the curves in the logging diagrams. Because the logging curves are continuous along the entire length of the borehole, they are of great importance in determining the rock sequence, the boundaries between them.

Logging methods are extremely useful in the study of closed areas. It serves as the only source of information for stratigraphic separation and comparison of sections in such regions. However, the interpretation of logging diagrams is not effective if geological data are not taken into account. Therefore, it is difficult to interpret logging diagrams without using the results of the study of rock cores opened by a borehole. Reliable results can be obtained only after a detailed study of the core drill wells obtained from the core.

Base drill wells will be studied according to the design, based on the requirements for strata of local and regional stratigraphic strata. As a result of the processing of lithological and paleontological data, a sectional stratification scheme is created, along with the justification of the lithological composition of the deposits, the boundaries and age of the stratigraphic strata. Based on

this data, geophysical indicators are calibrated and geophysical criteria are developed for the separation of rocks of different composition and the nature of the surfaces between the layers. That is, geophysical standards are adopted for the lithological types of deposits in the interpreted sections based on the data of different methods of logging. Then computer programs that process geophysical data are created and the lithological structure of the sections is automatically interpreted. This can be done without a computer. However, the conclusion reached in this case is not very reliable or requires a lot of work [1,2,3,4].

Logging data is also used to interpret sediment accumulation properties. In coastal deposits, regression is accompanied by confusion of information at the top of the transgressive-regressive cycle. In the transgressive bedrock, the rough deposits are located at the base of the cycle, which are replaced by clay deposits depending on the height. Alluvial cycles have a similar structure. Using logging, the facies are separated, taking into account the geological data obtained in the study of cores. In particular, the angle of inclination of the layers is determined using the inclination device based on the depth logging data. The emergence of this method is very helpful in the analysis of reef massifs, bar sands, delta and turbidite deposits associated with the formation of facies. It is used to determine the primary slope of the layers surrounding the reef massifs or covering the delta and subsea discharge cones. Based on the comparison of logging diagrams, cross-section comparison schemes are constructed. In this way, facies models of lithostratigraphic layers are created. They can be applied to the cross section of non-core drilled wells.

Object of study. Special processing of logging data allows the creation of synthetic seismograms, which reflect the seismic properties of the sections in the studied region [5,6]. Synthetic seismograms serve as a reference for seismic profiles obtained during seismic surveys.

From the NGV map of Bukhara-Khiva, South-West Gissar and Surkhandarya for the purpose of studying the depth structure of the crust (2-4 km) on the selected research profile (Mubarak-Guzar-Boysun-Bobotag) on the basis of logging studies (QGT) and drilling wells data, one borehole from Jayron, Karim, Shim.Maymanak, Shim.Shurtan, Gumbulak, Beshirkak fields around the profile was selected for correlation (areas and profile direction are shown in Figure 1).

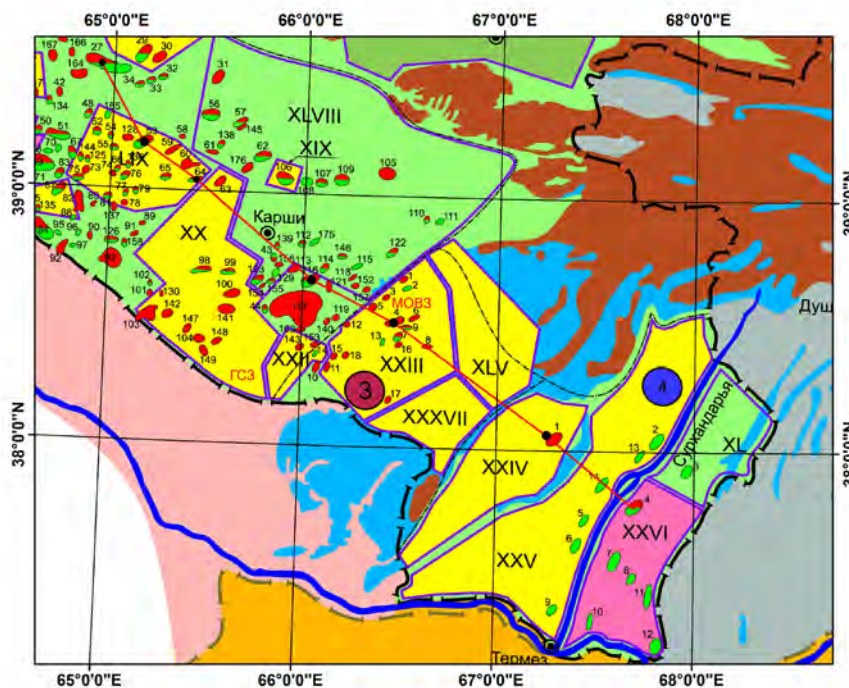


Figure 1 – Location of the profile on the oil and gas map of the selected areas for the purpose of correlation of drilling wells

The geological sections constructed on the basis of interpretation of logging evidence on boreholes with a total length of about 350 km are intended to form a geological geophysical correlation section with the tectonic structure of the area and the location of faults in the above-

named areas. Before correlating the boreholes in these areas with each other, one borehole for each field was selected and interpreted based on logging evidence (mainly electrical logging).

Interpretation of the results of logging was based on research conducted on drilled wells in the fields of Jayron, Karim, Shim.Maymanak, Shim.Shurtan, Gumbulak, Beshirkak [2,3,4,6]. In the logging diagrams we interpreted, mainly electrical logging methods: natural fields (PS), apparent specific resistance r_k (KS), cavernometry (DS), served as a means of separating the cross sections of the wells under study. In the process of interpretation, using the apparent resistance diagrams, the boundaries of the location of the layers, their thicknesses (by cross section of the well) were found. In this case, the boundary of Paleogene deposits was clearly separated from the logging diagram obtained for the whole well, and the boundary of Cretaceous deposits was completely separated only in the area of the Toron platform.

Using standard logging diagrams, i.e., specific reflection patterns in rock logging diagrams and information about the geological structure of the area, the lithological composition of the horizons was determined and a lithological column was constructed for each well section listed in these study areas. Combining these interpreted data and using a 1: 1000000 scale geological map of Uzbekistan (V.V. Mikhailov, V.V. Chirikin, N.G. Saidova, B.I.Pinkhasov, Tashkent-2010) correlation geological-geophysical model formed (Figure 2).

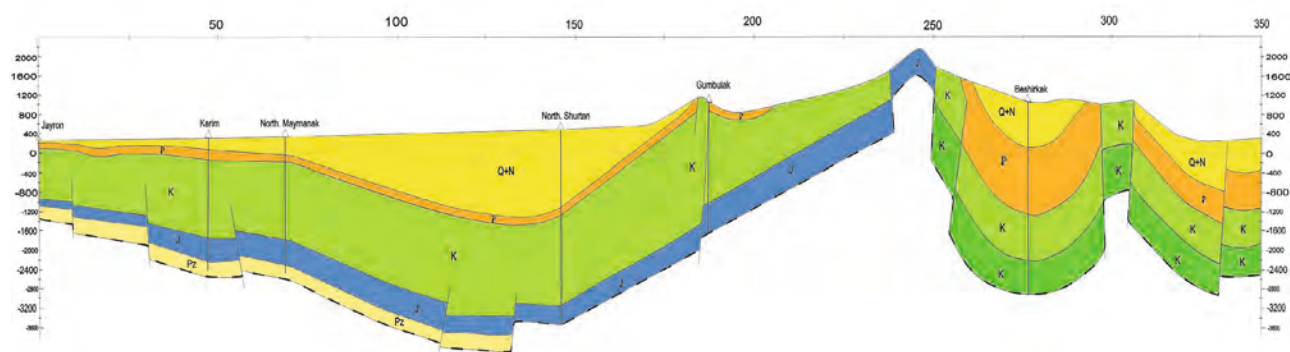


Figure 2. The geological-geophysical correlation section based on drilling wells and logging data was constructed using data from Uzbekgeofizika: Jumaev D.D. (2022). Profile length 350km. Scale: horizontal 1: 175 000, vertical 1: 2000

Logging results and conclusions on correlation cross section. The geological structure of the selected areas for correlation was based on the study of the specifics of the petrophysical properties of carbonate and terrigenous deposits and their interpretation and generalization. Geophysical data, geophysical surveys (logging) and deep drilling materials were used in the wells.

Thus, on the basis of processing, interpretation of QGT and deep drilling data and generalization of the results of all geological-geophysical, prospecting works, the following conclusions were reached:

- Although the Quaternary + Neogene deposits are observed in large thickness (1000-1500) in the central parts of the Bishkent basin and Surkhandarya megacline, 1000 geophysically, in the South-West Gissar region (profile, 180-250 km) as well as in the wings of the Boysun basin (profile, 250-260 and 290-310 km) these complex products are not observed. On the north-western side of the profile, in the Jayron area, these deposits were 45-70 m thick, while in the North Shurtan section, the complex formed a layer 1500 m thick. It can be observed that the total thickness of Neogene-Quaternary deposits in the Boysun Basin was around 1000m in the Beshirkak area. There is a significant difference in the thickness of Paleogene formations, in the area of the Turan platform and in the Surkhandarya basin. In the north-eastern part of the profile, the thickness of these crops is 110-120 m, while in the south-western part it is 300-350 m. Paleogene rocks are found on the surface of the Gumbulak basin and in the two wings of the subduction basin. These complex deposits are also not observed on the profile (in the south-western part of Gissar (200-250km)) and on board the Boysun syncline.

- In the built profile, the thickening of deposits of the Cenozoic (Quaternary, Neogene, Paleogene) period is observed in the Bishkek basin (North Shurtan area), Boysun basin (Beshirkak area) and in the central part of the Surkhandarya megasyncline (Lalmikor area). In the northwestern part of the Gumbulak area and on the southwest side of the profile (210-240km), as well as on the wings of the Boysun syncline (250-260km and 295-305km), chalk deposits lie on the surface. The change in the thickness of the buried part from 1000m to 1100m in the profile part of the platform is reflected in the well data from Jayron, Karim, Shim.Maymanak, Shim.Shurtan, Gumbulak fields. and we can observe that the lower boundary is not opened (in Beshirkak Square). The Upper Cretaceous formations themselves are 900-1000m in the Beshirkak area. During the period of alpine deformation tectonogenesis, it was this structural layer that lifted itself up during the rise of the Boysun Mountains during collision movements and caused it to rise to the surface. As a result, the amplitude of tectonic faults in the geological work of external geological processes, in particular the South-West Gissar fault (180 km), Kelif-Sherabad fault (250 km) and other small tectonic faults, reduced layer thickness and even washed away in some areas. 235-250km) can be observed.

- The Jurassic strata, which are part of the Mesozoic erathemus and are considered promising for hydrocarbons, can be observed only in the formation of stepped gorst grabens as a result of several tectonic faults in the platform. At the Bukhara stage, the thickness of Jurassic crops was 120-160 m (Jayran area), while at the Chorjo tectonic stage, the complex was 400-500 m (Karim, Shim.Shurtan fields). This can be seen as evidence that the salt-anhydrite complex at the Bukhara stage has been washed away. By the middle of the profile (in the Shim.Shurtan area) only the upper Jurassic formations were recorded in the Drilling well data, and the lower limit of the Jurassic period was not discovered in this drilled well. In three of the selected wells (Jayron, Karim, Shim.Maymanak) rocks belonging to the Paleozoic erathema were discovered and described as granite-granodiorite (Jayron, Karim) and shale (Shim.Maymanak) rocks.

- Judging by the location of the tectonic fault zones described in the correlation section of the wells, it should be noted that Jurassic products are more likely to be hydrocarbon-friendly, as all deep faults are more likely to form Jurassic and shielded caps.

References

1. Egamberdiev M.E., Mirkamalov X.X., Usmanov G.O. New data on the geological structure and oil and gas potential of the Baysun trough (Southern Uzbekistan) // Geology and oil and gas potential of the Jurassic deposits of Southern and Western Uzbekistan. Proceedings of IGIRNIGM, Vol. 60. Tashkent: SAIGIMS. 1986. S. 85-97.
2. Abdullaev G.S., Bogdanov A.N., Eidelnant N.K. The current state and prospects for the development of geological exploration for oil and gas in the Bukhara-Khiva region of the Republic of Uzbekistan // Journal "Oil and gas geology. Theory and Practice" St. Petersburg-2020.
3. Abdullaev G.S., Bogdanov A.N., Eidelnant N.K. The current state and prospects for the development of exploration work for oil and gas in the South-West-Gissar region of the Republic of Uzbekistan // Journal "Oil and gas geology. Theory and Practice" St. Petersburg - 2020.
4. Abdullaev G.S., Bogdanov A.N., Eidelnant N.K. The current state and prospects for the development of geological exploration for oil and gas in the Surkhandarya region of the Republic of Uzbekistan // Journal "Oil and gas geology. Theory and Practice" St. Petersburg - 2020.
5. Azimov P.K., Akhmedzhanov M.A., Borisov O.M. Paleotectonic history and perspectives of oil and gas bearing intermountain basins of orogenic regions in the east of Central Asia // Geology of oil and gas. 1979. No. 12. P. 35-41.
6. JSC "IGIRNIGM" and "Uzbekgeofizika" OAZ fond materials <https://orcid.org/0000-0001-5586-2845>

О ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРО-ТЯНЬ- ШАНЬСКОГО ОРОГЕНА (СТШО)

Амиров Н.Б.
nurkhanat@mail.ru

Институт сейсмологии Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан,
г. Алматы, Республика Казахстан

В работе представлены результаты исследования сущности термодинамических характеристик структурных неоднородностей очаговых зон землетрясений территорий Северо-Американского и Евразийского континентов, Северо-Тянь-Шаньской орогенной системы и Йеллоустоунского супервулкана, где в качестве главного показателя зависимости термодинамических условий от геодинамических условий в очаговых зонах землетрясений выступает температура.

Ключевые слова: очаговые зоны землетрясений, термодинамические характеристики.

Введение. Одной из важнейших проблем, связанных с обеспечением сейсмической безопасности стран, территории которых подвержены современным геодинамическим процессам, является установление особенностей проявления их (процессов) в динамических характеристиках очаговых зон сильных и разрушительных землетрясений. Результаты фундаментальных исследований геодинамических условий формирования очаговых зон землетрясений в недрах Земли свидетельствуют, что очаговые зоны сильных и разрушительных землетрясений (ОЗЗ), формируются в земной коре, литосфера которой разрушена в новейшем этапе тектогенеза в связи с изменением ротационно-инерционного режима Земли и насыщением структурных неоднородностей высокотемпературными массами (плюмы) [1]. Установлено, что энергонасыщенные структурные неоднородности обладают фундаментальными свойствами дискретности (структурированность) и функционирования (движение, эволюция). Выявленные закономерности в дифференцированном отклике энергонасыщенных (локальных) зон на дифференцированные по периодам и амплитудам внешних источников энергии открывают возможности для разработки методов расчета термобарических характеристик очаговых зон землетрясений.

Методика исследования. Наиболее общими фундаментальными свойствами термодинамических (теплопроводность, теплоемкость и др.), реологических (вязкость, прочность и др.) и упругих (скорости V_p и V_s , модуль упругости и др.) являются их зависимость от длин и амплитуд твердых деформационных волн, которые формируются в земной коре при взаимодействии с внешними силами. Так, избыточное напряжение, создаваемое изменением температуры, определяется упругими свойствами среды [2]: $\Delta P = \frac{10}{9} \mu \tau \Delta T = \frac{10}{9} V_s^2 \rho \Delta T$, где V_s – скорость поперечных волн, ρ – плотность пород. Скорость распространения продольных волн в веществе связана с приливным фактором (δ) в виде [3]: $V_p = \sqrt{(13 - 8\delta)/(\delta - 1)}$. Приливной фактор изменяется во времени. Время релаксации напряжения (τ) в очаговых зонах определяется по формуле: $\tau = \eta/\mu$ (модуль сдвига $\mu = V_s^2 \rho$), а напряжение, создаваемое в земной коре деформационными волнами, зависит от вязкости: $\tau_i = \eta_i \frac{U}{h_i}$, где U — скорость смещения структурных неоднородностей, h — мощность зоны разрушения. Изменение энергии ΔE связано с модулем Юнга (γ) [4]. $\Delta E = \frac{\sigma_0 \sigma}{\gamma} V$, где σ_0 и σ — накопленное и сброшенное напряжения соответственно.

Механическая энергия движения структурных неоднородностей расходуется на разрушение геологической среды. В случае горизонтальных колебательных движений блоков, обусловленных действием внешних (космических) источников энергии, мощность h сдвигового сечения определяется как $h = \eta \left(\frac{U^2}{2\pi\langle Q \rangle} \right)$, где U — скорость смещения блока; $\langle Q \rangle$ — плотность потока механической энергии, диссипируемой в зоне течения. Его амплитуда: $\langle Q \rangle_{max} = \frac{2}{\pi\eta_i} U_i^2 e^{-2Y/Y_{S_i}}$, при $x_i = \frac{2n+1}{8} \lambda_i$ ($n = 0, \pm 1, \pm 2 \dots$), где Y — глубина; Y_{S_i} — глубина, на которой амплитуда i -й гармоники уменьшается в e раз. На расстоянии $x_i = \lambda_i/8 = (\pi\eta^{-1})h$ от оси разлома поток $\langle Q \rangle_i = \langle Q \rangle_{max}$. Мощность дислокационной зоны h_i возрастает в функции от длины волны λ_i : $h_i = \frac{\lambda_i}{2\pi}$, а сечения, удаленные от оси разлома (дислокационной зоны) до $x = \frac{\lambda_i}{8}$, наиболее «опасны» в сейсмическом отношении, так как в них максимальны упруго-вязкие напряжения (σ) и плотность потока механической энергии: $\sigma = 2\pi \frac{U}{h}$; $\langle Q \rangle = \eta \frac{U^2}{2\pi h}$. При вертикальных колебательных движениях блоков мощность h сдвигового сечения определяется как $h = \eta \frac{U^2}{2\pi\langle Q \rangle}$, где U — скорость смещения блока, $\langle Q \rangle$ — плотность потока механической энергии, диссипируемой в зоне течения. На расстоянии $x_i = \frac{\lambda_i}{8}$ от оси разлома поток $\langle Q \rangle = \langle Q \rangle_{max}$, мощность дислокационной зоны будет изменяться с глубиной: $h_i = h_0 \frac{\langle Q_i \rangle_{max} \eta_i}{\langle Q \rangle_{max} \eta_0}$. Из этой формулы следует, что на изменение мощности h наибольшее влияние оказывает вязкость среды.

В причинно-следственной цепи, определяющей современную динамику геодинамических процессов в литосфере, выступают продукты трансформации гравитационных сил взаимодействия планет [5]. Выявленные закономерности о дифференцированности откликов палео- и неоструктурных неоднородностей глубинных структурных неоднородностей литосферы (тектоносферы) на дифференцированные по периодам и амплитудам внешних источников энергии открывают возможность определения термодинамических характеристик. Ниже приведены результаты исследования закономерностей пространственного распределения комплекса физических и геометрических характеристик очаговых зон землетрясений (ОЗЗ). В этот комплекс входят: температура (T_c), объем (V_c), модуль сдвига (G), критическое напряжение (ε_c) и вязкость (η_c). Ввиду того, что все характеристики определены по магнитудам сейсмических колебаний упругих волн, они условно названы «сейсмотермодинамическими характеристиками» (СТХ).

Расчеты проведены по методике Л.М.Тулиани на экспериментальных данных о магнитудах землетрясений, произошедших в 1973-2020 гг. на территориях Евразийского и Северо-Американского континентов (платформы), Северо-Тянь-Шаньской орогенной зоны в Центральной Азии и Супервулкана Йеллоустоун в Северной Америке [6]. Результаты расчетов приведены в таблицах 1 и 2.

В таблице 2 содержатся данные о (термодинамических характеристиках) ТДХ очагов землетрясений, «привязанных» к магнитудам.

Из расчетных данных о ТДХ следует, что термодинамические характеристики очагов зон землетрясений подвержены пространственным и временным изменениям (рисунок 1).

В качестве главного показателя зависимости ТДХ от геодинамических условий в ОЗЗ выступает температура (T_c). Оказалось, что температура в ОЗЗ сильных и разрушительных землетрясений значительно ниже по отношению к T_c в ОЗЗ слабых землетрясений. Так, в ОЗЗ с $M=7,6-8$ температура не превышает 350°C , а для ОЗЗ с $M>8$, она ниже 250°C . Температура T_c для ОЗЗ с $M=5-6$ превышает 1000°C .

Таблица 1 – Сейсмодинамические параметры (средние значения) очаговых зон землетрясений (магнитуды $M=4-5$)

Магнитуда	Территория	V_c (см^3)	T_c°	$G_c \times 10^{11}$ (дин/ см^2)	$\tau_{\text{скр}} \times 10^8$ (дин/ см^2)	$\sigma_c \times 10^9$ (дин/ см^2)	ε_c	$lg \eta$ (П)
4-5	Северо-Американский континент	15.821	1408.84	1.64	2.377	7.737	0.0474	19.45
	Евразийский континент	15.91	1390.12	1.659	2.405	7.65	0.0464	19.54
	Йеллоустоунский супервулкан	15.797	1413.64	1.636	2.371	7.758	0.0477	19.42
	Северо-Тяньшаньская орогенная система	15.292	1366.57	1.683	2.4401	7.542	0.045	19.66
5-6	Северо-Американский континент	17.524	1053.126	2.083	3.021	6.1	0.02953	21.26
	Евразийский континент	17.439	1070.87	2.054	2.978	6.1818	0.0303	21.17
	Йеллоустоунский супервулкан	17.59	1039.4	2.104	3.051	6.037	0.0289	21.33
	Северо-Тяньшаньская орогенная система	17.423	1074.388	2.049	2.971	6.198	0.03	21.15
6-7	Северо-Американский континент	19.13	715.33	2.798	4.057	4.545	0.0164	22.98
	Евразийский континент	18.965	750	2.702	3.919	4.705	0.0175	22.80
	Йеллоустоунский супервулкан	-	-	-	-	-	-	-
	Северо-Тяньшаньская орогенная система	18.87	769.62	2.674	3.878	4.76	0.018	22.74

Таблица 2 – Сейсмодинамические характеристики очагов землетрясений (магнитуды 2.5-9.1)

M	E (эрг)	V_c (см^3)	T_c ($^\circ\text{C}$)	$G_c \times 10^{11}$ (дин/ см^2)	$\tau_{\text{скр}} \times 10^8$ (дин/ см^2)	ε_c	$\sigma_c \times 10^9$ (дин/ см^2)	η_c (П)
2.5-3.0	1.3×10^{16}	1.2×10^{13}	2003	1.21	1.75	0.087	10.47	3.78×10^{16}
3.0-4.0	7.9×10^{17}	4.4×10^{14}	1678	1.41	2.05	0.064	8.91	2.54×10^{18}
4.0-5.0	5.4×10^{19}	3.4×10^{16}	1306	1.63	2.53	0.042	7.27	1.74×10^{20}
5.0-6.0	2.3×10^{21}	1.2×10^{18}	974	2.21	3.22	0.026	5.74	7.56×10^{21}
6.0-7.0	6.5×10^{22}	2.8×10^{19}	678	2.91	4.22	0.015	4.38	2.11×10^{23}
7.0-8.0	9.4×10^{24}	3.9×10^{20}	427	3.97	5.75	0.008	3.22	3.38×10^{24}
8.0-9.0	1.1×10^{25}	3.1×10^{21}	224	5.6	8.12	0.004	1.83	3.68×10^{25}
>9.0	3.6×10^{25}	8.8×10^{21}	106	7.22	10.48	0.002	1.75	1.16×10^{26}

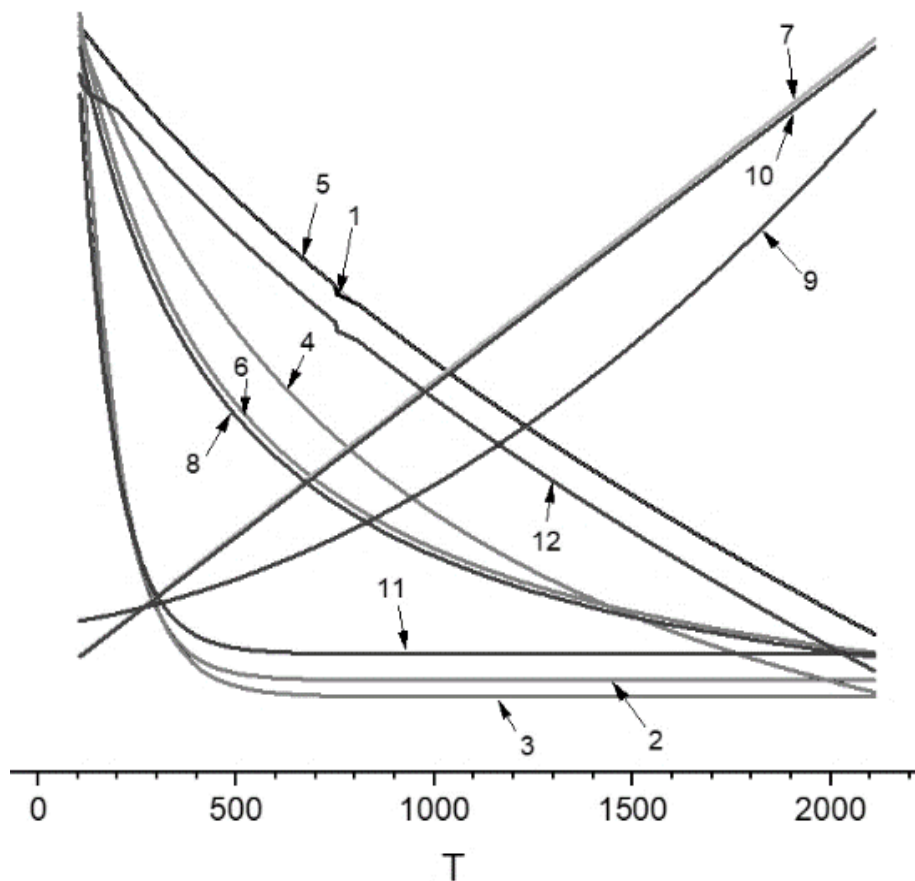


Рисунок 1 - Зависимость термодинамических параметров от температуры. 1 — M , 2 — E (Эрг), 3 — V (см³), 4 — U (Эрг/см³), 5 — E_k , 6 — $G \cdot 10^{11}$ (дин/см²), 7 — $\alpha_v \cdot 10^{-5} \text{K}^{-1}$, 8 — $\tau_{кр} \cdot 10^8$ (дин/см²), 9 — ϵ , 10 — $\sigma \cdot 10^9$ (дин/см²), 11 — η (П), 12 — N

Таблица 3 – Температурные градиенты СТХ

Наименование СТХ	Температурный градиент	Район
Модуль упругости G_c	$-1,6 \times 10^8$ дин/см ² 1°С	Северо-Американский и Евразийский континент, Йеллоустоунский и Северо-Тяньшаньский плюмы
Критическое напряжение $\tau_{кр}$	$-2,4 \times 10^8$ дин/см ² 1°С	
Снятое напряжение σ_c	$-2,8 \times 10^8$ дин/см ² 1°С	
Вязкость $lg \eta_c$	$-5,1$ П/1°С	
Объем $lg V_c$	$-5,1 \times 10^{-3}$ см ³ /1°С	

Наиболее резко выражено изменение объема в области температуры до 300-400°С, причем объем V_c с повышением температуры T_c уменьшается. Так, отношение V_c , рассчитанное при $T_c \approx 2000^\circ\text{C}$ к V_c , рассчитанного при $T_c \approx 200^\circ\text{C}$, достигает 10^8 . Вязкость среды η_c с понижением температуры T_c с 2000°С до 200°С возрастает от $3,8 \times 10^{16}$ П до $3,7 \times 10^{25}$ П, т.е. отношение η_c , рассчитанного по магнитудам разрушительных землетрясений к таковым, рассчитанным по магнитудам слабых землетрясений, достигает 10^9 .

Результаты и выводы. Модуль сдвига с повышением температуры уменьшается. Очаговые зоны сильных землетрясений представляют объемные тела. Они и привязаны к индивидуальным зонам.

В очагах разрушительных землетрясений в земной коре СТШ были относительно низкие температуры (200-300°С), высокие величины объемов очагов (10^{23} - 10^{24} см³). Очаги сильных землетрясений ($M < 7-7,5$) в земной коре СТШ располагаются главным образом на глубинах не более 40 км, их объемы не превышают 10^{18} - 10^{19} см³. Температура в очагах колеблется от 450 до 1000°С.

Значение G_c в мантии равно 5.4×10^{11} дин/см²с, т.е. практически совпадают с G , определенным по формуле Л.И.Тулиани. Однако разрушительные землетрясения происходят и в верхней части земной коры, где модуль сдвига не превышает 10^{11} дин/см²с. Землетрясения происходят в платформенных областях, где вязкость близка к 10^{17} П [7].

Сейсмотермобарические характеристики, определяемые по отношениям максимальных амплитуд землетрясений, представляют «условные» физические параметры».

Литература

1. Курскеев А.К. Геофизические неоднородности литосферы. Алматы: Гылым. 1996. 168 с.
2. Лейбензон Л.С. Собрание трудов. В 4 т. Т. 4: Гидроэродинамика. Геофизика. М.: Изд-во АН СССР. 1955. 399 с.
3. Ержанов Ж.С., Курскеев А.К., Тимуш А.В., Чабдаров Н.М. Земная кора сейсмоактивных регионов Казахстана. Алма-Ата: Наука. 1982. 232 с.
4. Садовский М.А., Писаренко В.Ф., Родионов В.М. От сейсмологии к механике. О модели Геофизической среды // Вестник АН СССР. 1983. № 1. С. 82-88.
5. Курскеев А.К. Землетрясения и сейсмическая безопасность Казахстана. Алматы: Эверо. 2004. 501 с.
6. Курскеев А.К., Сидоров А.М. Роль инерционных процессов в динамике структурных элементов литосферы Земли // Вестник АН КазССР. 1989. № 6. С. 40-46.
7. Гуттенберг Б. Физика земных недр. М.: ИЛ. 1963. 264 с.

РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОЙ СТАНЦИИ СКАЛА-48

Валуйский А.Ю.
webattack@list.ru

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

В работе показаны результаты апробации программного обеспечения многоэлектродной аппаратуры «СКАЛА-48» с целью построения геоэлектрической модели, а также для решения прямых и обратных задач электротомографии.

Ключевые слова: электротомография, моделирование, обратная задача, поляризация, инверсия, электроразведка.

Введение. Настоящее время характеризуется развитием геофизических методов и их активным использованием в различных областях, таких как экология, археология, инженерная геология, гидрогеология, городское коммунальное хозяйство и т.п. В частности, в последнее время получил развитие и внедрение такой метод как электротомография, которая позволяет решать с высокой степенью экономической эффективности широкий круг задач. Наиболее широко этот метод используется при детальном изучении строения грунта на глубину до первых сотен метров, разведке рудных полезных ископаемых, картирование плотика россыпных месторождений, определение рельефа коренных пород при проектировании фундаментов зданий, изучение состояния промышленных объектов таких как дамбы, плотины и хвостохранилища. Однако, в Научной станции РАН, метод электротомографии применяется не только для детального изучения верхней части геоэлектрического разреза, но и мониторинга состояния геологической среды. Решение этой задачи напрямую связано с точностью полевых наблюдений и построением адекватных геоэлектрических моделей мониторинговых объектов. В связи с чем очень важно проанализировать существующие программные продукты для обработки и инверсии наблюдаемых данных.

Электротомография основана на применении многоэлектродных электроразведочных кос, подключаемых к аппаратуре, способной коммутировать токовые и измерительные электроды на произвольные выводы косы. Такая технология на порядок увеличивает производительность и разрешающую способность исследований методом сопротивлений, особенно если аппаратура имеет несколько измерительных каналов, позволяющих определять разность потенциалов одновременно с нескольких приемных линий [1].

Многоэлектродная электроразведочная аппаратура «СКАЛА-48»

Среди ряда современных российских разработок, реализующих метод электротомографии, можно выделить аппаратуру «СКАЛА-48». Аппаратура разработана в лаборатории электромагнитных полей Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН и выпускается ООО Конструкторским бюро электрометрии. К настоящему моменту несколько комплектов «СКАЛА-48» успешно применяются при решении различного рода научных и инженерных задач [1].

Многоэлектродная аппаратура «СКАЛА-48» (рис. 1) предназначена для выполнения электроразведочных работ методами сопротивлений и вызванной поляризации в режимах электрического профилирования (ЭП), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электрической томографии (ЭТ) [2].



Рисунок 1 – Внешний вид многоэлектродной аппаратуры «СКАЛА-48»

Программное обеспечение для моделирования

С началом использования электроразведочной аппаратуры, реализующей плотные томографические измерения, возникла необходимость в применении соответствующих программных систем для моделирования и инверсии данных электротомографии.

На текущий момент существует несколько подобных программных средств, которые представлены в таблице 1 [3].

Таблица 1 – Программы для обработки данных электротомографии

Название	Разработчик	Моделирование			Инверсия		
		1D	2D	3D	1D	2D	3D
Res2DInv	GEOTOMO SOFTWARE (Малайзия), www.geoelectrical.com					+	
Res3DInv							+
Res2DMod			+				
Res3DMod				+			
SensInv1D	Geotomographie GmbH (Германия), www.geotomographie.de				+		
SensInv2D						+	
SensInv3D							+
DC2DInvRes	Thomas Günther (Германия), www.resistivity.net					+	
DC3DInvRes							+
ZondIP1D	Александр Каминский (Россия), www.kaminae.narod.ru				+		
ZondRes2d						+	
ZondRes3d							+
Earth Imager 1D	Advanced Geophysics (США), www.agiusa.com	+			+		
Earth Imager 2D			+			+	
Earth Imager 3D				+			+
ERT Lab	MPT & GEOSTudi Astier (Италия), www.ertlab.com						+
Enigma	PETROSEIKON Inc. (Канада), www.petroseikon.com			+	+		

Освоение пакета программ, предназначенного для обработки и моделирования наблюдаемых регистраций данных необходимо начинать с программы *SiBER TOOLS*, которая входит в комплект программного обеспечения станции и служит для просмотра, визуализации и первичной обработки данных аппаратуры «СКАЛА-48», а также, для экспорта данных в распространённые форматы, создания и просмотра шаблонов.

Для исследования возможностей стандартных установок метода электротомографии было проведено моделирование и последующая инверсия модели для профиля «Боом».

Геоэлектрическая модель, построенная на базе электромагнитного профиля «Боом», представлена на рисунке 2.

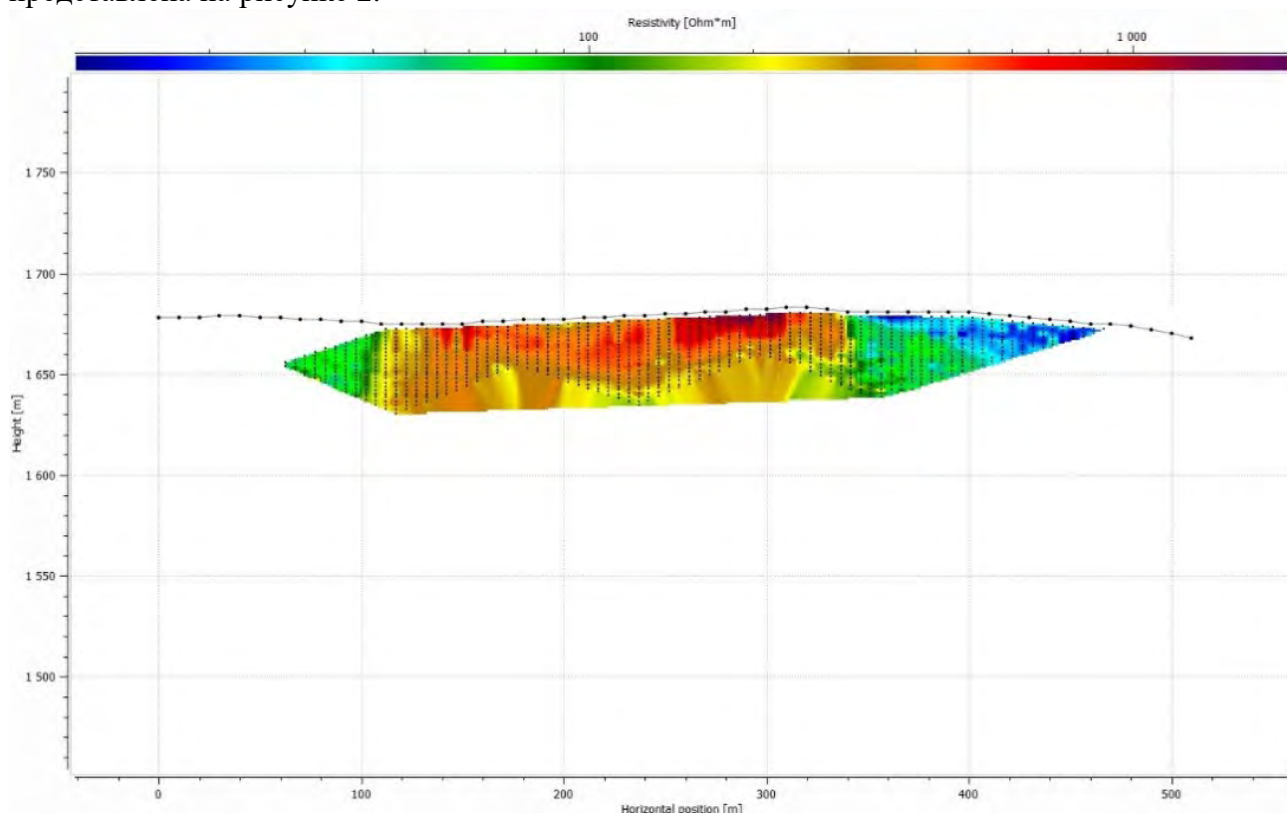


Рисунок 2 – Геоэлектрическая модель профиля «Боом». Метод Шлюмберже

С началом использования электроразведочной аппаратуры, реализующей плотные томографические измерения, возникла необходимость в применении соответствующих программных систем для моделирования и инверсии данных электротомографии [3]. Программы, которые рассматриваются и используются в данном докладе, называются RiPPP и DiInSo.

RiPPP (рис. 3) - программа, которая предназначена для предварительной обработки полевых данных и вычисления кажущегося удельного электрического сопротивления (УЭС) геологической среды для метода ВЭЗ и кажущейся поляризуемости для метода вызванной поляризации (ВП). Она позволяет просматривать, компоновать, фильтровать данные и экспортировать результаты предварительной обработки в другие форматы. Поддерживаемые программой форматы данных [4]:

1. Формат данных *.d2d (Скала 48 / Siber 48),
2. Формат данных *.m64Session (Скала 48 / Siber 48),
3. Общий формат данных *.abmnu.

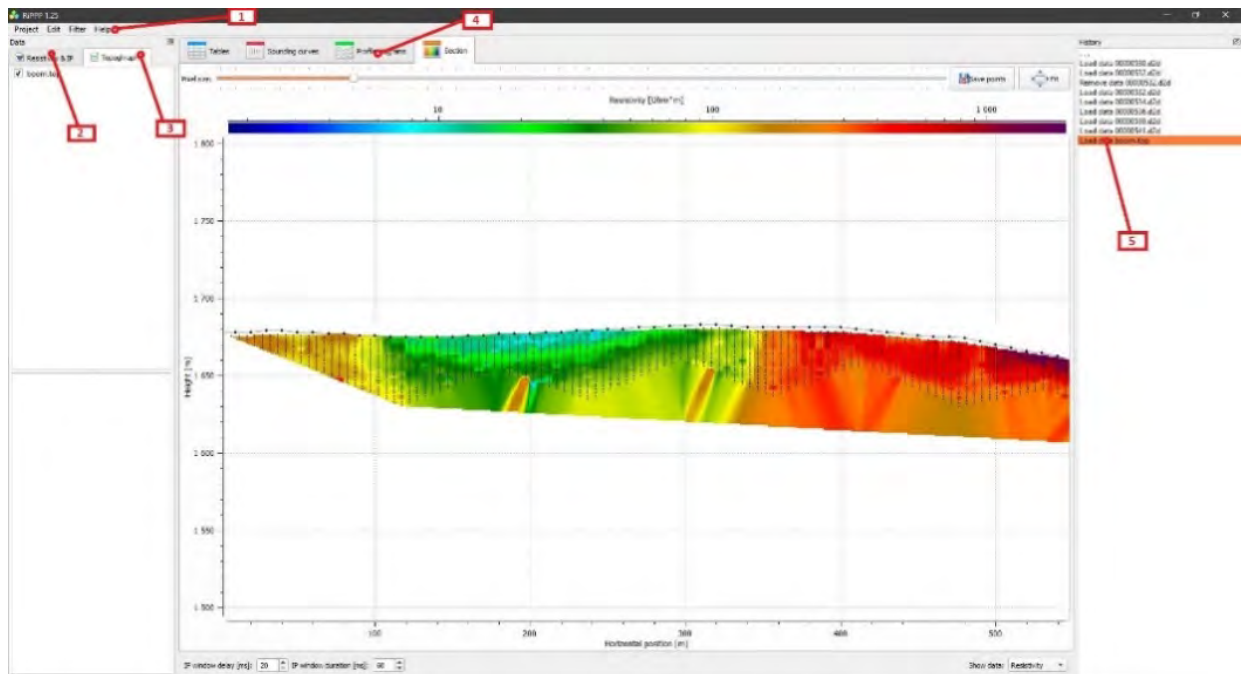


Рисунок 3 – Интерфейс программы RiPPP: 1 – Главное меню; 2 – Вкладка УЭС и ВП; 3 – Вкладка топографии; 4 – Таблицы и графика; 5 – История рабочего процесса

DiInSo (рис. 4) - программный комплекс, который предназначен для академических исследований, цель которого – это решение прямых и задач инверсии электротомографии на постоянном токе [5].

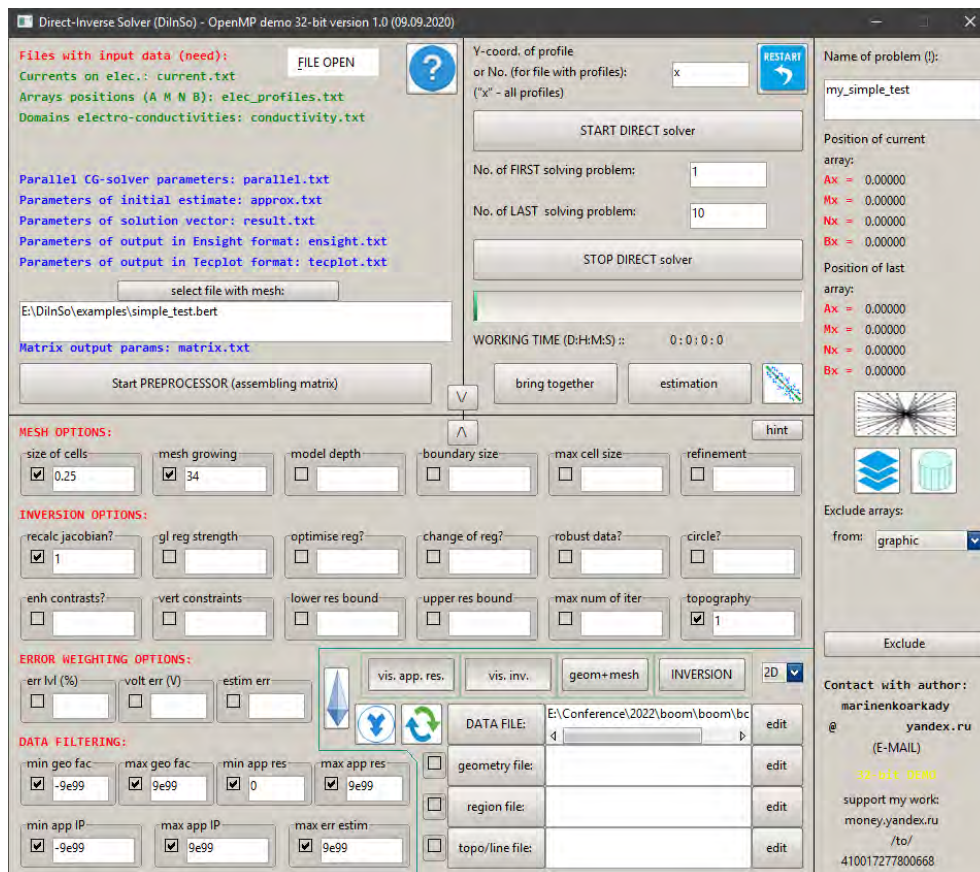


Рисунок 4 – Главное окно программы DiInSo

В качестве примера для предварительной обработки был взят участок профиля «Боом» с протяженностью 480 м.

Порядок обработки данных, записанных аппаратурой «СКАЛА-48»:

1. Загрузить данные в программу RiPPP
2. Сохранить полученную геоэлектрическую модель.
3. Запустить программу DiInSo и конвертировать полученный файл в программе RiPPP из *.dat в *.bert.
4. В поле «Data File» добавить полученный файл в формате *.bert
5. Нажать на «vis.app.res».
6. Получить обработанный файл, в котором можно посмотреть распределение кажущегося сопротивления (псевдоразрез) (рис. 5).

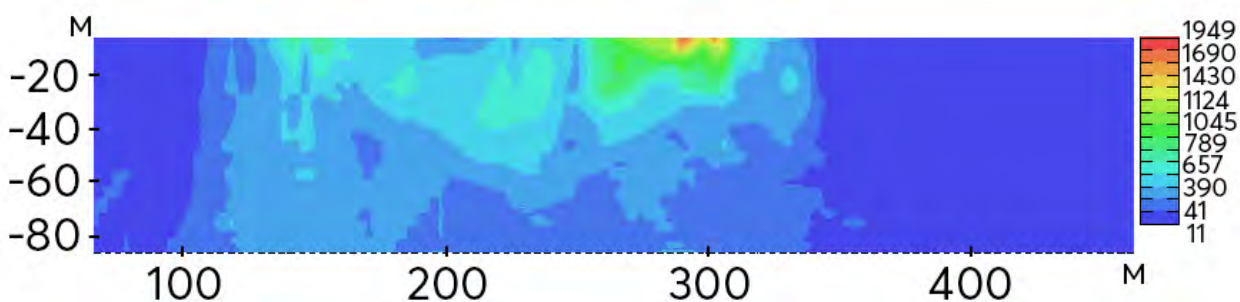


Рисунок 5 – Распределение кажущихся сопротивлений для профиля «Боом»

Далее, можно получить инверсию геоэлектрической модели, для этого в окне программы «DiInSo» необходимо нажать на «**INVERSION**», после того, процесс инверсии данных будет завершен, для получения решения обратной задачи (рис. 6) необходимо нажать на «vis.inv».

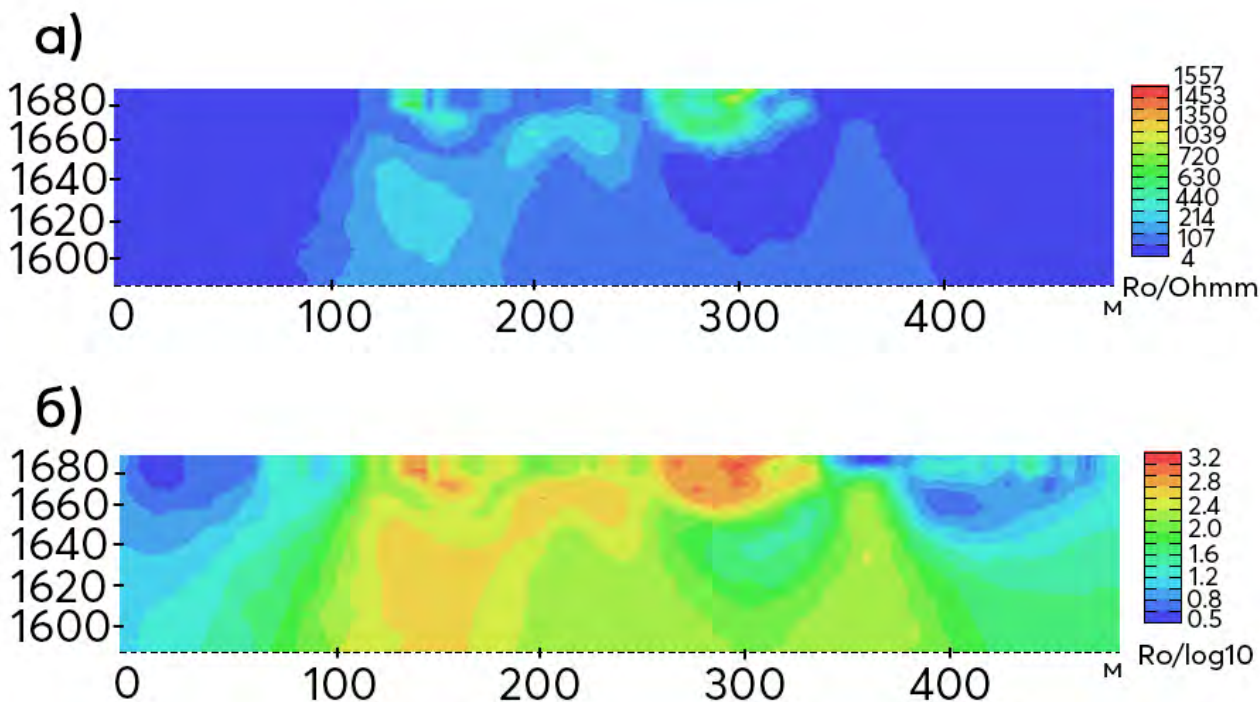


Рисунок 6 – Полученная геоэлектрическая модель после обработки данных электротомографии в программе DiInSo: а) – геоэлектрическая модель в Ом·м; б) – геоэлектрическая модель в Log10

Выводы. Таким образом, после обработки полученных данных электроразведочной станцией СКАЛА-48 в программе RiPPP была проделана предварительная обработка полевых данных и вычислено кажущееся удельное электрическое сопротивление (УЭС) геологической среды для метода ВЭЗ для профиля Боом. Были экспортированы результаты предварительной обработки в другие форматы, а в программе DiInSo была решена задача инверсии электротомографии., тем самым было показано, что эти программы могут работать по отдельности, но в совместном использовании от них больше пользы, и их не в коем случае нельзя сравнивать, так как, они выполняют разные функции и дополняют друг друга.

Литература

1. Балков Е.В., Панин Г.Л., Манштейн Ю.А., Манштейн А.К., Белобородов В.А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика. 2012. № 6. С.54-63.
2. Команда разработчиков аппаратуры «СКАЛА-48». Аппаратура электроразведочная многоэлектродная «СКАЛА-48». Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 2013. 50 с.
3. Мартьянов А.С. Разработка программных средств анализа данных аппаратурного комплекса СКАЛА. Магистерская диссертация. Новосибирск. 2013. 37 с.
4. Методическое руководство RiPPP. Resistivity & induced Polarization Preliminary Processor v.1.19 RUS. 3 с.
5. Методическое руководство DiInSo - Direct-Inverse-Solver (DiInSo) 32-bit version Quick (and easy) Guide v.1.0 – first public beta version. 2020. 2 с.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАТАЛОГОВ KNET И NNC ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ БИШКЕКСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА

Воронцова Е.В.

vorontsova@gdirc.ru

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

Представлены результаты сравнения эпицентров сейсмических событий из каталогов Научной Станции РАН (KNET) и Национального ядерного центра Республики Казахстан (NNC) с 1 июля 2002 г. по 31 декабря 2020 г. для территории Бишкекского геодинамического полигона (41.5°-43.5° с.ш., 73°-77° в.д.). Для 61.67% общих событий расхождение координат эпицентров составляет не более чем 10 км. На основе анализа порядка и времен прихода P- и S-волн на сейсмические станции сети KNET показано, что для подавляющего большинства событий с расхождением эпицентров более 10 км значения координат из каталога KNET являются более точными, чем соответствующие им значения из каталога NNC.

Ключевые слова: каталог сейсмических событий, эпицентр

Сейсмологические станции Кыргызстана и Средней Азии входили в единую сеть СССР до 1991 г. В это время действовала единая система обработки данных и составления каталога землетрясений СССР [1,2]. После распада СССР в 1991 г. на основе существовавших сейсмологических станций на территории Кыргызстана и Казахстана были сформированы три обособленных сети: Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики (ИС НАН КР), Национального ядерного центра Республики Казахстан (НЯЦ РК) и Сейсмологической опытно-методической экспедиции Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (СОМЭ) [3]. Также в 1991 г. на севере и северо-западе Кыргызстана были установлены десять цифровых станций, а новая сеть получила название KNET [4]. На основе получаемых данных на Научной станции РАН в г. Бишкеке (НС РАН) с 1994 г. проводится составление сейсмического каталога KNET. Таким образом, в настоящее время основная информация о сейсмических событиях Кыргызстана представлена в каталогах четырех независимых агентств: ИС НАН КР, НЯЦ РК, СОМЭ и НС РАН. Поэтому для получения единого полного каталога землетрясений Кыргызстана необходимо сравнить имеющиеся данные и убедиться в их однородности.

В настоящей работе проведено сравнение эпицентров сейсмических событий из каталогов НС РАН (KNET) и НЯЦ РК (NNC) с 1 июля 2002 г. по 31 декабря 2020 г. Для анализа были выбраны сейсмические события, произошедшие на территории (БГП, 41.5°-43.5° с.ш., 73°-77° в.д.). Исследуемая выборка для каталога KNET составила 5048 событий с классом по Раутиан (уточненным, [5]) $K \geq 5$. Выборка для каталога NNC составила 7387 событий с $K \geq 3$. Каталог и бюллетень НЯЦ РК взяты из открытой базы данных Международного Сейсмологического Центра ISC [6]. Количество общих событий для указанных выборок составило 3159. Сравнение расположения эпицентров показано на рисунке 1. Расхождения координат эпицентров составили для 1948 событий (61.67%) – не более чем 10 км (рис. 1а), для 367 событий (11.62%) – 10-15 км (рис. 1б), для 844 события (26.72%) – более 15 км (рис. 1в), при этом велика доля (12.69%) событий со смещением более 30 км.

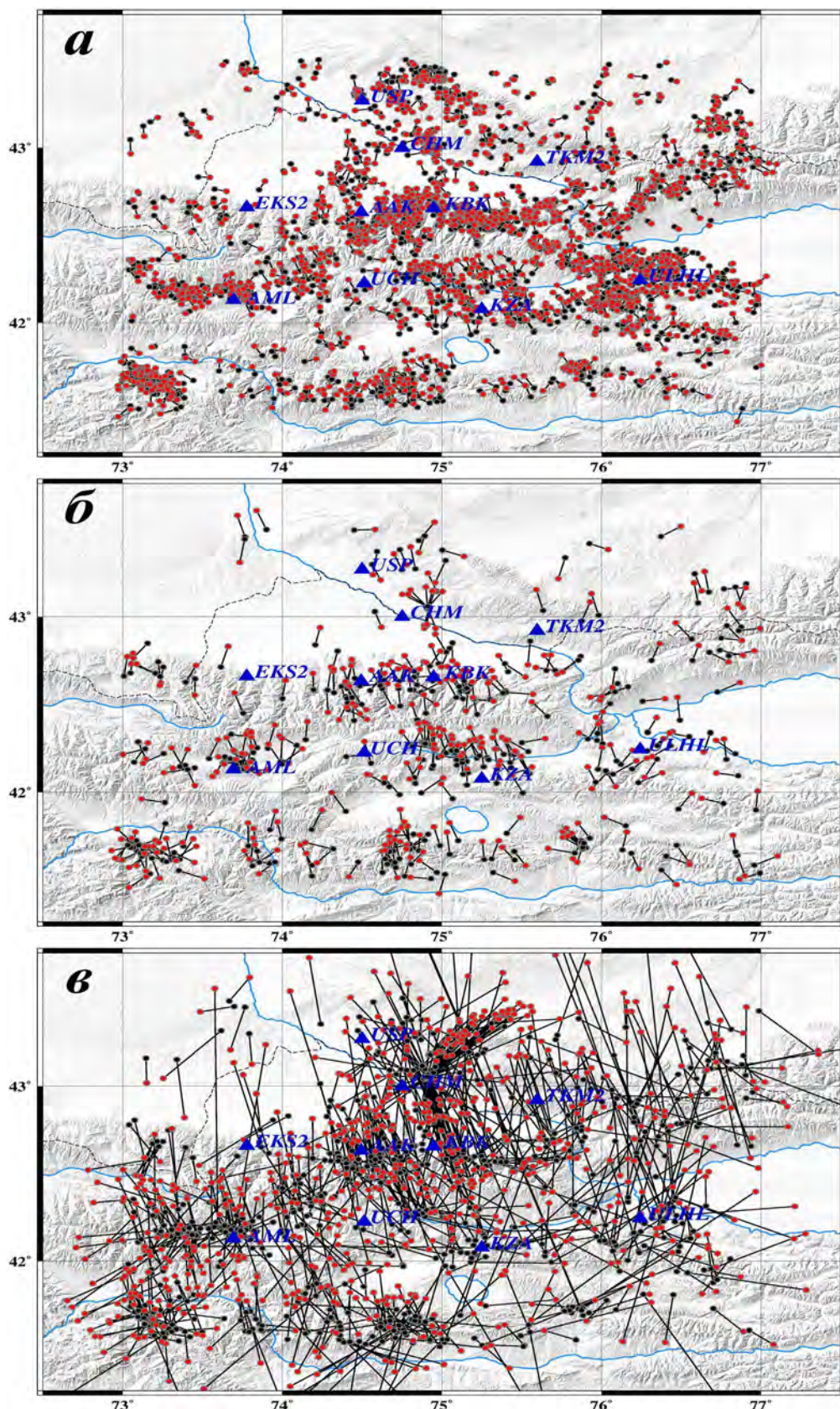


Рисунок 1 – Расхождение эпицентров общих событий для каталогов KNET (черные точки) и NNC (красные точки): *a* – 0–10 км, *б* – 10–15 км, *в* – >15 км. Синие треугольники – станции сейсмической сети KNET

Наблюдаемые расхождения эпицентров обусловлены разными исходными сейсмологическими данными и различными методами их обработки. Так в ИС РАН и ИЯЦ РК применяется разное программное обеспечение, в том числе и программы-локаторы. В ИС РАН локация осуществляется в программе Нуросентер, основанной на методе Гейгера [7, 8].

В НЯЦ РК используется программа Dbloc2, в которой реализован азимутальный алгоритм лоцирования [9, 10]. Различие используемых алгоритмов приводит к тому, что даже при обработке этими программами одних и тех же входных данных смещение эпицентров примерно для половины событий превышает 5 км и увеличивается с удалением от станций сейсмической сети [11].

Для событий с расхождением более 10 км важно определить какое значение эпицентра более точное. Одним из показателей точности можно расценивать порядок прихода Р-волн на станции сети KNET: в бюллетенях каталога KNET для каждого землетрясения указано время вступления Р-волн для 5-10 станций. В зависимости от расположения эпицентра их порядок может изменяться. Поэтому для каждого из 1211 событий со смещением эпицентра более 10 км, было рассчитано расстояние от эпицентра, указанного в каталоге NNC, до станций сети KNET. Порядок предполагаемого прихода Р-волн в 845 случаях отличался от наблюдаемого в действительности по данным бюллетеня KNET. Также для сравнения точности были построены зависимости времен распространения Р- и S- волн от расстояний между эпицентром события и станциями сейсмической сети. В каждом случае рассчитывалась нормированное значение остатков линейной регрессии полученных зависимостей. Приведенное на рисунке 2 количественное распределение нормированных значений остатков для времен прихода Р- и S- волн позволяет заключить о большей достоверности координат эпицентров для каталога KNET. Лишь для 17 событий невязка по времени прихода как Р- волн, так и S-волн для координат, приведенных в каталоге NNC, меньше чем для соответствующих координат из каталога KNET. Эти события расположены вблизи границ БГП, а расхождение по координатам эпицентров в основном составляет 10-12 км.

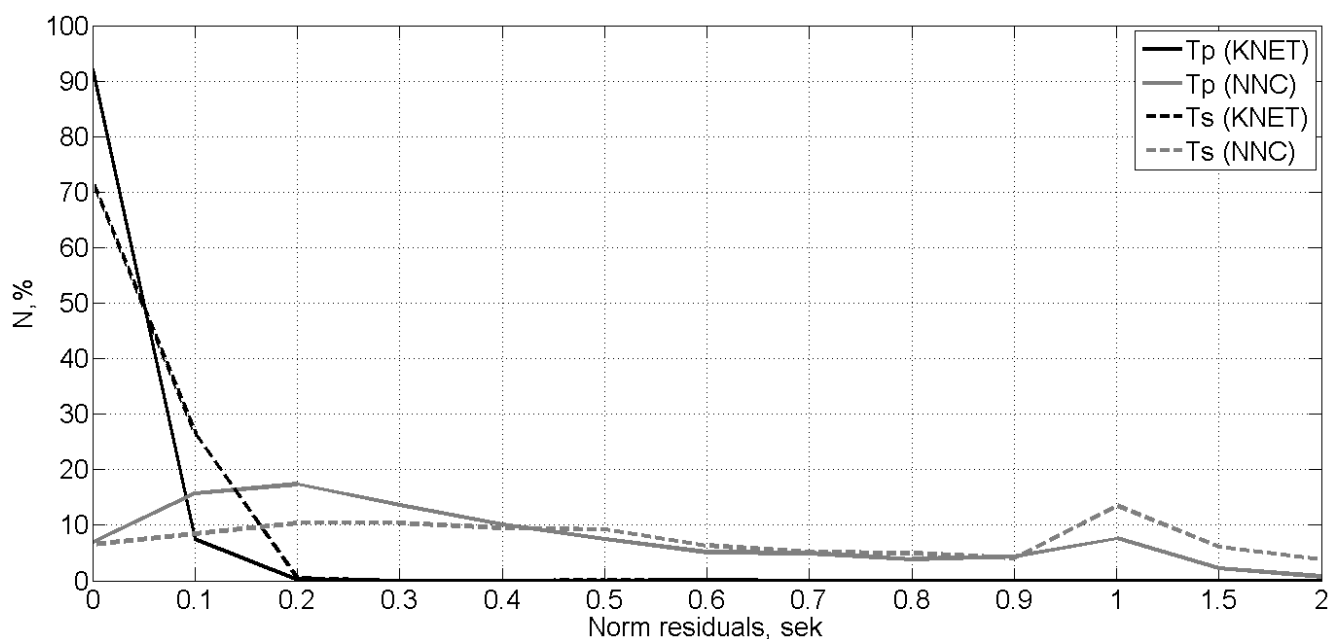


Рисунок 2 – Распределение количества землетрясений по нормированным значениям остатков линейной регрессии зависимостей времен распространения Р- и S- волн от расстояний между эпицентром события и станциями сейсмической сети

Таким образом, можно заключить, что в пределах Бишкекского геодинамического полигона для 61.67% общих событий из сейсмических каталогов KNET и NNC за период с 1 июля 2002 г. по 31 декабря 2020 гг. расхождение координат эпицентров составляет не более чем 10 км. Для событий, у которых расхождение превышает 10 км, 17 событий имеют более точные координаты в каталоге NNC, а остальные – в каталоге KNET. Поэтому при составлении сводного каталога для территории БГП предпочтительно для общих событий оставлять параметры гипоцентра и времени, указанные в каталоге Научной станции РАН.

Литература

1. Инструкция о порядке производства и обработки наблюдений на сейсмических станциях ЕССН СССР. М.: Наука. 1982. 273 с.
2. Землетрясения в СССР. Ежегодники. М.: Наука. 1964–1993.
3. Непейна К.С. Сети сейсмических наблюдений в Центральной Азии // Вестник НЯЦ РК. 2018. Вып. 2. С. 107–115.
4. Kyrgyz Seismic Telemetry Network. International Federation of Digital Seismograph Networks / Kyrgyz Institute of Seismology, IVTAN/KIS & University of California, San Diego. 1991. <https://doi.org/10.7914/SN/KN>
5. Воронцова Е.В. Выбор энергетической характеристики для унифицированного сейсмического каталога Кыргызстана // Вестник КРАУНЦ. Серия: Науки о Земле. 2020. № 1 (53). С. 24-31. <https://doi.org/10.31431/1816-5524-2022-1-53-24-31>
6. International Seismological Centre (20XX), On-line Bulletin, <https://doi.org/10.31905/D808B830>
7. Lienert B.R., Berg E., Frazer L.N. Hypocenter: An Earthquake Location Method Using Centered, Scaled, and Adaptively Damped Least Squares // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1986. Vol. 76, N 3. P. 771–783. <https://doi.org/10.1785/BSSA0760030771>
8. Geiger L. Herbsetimmung bei Erdbeben aus den Ankunftszeiten // Mathematisch-Physikalische Klasse. Nachr. Ges. Wiss. Gött. 1910. Т. 1910. 3. 331-349.
9. Михайлова Н.Н. Соколова И.Н. Центральный и Восточный Казахстан // Землетрясения Северной Евразии в 1997 году. Обнинск: ГС РАН. 2003. С. 89-91.
10. Bratt S.R., Bache T.C. Location Estimation Using Regional Array Data // Science Applications International Corporation (SAIC), San Diego. 1986. 69 p.
11. Воронцова Е.В. Анализ устойчивости определения координат эпицентра сейсмических событий по данным сети KNET // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Тез. докл. VIII Междунар. симп., г. Бишкек, 28 июня - 2 июля 2021 г. Бишкек. 2021. С. 269-271.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ КУАНЫШ-КОСКАЛИНСКОГО ВАЛА, С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ГРАВИ-СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА

Гаффаров М.А.

Управление геологии нефти и газа Государственного комитета Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам, г. Ташкент, Республика Узбекистан

В настоящее время, когда в Узбекистане открыты почти все крупные месторождения нефти и газа, возникла необходимость в поисках ловушек со сложными геологическими строениями. В связи с этим, для повышения коэффициента «подтверждаемости» геологоразведочных работ, предлагается глубокий анализ гравии – сейсмического комплекса. В Узбекистане высокоточные гравиметрические исследования, как опытно-методические, так и производственные, проводились с 70 по 2015 годы. За этот период были разработаны методики выделения гравиметрических аномалий типа залежь и комплексирование их с другими геофизическими методами, которые внесли свой вклад при открытии нескольких месторождений (Бузахур, Янги Каратепе, Феруза, Каратепе и др.). Так же было отмечено, что применение комплекса гравии – сейсморазведки российскими исследователями, позволило повысить коэффициент «подтверждаемости» геофизических прогнозов до 80% в ряде регионов Западной Сибири, Тюмени и др.

Ключевые слова: Куаныш-Коскала, терригенные отложения, локальные аномалии, вторые производные, Vzz, Petrel, гравиметрическая аномалия типа залежь, сейсморазведка, гравиразведка, сеть гравиметрических профилей.

Куаныш-Коскалинский вал расположена в центральной части Устюртского региона и на сегодняшний имеет достаточную степень буровой и сейсмической изученности, а также в его пределах имеются такие месторождения, как Акчалак, Западный Барсакельмес, Бескала, Карачалак, Кокчалак, Сайхун, Тиллали и недавно открытое месторождение Центральный Кушкаир, давшее притоки газа из терригенной юры. Также сейсморазведочными работами подготовлена серия многочисленных объектов, перспективных на обнаружение залежей нефти и газа: Аламбек, Абадан, Аджибай, Ершабай, Каракудук, Восточный Каракудук, Каракалкан, Кызылкаир, Западный Кызылкаир, Южный Кызылкаир, Кийкулак, Чинк, Кубла Чинк, Чибелли, Палванбай, Уртатепе, Хакимата, Шеркала и др. Почти на каждом из них имеется по одной, две, а иногда и большее количество скважин глубокого бурения (параметрических, поисковых, разведочных и опорных), давшие или незначительные притоки УВ или оказавшиеся непродуктивными. Именно поэтому, результаты переинтерпретации гравиметрической съёмки в комплексе с материалами других геолого–геофизических методов – сейсморазведки, электроразведки, космодешифрирования и морфометрии, помогут в дальнейшем оценить перспективность подготовленных и вновь выявленных (Сарычалак, Шаркий Акчалак, Кайнар Булак) сейсморазведкой объектов, наметить более рациональное размещение будущих поисково – разведочных скважин, а также провести переинтерпретацию временных разрезов или постановку детальных сейсморазведочных работ в пределах наиболее перспективных объектов [2].

С целью получения полной картины расположения поисковых объектов в гравитационном поле, созданном на основании переобработки исходных материалов съёмки (Роз Н.К., 1996г.), была составлена сводная гравитационная карта в редукции Буге при плотности промежуточного слоя, $\delta_{п.с.} = 1,70 \text{ г/см}^3$.

Созданная карта является базой данных имеющихся гравиметрических наблюдений, и необходима для получения промежуточных и конечных результатов исследований при выявлении новых и оценки известных объектов с позиции их нефтегазоперспективности в

процессе комплексного анализа всей существующей на данный период геолого-геофизической информации.

Исходное гравитационное поле Куаныш-Коскалинского вала имеет сложное строение. Так, на севере, в районе поисковой скв. №1 Кибир наблюдается зона гравитационного минимума (вероятно, связываемого с опущенным блоком в палеозое) с отметкой – 13,25 мГал. Такой же минимум северо - восточного простирания расположен к востоку от подготовленных объектов Южный и Центральный Кушкаир. Самые значительные минимумы отмечаются южнее скважин №№ 1 и 2 Приозерные (- 16,0 мГал) и к юго – западу от подготовленного объекта Чибелли (- 15,75 мГал). Самые высокоамплитудные гравитационные максимумы расположены к западу от объектов Каракудук и Абадан и к востоку от поисковой скв. № 1 Уртатепе. Анализ структурной карты по кровле палеозойских образований (Мордвинцев О.П., 2009) и схемы геологического строения домезозойского фундамента (Буняк Л.И., 1994) показали, что западная высокоамплитудная зона вероятно связана с приподнятым блоком в палеозое, а восточная зона – с региональными тектоническими нарушениями. Амплитуда первого, западного максимума достигает значения – 5,75 мГал, а второго, восточного – 6,50 мГал [1].

Интерес представляет участок гравитационного поля, протягивающийся через подготовленный объект Шеркала (и южнее), месторождения Бескала, Акчалак, Тиллали, Западный Барсакельмес, Сайхун, который характеризуется низкоамплитудной зоной поднятия северо – западного простирания (от – 12,50 мГал до – 12, 0 мГал). Аналогичные зоны в дальнейшем будут рассматриваться при анализе графиков Δg_a . Положительные «затяжки», отмеченные в ходе гравитационных изолиний, например, в районе месторождения Западный Барсакельмес и объекта Южный Кушкаир, говорят о наличии перспективных объектов на обнаружение УВ.

Локальное гравитационное поле Куаныш-Коскалинского поднятия также имеет сложное строение и представлено чередованием положительных зон максимумов силы тяжести, разделяемых и окаймляемых зонами минимумов.

Простирание линейно вытянутых, протяжённых зон положительных максимумов, в основном, северо-западное, вероятно связанное с направлением структур фундамента герцинской складчатости. Всего на исследуемой площади выявлено 4 основных зоны: 1. Шеркала-Западно-Барсакельмесская, 2. Кокчалак-Аламбек-Южно-Кушкаирская, 3. Аджибайская и 4. Каракудук-Центрально-Кушкаирская. В северной части площади имеется еще одна низкоамплитудная зона (интенсивность 0,5-1,0 мГал) такого же направления, на которой еще не выявлено поисковых объектов.

Шеркала-Западно-Барсакельмесская зона наиболее изучена поисково-разведочными работами, на ней выявлены наиболее значимые месторождения Куаныш-Коскалинского вала: Акчалак, Бескала, Западный Барсакельмес, Тиллали, Сайхун и ряд подготовленных нефтегазоперспективных объектов, такие как Палванбай, Чибелли, Шеркала, Хакимата, Нурли. На объекте Чибелли в скв. №№ 1 и 2 из отложений средней юры были получены притоки газа дебитом 1,0-8,0 тыс.м³/с. Амплитуда локальных максимумов здесь достигает значений +2,0 мГал.

Кокчалак-Аламбек-Южно-Кушкаирская зона максимумов, с которой пространственно связаны месторождения Кокчалак, Карачалак и подготовленные объекты Южный Кушкаир и Каракалкан. Последний расположен в центральной части ранее подготовленной структуры Аламбек, в контуре которой пробурено 10 поисково-разведочных скважин. Только скв. № 7 дала притоки газа непромышленного значения 7-10 тыс.м³/с. В пределах Южного Кушкаира пробурена опорная скв. № 1 Восточный Барсакельмес с признаками растворенного газа в воде [3].

Для определения протяженных положительных высокоградиентных зон, а также разделяющие их отрицательные зоны, был проведен анализ с построением карт вторых производных и с построением график Δg_a и V_{zz} , E методикой Розенбаха. Все эти операции необходимы для дальнейшего визуального анализа с целью оконтуривания гравиметрических

аномалий типа залежь (ГАТЗ), являющихся прогнозным критерием оценки нефтегазоперспективности опосредованных объектов (подготовленных или выявленных).

Результаты предварительного анализа показали, что практически все известные месторождения пространственно тяготеют к зонам положительных значений V_{zz} или переходным зонам от повышенных (положительных) к пониженным (отрицательным). Это совпадение также правомерно и для большей части подготовленных и выявленных объектов (Восточный Акчалак, Кайнар Булак, Сарычалак).

Замечено, что такие подготовленные объекты, как Абадан; Западный Кушкаир скв. №1; Кызылкаир, скв. №1; Чингиз, скв. № 1П; Кубла Чинк, скв. №1; Кийкулак, скв. №1; где первые пробуренные поисковые скважины не дали притоков УВ, находятся в поле отрицательных значений V_{zz} . А такие объекты как Нурли, Чибелли, Чинк, Центральный Кушкаир, Западный Кушкаир, Восточный Каракудук, Уртатапа, Уртачалак, Ершабай расположены в пределах полей как положительных, так и отрицательных и требуют дополнительного изучения сейсмических материалов для последующей постановки бурения скважин (рис 1) [2].

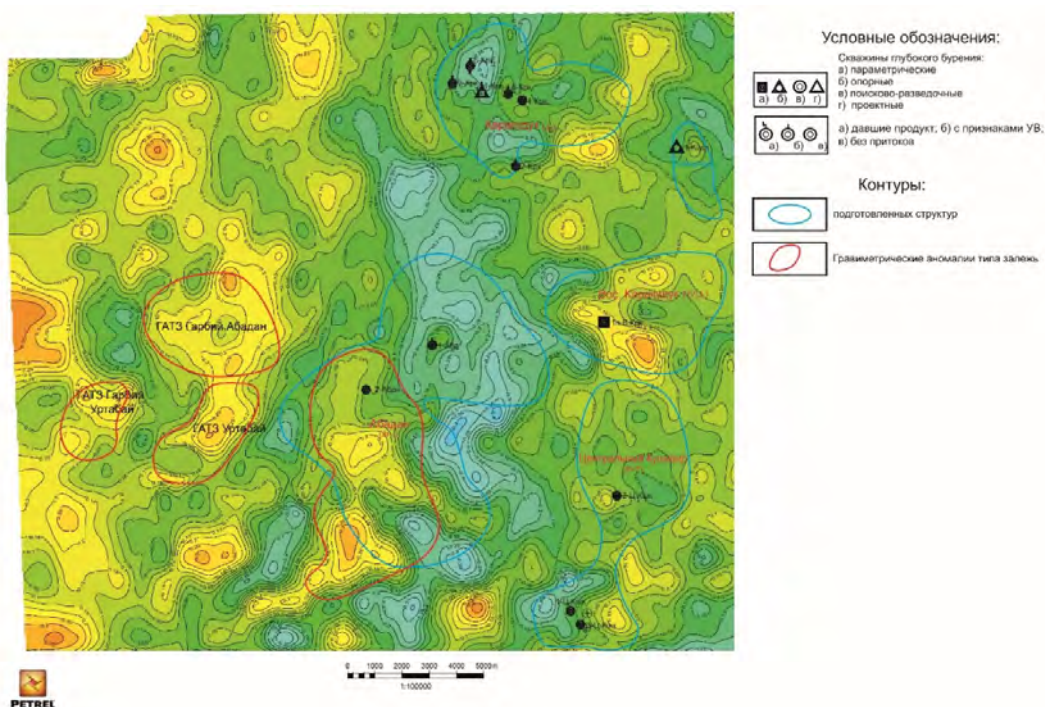


Рисунок 1 – Карта вторых производных V_{zz} гравитационного поля с нанесёнными контурами объектов

Анализ пробуренных скважин в пределах исследуемой территории показал, что в отрицательных зонах находятся пробуренные скважины глубокого бурения: Кибир, скв. №1; Кийкулак, скв. №1; Каракудук, скв. №4; Кызылкаир, скв. №1; Северный Аламбек, скв. №1; Западный Барсакельмес, скв. №№4,7; Акчалак, скв. №16; Аламбек скв. №4; Восточный Аламбек, скв. №1; Кубла Чинк, скв. №№1,2; Приозерная, скв. №№1,2; Уртачалак, скв. №1; Янги Чибины, скв. №2; Кокчалак, скв. №,3; Бескала, скв. №3; Чибелли, скв. №2,3.

Исходя из вышеизложенного, при подготовке объектов к глубокому бурению обязательно необходимо проводить оценку их перспективности комплексом геофизических методов (сейсмо, -грави, -электроразведка и т.д.). Это несомненно приведет к повышению эффективности ГРП на нефть и газ.

Анализ отстроенной карты V_{zz} площади Куаныш-Коскалинского вала, начиная с северной части (месторождение Каракудук) до южной (месторождения Бескала, Акчалак, Сайхун, Тиллали, Карачалак, Кокчалак и др.), позволяет предположить наличие ряда новых гравиметрических АТЗ, связываемых с еще неизвестными скоплениями УВ, а в пределах

подготовленных и выявленных структур наметить наиболее перспективные участки для заложения поисково – разведочных скважин.

Предлагаемый пример выявления гравиметрической АТЗ по графикам исходного и трансформированного поля в разработанной рекомендации, наглядно демонстрирует возможности высокоточной гравиразведки при поисках новых нефтегазоперспективных объектов. Аномалия также нашла свое отражение на временных сейсмических разрезах.

По данной методике, оконтуривание аномалии Каракалкан показало, что ее параметры почти полностью совпадают с границами одноименного подготовленного объекта, и проектируемая скважина заложена в оптимальных условиях.

В результате проведенных работ по оценке перспективности локальных объектов Куаныш-Коскалинского вала по данным гравиразведки и комплекса геолого-геофизических материалов, которые заключались в переинтерпретации материалов гравиметрической съёмки (Роз Н.К., 1996) и анализа материалов сейсморазведки, электроразведки, космодешифрирования и морфометрии, можно отметить следующее:

Все известные локальные положительные структуры, являющиеся залежами углеводородов (эталонные объекты – месторождения, подготовленные и выявленные сейсморазведкой структуры), как в терригенной юрской формации, так и в палеозое, отражаются в гравитационном поле характерными аномалиями типа залежь (ГАТЗ), картируемыми в виде низкоамплитудных структурных максимумов, осложненных вторичными минимумами (рис.2).

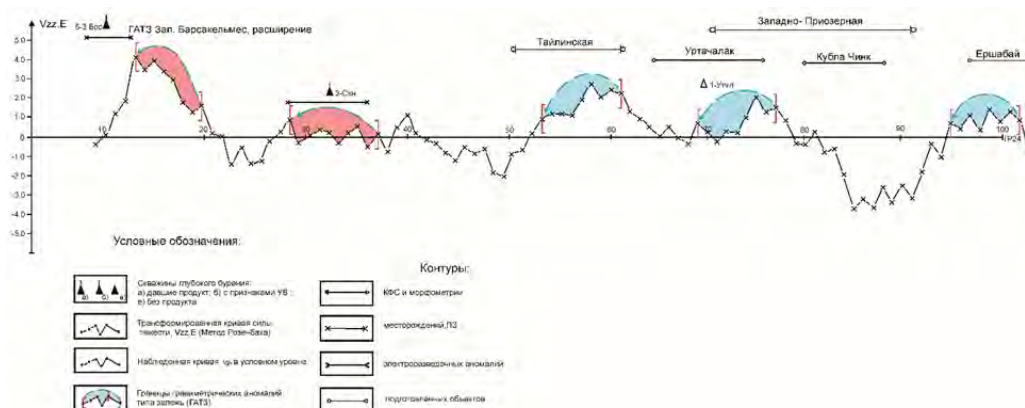


Рисунок 2 – Выделения гравиметрических АТЗ по графикам наблюдаемых и трансформированных аномалий силы тяжести

В итоге, в результате комплексного анализа всех видов геолого-геофизических исследований, обнаружен ряд перспективных объектов, прогнозирующих нефтегазоперспективные ловушки, а именно: Алтынкуль, Чингиз, Каракалкан, Южный Кушкаир, Абадан, Гарбий Абадан, Уртабай и Жанубий Аджибай, а также выявлены ещё 3 перспективные ГАТЗ: Шаркий Кушкаир, Кызыл Кесеркская и Дуслик. Учитывая, что освещенность их сейсморазведочными работами слабая, аномалии расположены в зоне редкой сети профилей или на окончании профилей. В связи с этим рекомендуется проведение детальных сейсморазведочных работ с учетом комплексного анализа других геофизических методов.

Литература

1. Буняк Л.И., Эйдельмант И.М., Роз Н.К. Выявление объектов, перспективных на нефть и газ на площади листов: К-40-8-Б,Г; 9; 10, 11; 20-Б; 21; 22,23; 33-А,Б; 34-А,Б; 35-А,Б (Восточный Устюрт) за 1990-94 гг. С. 22-78.
2. Девятков Р.Р. Поисково-разведочные и детализационные сейсморазведочные работы 3Д в пределах Куаныш-Коскалинского вала, выполненных Устюртской с/п № 07/06-12. 2012. С. 31-45.
3. Каршиев О.А. Подсчет запасов УВ сырья месторождения Сайхун. 2019. С. 48-88.

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ГРАВИМЕТРА CG-5 AUTOGRAV

Дробышев М.Н.¹, Малышева Д.А.²
drmika88@gmail.com

¹Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, Россия

²Владимирский государственный университет им. Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

В работе рассматривается сейсмическое влияние на высокоточные гравиметрические измерения в качестве устранимой помехи, а также вариант использования сейсмических станций для оценки пригодности пункта наблюдения к проведению высокоточных гравиметрических измерений по рассчитанному значению среднеквадратического отклонения измерений вертикального канала. В целях получения необходимых экспериментальных данных на полигоне “Запольское”, в условиях геофизической обсерватории, на постаменте гравиметрического пункта первого класса были проведены гравиметрические и сейсмические измерения с различной продолжительностью регистрации и частотой отсчетов. Проведенное моделирование сигнала чувствительного элемента гравиметра с использованием сейсмической информации в качестве входных данных и сопоставление полученных рядов с гравиметрическими измерениями позволило получить коэффициент корреляции не ниже 0.9 в частотном диапазоне 0.017–6 Гц и снизить высокочастотную зашумленность гравиметрических измерений.

Ключевые слова: высокоточные гравиметрические наблюдения, микросейсмические колебания, среднеквадратическое отклонение.

Введение. Получение наиболее точных и достоверных гравиметрических данных всегда было и остается главной задачей гравиметрии. Одной из основных помех при проведении наземных гравиметрических измерений является сейсмическое воздействие как природного, так и техногенного происхождения.

Микросейсмические (приповерхностные) колебания верхней части литосферы с диапазоном частот от долей до сотен Гц - неотъемлемое свойство верхней части земной коры. Они возникают и после землетрясений и при движении циклонов, от цунами или сейшей в замкнутых водоемах, от штормовых волн, падений метеоритов, схода снежных лавин и ледников и т.п. Регулярные малоамплитудные микросейсмы вибрационного характера часто обусловлены техногенными причинами. Интенсивное колебание поверхности возбуждается движением транспорта, деятельностью промышленных предприятий с режимом импульсного механического воздействия, взрывными работами и обрушением породы на горно-эксплуатационных комплексах и т.д.

В работе рассматривается сейсмическое влияние на высокоточные гравиметрические измерения, выполняемые относительным гравиметром CG5-Autograv, в качестве устранимой помехи. А также возможность использования сейсмических станций для оценки пригодности пункта наблюдения к проведению высокоточных гравиметрических измерений по рассчитанному значению среднеквадратического отклонения (СКО) измерений вертикального канала.

Содержание. Гравиметр измеряет реакцию опоры (постаumenta), на которой он установлен, следовательно, он фиксирует суммарный сигнал, состоящий из ускорений силы тяжести и сейсмического воздействия. Исходя из того, что гравиметр фильтрует сейсмическое воздействие, оказываемое на его чувствительный элемент, простым математическим

усреднением, можно сделать вывод о возможном искажении полезного сигнала в области высоких частот [1].

Поскольку изучение высокочастотных возмущающих процессов, к которым относят землетрясения и антропогенное влияние, осуществляется с помощью сейсмометров, то для учёта внешнего влияния на гравиметрические измерения необходимо знать динамические характеристики гравиметра и сейсмометра, в частности - передаточные характеристики (АЧХ), по которым, необходимо определить, имеют ли гравиметр и сейсмическая станция общий диапазон частот регистрации. Для оценки АЧХ гравиметра была создана математическая модель формирования измерительной информации, были определены переменные параметры математической модели, соответствующие реальному прибору, и показана адекватность созданной модели [2].

С целью получения необходимых экспериментальных данных на полигоне «Запольское», в условиях геофизической обсерватории, на постаменте гравиметрического пункта первого класса были проведены гравиметрические и сейсмометрические измерения с различной продолжительностью регистрации и частотой отсчетов [3].

Цифровая сейсмическая станция «UGRA» в комплекте с однокомпонентными сейсмическими датчиками СМЗ-ОС используемая в качестве источника сейсмической информации регистрировала микросейсмические колебания с частотой регистрации 100 Гц в частотном диапазоне 10...0,1 Гц [4].

Время формирования единичного отсчета гравиметра варьируется в широких пределах в зависимости от условий наблюдения. В случае долговременных наблюдений целесообразно применять время, равное одной минуте или более. За это время производится накопление информации с частотой 6 Гц на протяжении 57 секунд и 3 секунды длится необходимая техническая пауза. Трехсекундный перерыв необходим для обработки накопленной информации и формирования условий следующего цикла измерений. Гравиметр регистрирует среднее значение силы тяжести и стандартное отклонение за период регистрации (0.0167 Гц), но при опросе чувствительного элемента возможна запись «сырых» данных, без введенных поправок, с частотой 6 Гц.

Для определения степени влияния сейсмических колебаний на высокоточные гравиметрические измерения было проведено моделирование сигнала чувствительного элемента гравиметра с использованием сейсмической информации в качестве входных данных и сопоставление полученных рядов с гравиметрическими измерениями. В частотном диапазоне 0,017 – 6 Гц значение коэффициента корреляции между рядами не опускается ниже 0,9 [5].

На рисунке 1 представлены графические результаты моделирования. Экспериментальные результаты подтверждают возможность применения сейсмометров в качестве источника дополнительной информации об инерционных помехах при проведении высокоточных гравиметрических измерений. При этом наблюдается значительное снижение амплитуды высокочастотной фоновой зашумленности гравиметрических данных (до 4 раз). СКО гравиметрических отсчетов, являясь мерой зашумленности полученных данных, является важной характеристикой точности выполненных гравиметрических измерений. Так же подтверждена возможность применения сейсмических станций для оценки возможной инерциальной помехи в потенциальных пунктах гравиметрических измерений [6].

Значительным фактором, влияющим на проведение высокоточных гравиметрических измерений, являются землетрясения. Погрешность гравиметрических наблюдений, возникающая из-за сейсмических событий, зависит от многих факторов в частности от мощности и удаленности места события от точки наблюдения. Сейсмические события можно разделить на несколько групп, вызывающих возрастание СКО гравиметра до 0.05 мГал, до 0.1 мГал до 1 мГал до 10 мГал и свыше 10 мГал. Эти группы отличаются не только величиной СКО и погрешности, но и временем, необходимым для возвращения величины погрешности к фоновому значению (временем переходного процесса). В первой группе при отклонении СКО от фонового значения равного 0.01 мГал до 0.05 мГал практически не наблюдается

возрастания погрешности гравиметрических наблюдений. Во второй группе (0.05-0.1 мГал) величина погрешности возрастает до 3 мкГал и затухание происходит около 1 часа. В третьей группе (0.1-1 мГал) величина погрешности возрастает до 20 мкГал и время затухания до 5 часов. В четвертой группе (1-10 мГал) величина погрешности возрастает до 0.1 мГал и время затухания до 9 часов. В пятой группе (свыше 10 мГал) выполнение высокоточных гравиметрических измерений не представляется возможным в течении 1.5-2 суток [7].

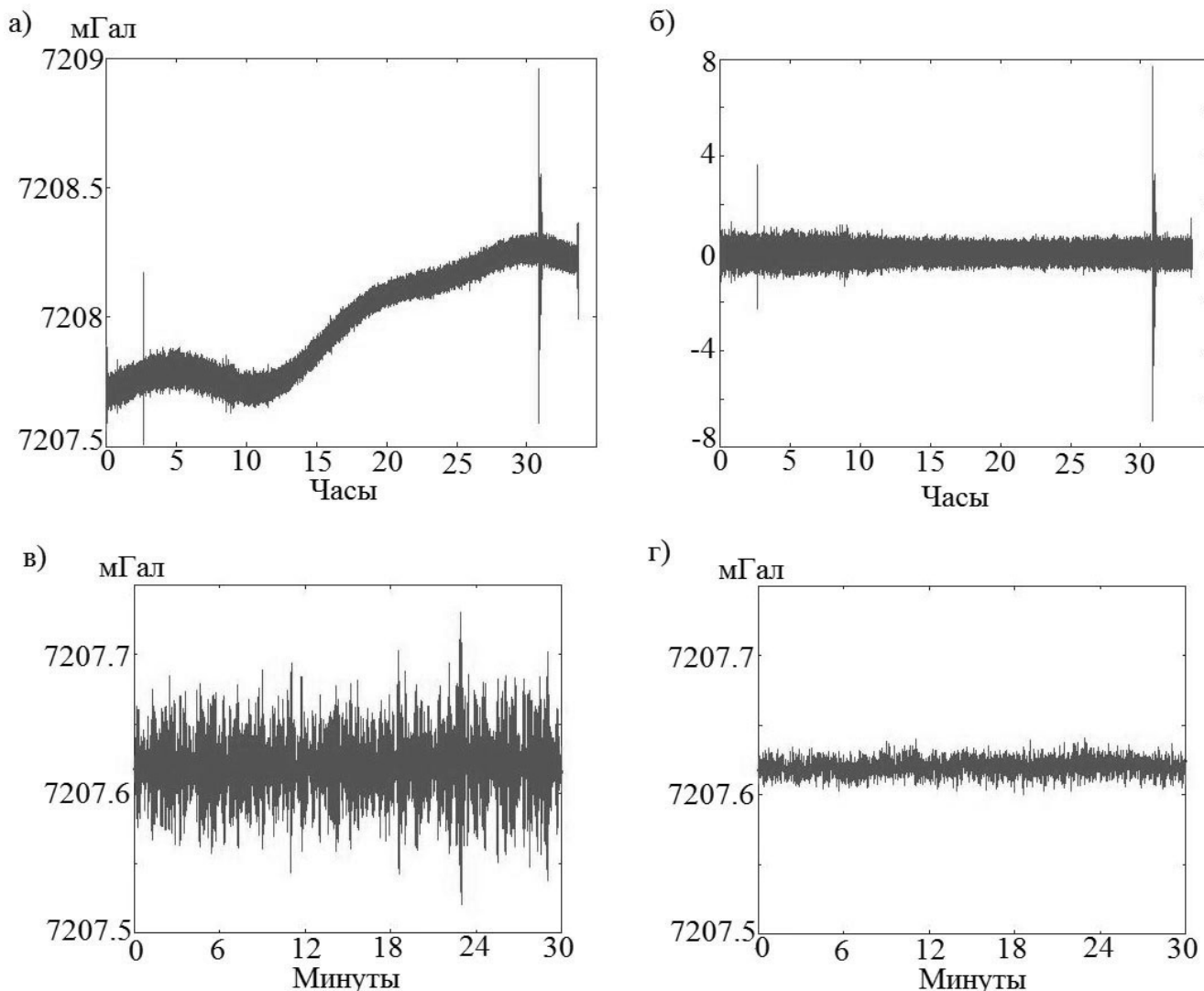


Рисунок 1 – «Шестигерцовые» данные: гравиметрические отсчеты за 33 ч измерений (вверху слева); смоделированные данные (33-х часовой ряд, вверху справа); гравиметрические отсчеты за 30 мин измерений (внизу слева); то же с учетом сейсмического воздействия (внизу справа)

Основные результаты. Применение моделирования чувствительного элемента гравиметра с сейсмическими данными в качестве входной информации в значительной степени позволяет отделить гравиметрические измерения от инерциального воздействия. Рассчитав СКО гравиметрических отсчетов по сейсмическим данным можно оценить степень пригодности пункта для проведения высокоточной гравиметрической съемки. Землетрясения магнитудой до 7 оказывают воздействия на гравиметрические измерения в течении 1,5 - 7 часов. В случае возникновения землетрясений магнитудой более 8 высокоточные гравиметрические измерения возможно выполнять только через двое суток с момента события.

Выводы. Полученная математическая модель чувствительного элемента в значительной степени позволяет снизить высокочастотную зашумленность гравиметрических

измерений. Высокое значение корреляции СКО гравиметрических и смоделированных данных позволяет судить о качестве гравиметрических измерений, в том числе на основе сейсмометрических.

Работа выполнена при поддержке РФФИ в рамках научного проекта №20-05-00524.

Литература

1. Относительный гравиметр CG-5. Система Scmtrex Autograv: руководство по эксплуатации. Ред. 4. 2008. 156 с.
2. Дробышев М.Н., Конешов В.Н. Учет сейсмического воздействия на высокоточные измерения гравиметром CG-5 Autograv // Физика Земли. 2014. № 4. С. 131-134.
3. Конешов В.Н., Абрамов Д.В., Дорожков В.В. Особенности построения и использования наземного сейсмогравиметрического комплекса // Сейсмические приборы. 2010. Т. 46. № 4. С. 5-13.
4. Цифровая трехкомпонентная сейсмическая станция Югра: руководство по эксплуатации. Обнинск. 2005. 57 с.
5. Дробышев М.Н., Конешов В.Н., Абрамов Д.В., Малышева Д.А. Повышение точности гравиметрических наблюдений с помощью сейсмической информации // Геофизические исследования. 2021. Т. 22. № 3. С. 26-34.
6. Абрамов Д.В., Бебнев А.С., Бычков С.Г., Горожанцев С.В., Герман В.И., Дробышев М.Н., Конешов В.Н., Красилов С.А., Овчаренко А.В., Юшкин В.Д. Одна из возможных причин синхронных континентальных микросейсм Северной Евразии // Физика Земли. 2020. № 4. С. 123-131.
7. Абрамов Д.В., Дробышев М.Н., Конешов В.Н. Оценка влияния сейсмических и метеорологических факторов на точность измерений относительным гравиметром // Физика Земли. 2013. № 4. С. 105-110.

ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В КАЗАХСТАНЕ

Дубровин В.И., Смирнов А.А., Смирнов Ю.А.

vitaliy@kndc.kz, yu.smirnov@kndc.kz

Филиал «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра
Республики Казахстан, г. Курчатов, Республика Казахстан

Инфразвуковые наблюдения в Казахстане начались с 1958 года, когда на территории Семипалатинского полигона открылась первая лаборатория, в задачи которой входил контроль за испытаниями ядерного оружия. В настоящее время в состав сети мониторинга за землетрясениями и взрывами ИГИ НЯЦ РК входят три инфразвуковых группы – Актюбинск, Курчатов и Маканчи. К обработке дополнительно привлекаются данные российской инфразвуковой группы Залесово. Станции Актюбинск (IS31) и Залесово (IS46) являются станциями Международной системы мониторинга Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (МСМ ОДВЗЯИ). Для всех инфразвуковых станций рассчитаны спектральные кривые инфразвукового шума, описаны основные закономерности шума по каждой станции, проведено сравнение их с мировыми моделями Брауна.

Ключевые слова: станция, инфразвуковые группы, мониторинг, спектр шумов, схема расположения, детектирование, бюллетень.

История развития инфразвуковых наблюдений в Казахстане. История развития инфразвуковых наблюдений в Казахстане может быть условно разделена на два больших этапа. Первый этап – это инфразвуковые наблюдения, проводившиеся во времена СССР, когда Казахстан являлся одной из республик. В этот период наблюдения в основном проводились Службой специального контроля (ССК) СССР, информации об этом периоде сохранилось немного. Второй период относится к годам обретения Казахстаном независимости и передачи станций ССК во вновь созданный Институт геофизических исследований Национального ядерного центра РК.

В советский период инфразвуковые наблюдения, проводимые ССК, имели своей целью обнаружение ядерных взрывов. Инфразвуковой метод впервые был применен для обнаружения ядерных взрывов в 1947 году в США. В СССР инфразвуковой метод контроля появился в 1954 г. благодаря регистрации длиннопериодным сейсмографом воздушной волны от термоядерного взрыва [1].

После 1958 года вся акустическая сеть обнаружения ядерных взрывов работала под управлением Службы специального контроля, постоянно расширяясь и совершенствуясь. К моменту распада СССР она насчитывала 25 пунктов наблюдения, в каждом из которых имелось не менее 2 инфразвуковых комплексов, состоящих из приемных и регистрирующих устройств, анализаторов-корреляторов и калибровочных устройств, работавших от системы акустического усреднения «паук».

На территории КазССР первые инфразвуковые наблюдения начались в 1958 году на территории Семипалатинского полигона силами одной лаборатории. В 1966 году в связи с ядерными взрывами на китайском полигоне Лобнор были организованы наблюдения на трех выносных пунктах Зайсан, Токты и Бахты. В 1969 году Семипалатинская лаборатория стала центром Среднеазиатской зоны контроля. В нее входили новые лаборатории в поселке Боровое Щучинского района Кокчетавской области. Материалы инфразвуковых наблюдений ССК на данный момент практически недоступны.

Имеется возможность изучать инфразвуковые записи по данным других организаций СССР. Так в Казахстане на территории сейсмической обсерватории Талгар ИФЗ АН СССР в 1962 году был установлен стандартный микробарограф, с регистрацией колебаний на фотобумагу. Он зарегистрировал несколько атмосферных ядерных взрывов, произведенных на полигоне Новая Земля. В архиве КСЭ ИФЗ было найдено 19 записей акустических сигналов от источников на полигоне Новая Земля. На рисунке 1 приведен пример оцифрованной записи ядерного взрыва, произведенного 27 августа 1962 года. Эта запись сделана одиночным микробарографом станции Талгар.

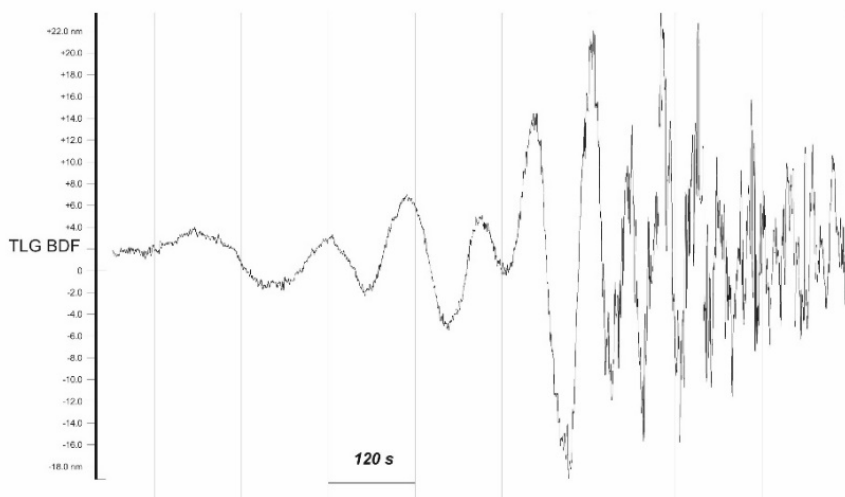


Рисунок 1 – Запись ядерного взрыва, проведенного на полигоне Новая Земля 27 августа 1962 года. Запись оцифрована в КНЦД по аналоговым записям микробарографа станции TLG

Современная сеть станций инфразвукового мониторинга в Казахстане включает в себя три станции – IS31 -Актюбинск, KURIS – Курчатов и MKIAR-Маканчи. К обработке регулярно привлекаются данные российской станции IS46 – Залесово. Станции Актюбинск и Залесово являются станциями Международной системы мониторинга ДВЗЯИ. На рисунке 2 показана схема размещения инфразвуковых станций.

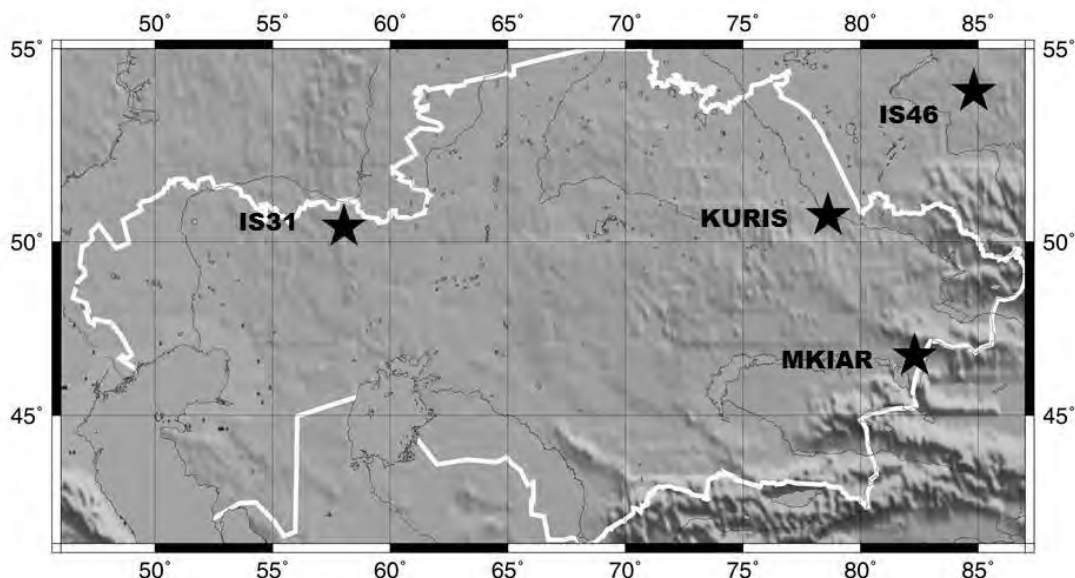


Рисунок 2 – Схема расположения казахстанских инфразвуковых станций. На рисунке также изображена российская инфразвуковая группа IS46

Характеристика современной сети инфразвуковых наблюдений в Казахстане.

Казахстан подписал ДВЗЯИ 30 Сентября 1996 и ратифицировал его 14 мая 2002. Согласно Договору, в Казахстане было предусмотрено строительство нескольких сейсмических и одной инфразвуковой станции МСМ (IS31- Актюбинск) [2]. Станция была построена и начала передавать данные в 2001 г. (рисунок 3). Она расположена в районе поселка Тассай Хромтауского района Актюбинской области. В архиве Казахстанского национального центра данных (KNDC) хранятся данные станции, начиная с декабря 2003 г.

В плане инфразвуковая группа IS31 «Актюбинск» представляет собой треугольник, образованный элементами Н7-Н9, со стороной 2 км и с центральной точкой Н1, окруженной дополнительной группой элементов, выполненной в виде квадрата со стороной около 200 м (Рисунок 3) [3].

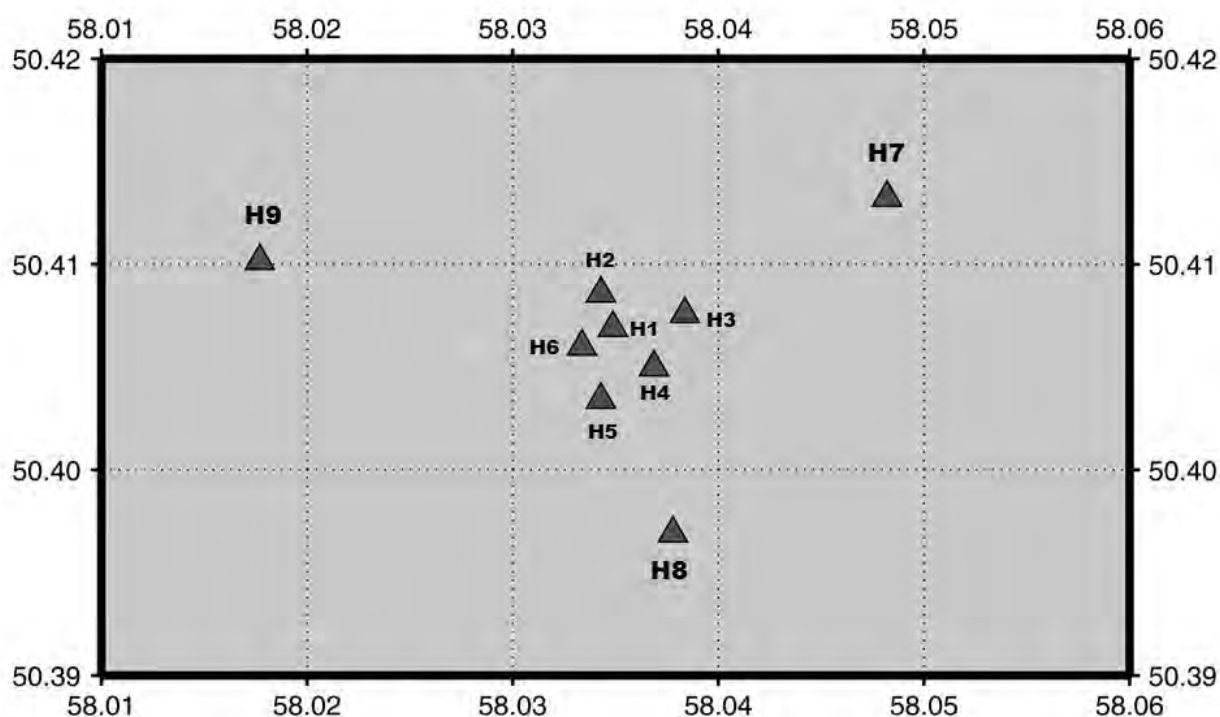


Рисунок 3 – Схема расположения элементов инфразвуковой группы IS31

До осени 2019 года для регистрации на станции использовались инфразвуковые датчики – микробарометры MB2000, которые были установлены в бункерах вместе с дигитайзерами Aubrac. Всего таких приборных сооружений было восемь. Системы Н и L различались конструкциями устройств для подавления ветровых помех. На рисунке 4 слева изображена система шумоподавления на высокочастотных каналах (Н), на рисунке 4 в центре – система шумоподавления низкочастотных каналов (L). Конструкция отдельного входного отверстия элемента группы представлена на рисунке 4 справа. На станции IS31 «Актюбинск» сигнал с выхода микробарометра подается на 24-битный одноканальный АЦП с аутентификатором фирмы Aubrac. Все процессы АЦП синхронизируются со службой точного времени. Для этого используются возможности системы глобального позиционирования (GPS). При обработке инфразвуковых данных очень важна информация о местных погодных условиях. Для непрерывного получения метеоданных, таких, как направление и скорость ветра, температура воздуха и атмосферное давление, вблизи инфразвукового датчика элемента L1 установлена метеостанция.

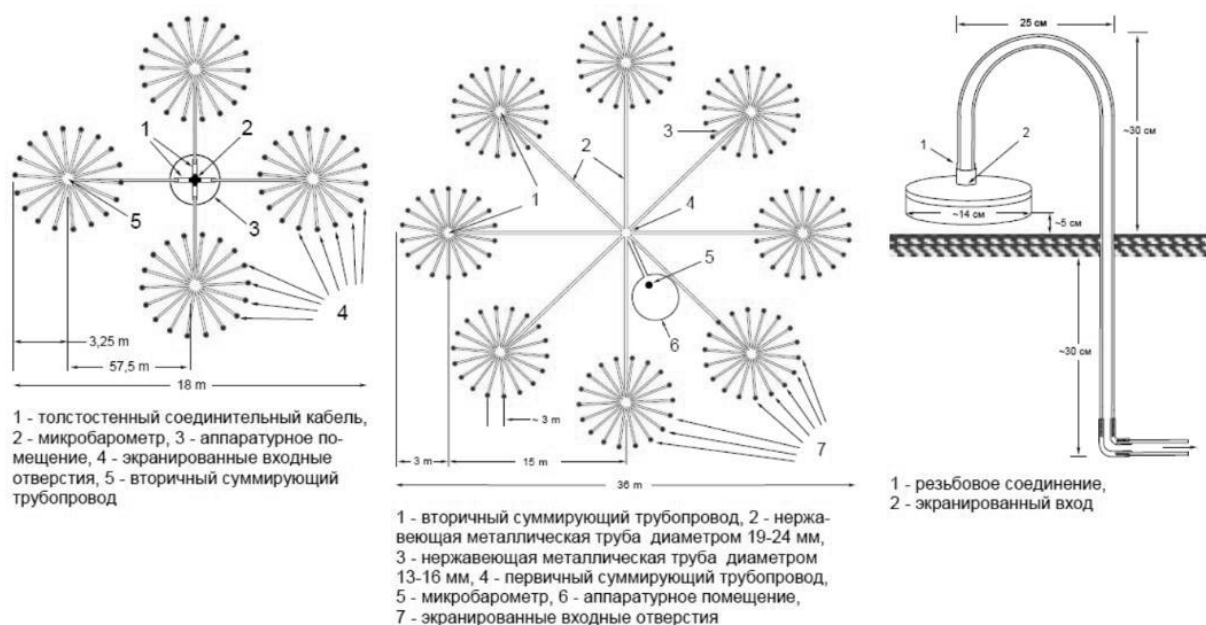


Рисунок 4 – Слева - конструкция устройства шумоподавления высокочастотных каналов. В центре - конструкция устройства шумоподавления низкочастотных каналов, справа - конструкция входного порта

Осенью 2019 года совместно с МСМ ОДВЗЯИ была проведена модернизация станции. Был добавлен еще один девятый элемент, системы подавления ветровых помех были унифицированы. Микробарометры были заменены на МВ-3. На станции установлена новая метеостанция. Частота оцифровки – 20 опросов/сек/канал. Привязка временной шкалы: система GPS. Инфразвуковые данные через оптоволоконную линию передаются в центр сбора информации, затем вместе с сейсмическими данными станции АКТО через спутниковый канал передаются в МЦД.

По данным станции был проведён ряд исследований. Были изучены инфразвуковые сигналы от землетрясений [3], от факелов сжигания попутного газа на нефтегазовом месторождении Жанажол [4], карьерных взрывов [5], океанических штормов [6], взрыва газопровода, запусков ракет с космодрома Байконур [7] и другие. Детектирование сигналов по данным станции IS31 непрерывно ведётся в KNDC в автоматическом режиме, начиная с 2005 г. Детектирование производится с использованием детектора РМСС [8] и специально созданного в KNDC программного обеспечения.

В 2010 году была произведена глубокая модернизация доставшейся ИГИ в наследство от Службы специального контроля СССР инфразвуковой станции «Курчатов» [9]. По сути, была построена новая станция, не уступающая по своим возможностям станциям, входящим в состав МСМ. Начиная с этого момента, в Казахстане появилась возможность не только детектировать и изучать инфразвуковые сигналы, но и локализовать эпицентры их источников. Дело в том, что для локализации источника инфразвукового сигнала недостаточно информации о свойствах его сигнала по данным только одной станции. Необходимо иметь информацию по данным двух и более станций. Впоследствии была налажена автоматическая локализация эпицентров инфразвуковых событий по данным двух казахстанских инфразвуковых групп IS31 и Курчатов, а также российской группы IS46. Станция IS46 Залесово также, как и IS31 Актюбинск, входит в состав МСМ. На рисунке 5 показана схема размещения элементов инфразвуковой группы KURIS - Курчатов.

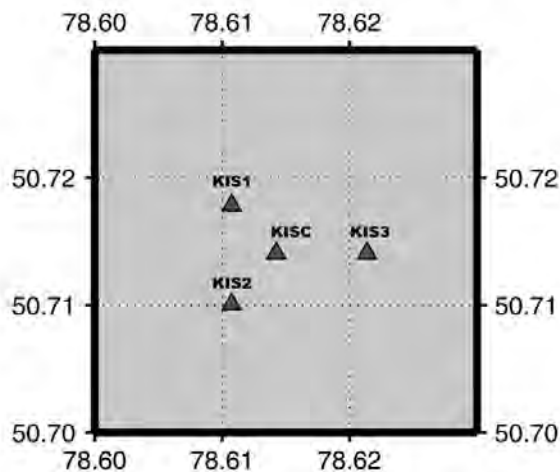


Рисунок 5 – Схема размещения элементов инфразвуковой группы KURIS- Курчатов

В августе 2016 года на востоке Казахстана была открыта новая инфразвуковая группа MKIAR -Мақанчи [10]. На рисунке 6 показана схема размещения элементов этой группы. Её данные уже включены в автоматическую обработку мониторинговой сети. Инфразвуковая группа Мақанчи (MKIAR) размещена в Урджарском районе Восточно-Казахстанской области в 25 км к востоку от поселка Мақанчи, элементы группы расположены внутри превышающей её по апертуре сейсмической группы Мақанчи.

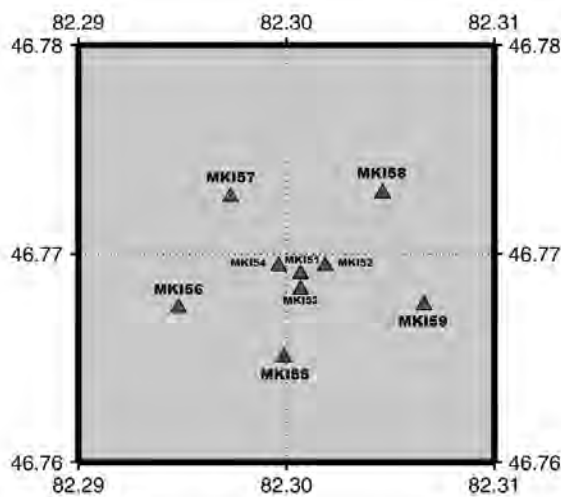


Рисунок 6 – Схема размещения элементов инфразвуковой группы MKIAR – Мақанчи

Геометрически группа представляет собой две концентрические окружности диаметрами около 1 км и 250 метров. Инфразвуковые датчики – микробарометры Chaparral Physics Model 25 - установлены в бункерах вместе с дигитайзерами AIM24S. Всего таких приборных сооружений девять. В плане это центральная станция MKI51, вокруг нее расположены 4 станции, остальные — 5 станций установлены по большому кругу (рисунок 6). Ко входам микробарометров подключены устройства подавления ветровых помех. Ветрозащитные устройства на элементах группы аналогичны 18 - метровым системам, используемым в Курчатове и IS31 [9, 2].

Спектральные характеристики инфразвукового шума. Впервые для инфразвуковых станций Казахстана рассчитаны спектральные кривые шума. Расчет спектральных кривых сейсмического шума производился при помощи программного

обеспечения PQLX [11], созданного для контроля за работоспособностью станций и качеством данных. Были использованы волновые формы от трёх инфразвуковых групп.

Программное обеспечение PQLX состоит из серверной и клиентской частей. При наличии волновых форм и амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) приборов PQLX-сервер вычисляет статистику по трассам, спектральную плотность мощности (PSD) и функции плотности вероятности (PDF), помещая результаты в базу MySQL для быстрого доступа к результатам расчета. Волновые формы по инфразвуковым станциям были представлены в формате Mini-seed, АЧХ - в формате seed Response.

PQLX client используется для доступа к результатам и включает графическую оболочку, состоящую из 3-х частей:

1. Trace Viewer: позволяет просматривать трассы, применять фильтры и вычислять спектры.

2. PDF Viewer: предоставляет доступ к информации PSD и PDF в базе данных. PDF визуализируется с использованием предустановленного пользователем временного окна.

3. Station Viewer: после подключения к базе данных визуализирует статистику трасс (минимальные и максимальные значения, интервалы отсутствия данных и. т. п.), информацию о наличии волновых форм и PDF. Волновые формы не хранятся в базе MySQL и должны быть доступны через файловую систему или Веб сервис.

Спектральные кривые инфразвукового шума были построены по инфразвуковым группам IS31, Курчатов и Маканчи за один летний и один зимний месяц 2017 года. Для представления в виде функций плотности вероятности рассчитывались наборы кривых спектральной плотности мощности инфразвукового шума за месяц, в окне длиной 1 час, с перекрытием 50 процентов. Примеры результатов расчетов инфразвукового шума для станции IS31 -Актюбинск приведены на рисунках 7,8.

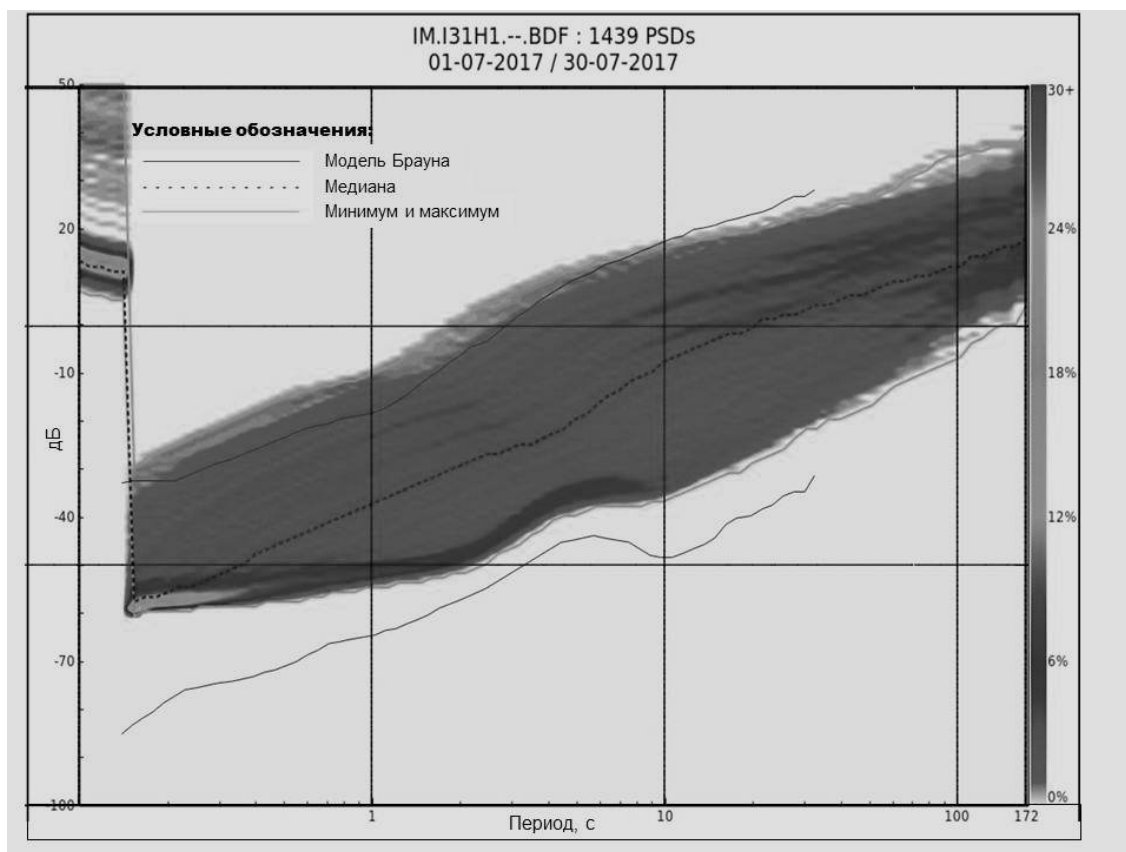


Рисунок 7 – Результаты расчётов спектральных характеристик инфразвукового шума по станции IS31 элемент N1 за июль 2017 года

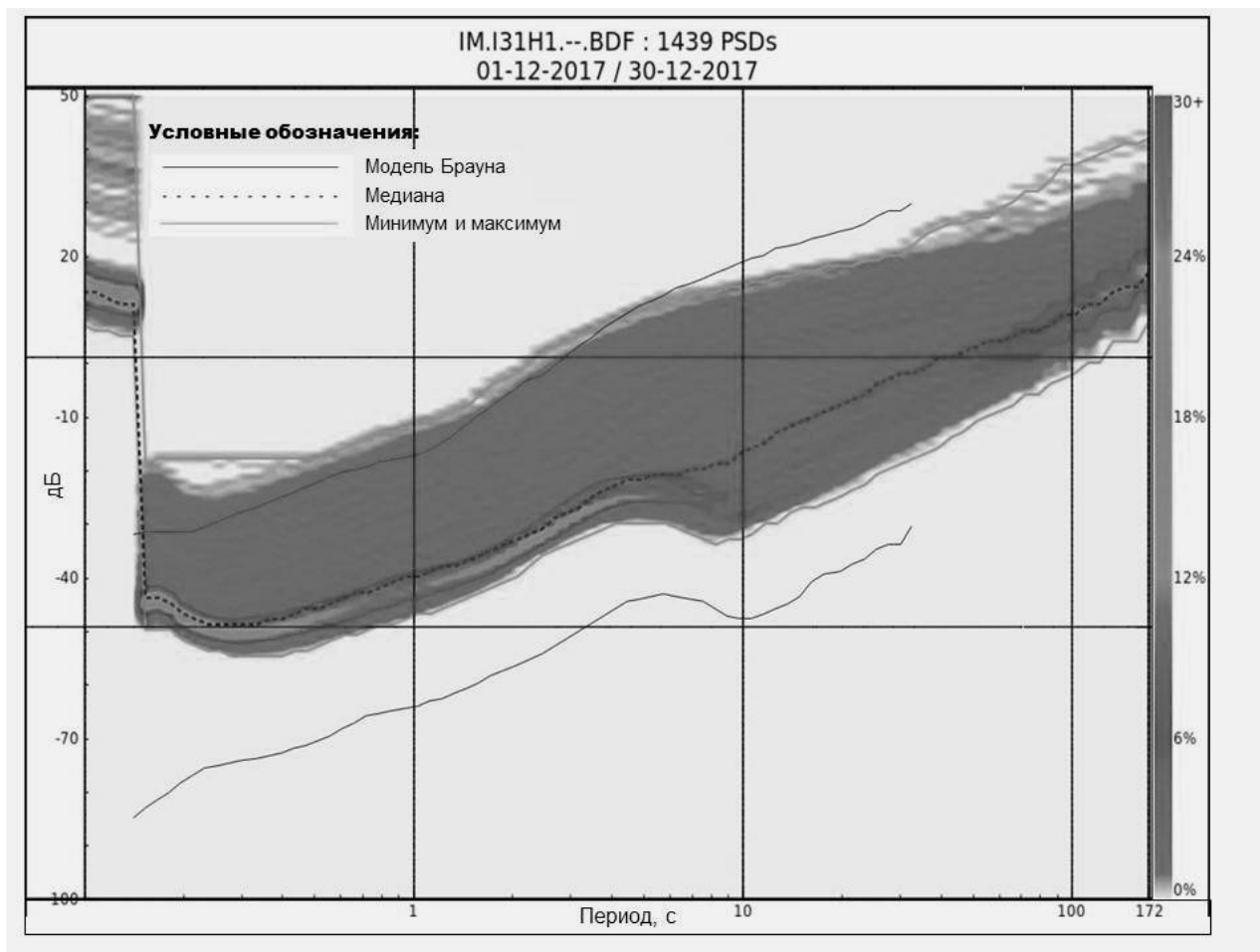


Рисунок 8 – Результаты расчётов спектральных характеристик инфразвукового шума по станции IS31 элемент Н1 за декабрь 2017 года

Расчет спектральных кривых инфразвукового шума производился аналогично тому, как это делалось для сейсмических станций. Поскольку ПО PQLX не приспособлено по умолчанию для обработки инфразвуковых записей, была произведена соответствующая адаптация. Вместо встроенных в ПО мировых моделей сейсмического шума Петерсона были использованы модели инфразвукового шума Брауна [12].

Анализ и сравнение характеристик инфразвукового шума показали, что для всех групп есть ряд общих черт в спектральных характеристиках:

1. Для всех станций в летнее время микробарометрический пик в полосе частот (0.1 – 0.4 Гц) почти не прослеживается;
2. Для всех станций в зимнее время микробарометрический пик четко выражен, его абсолютное значение близко к нижнему уровню модели Брауна;
3. Абсолютный уровень инфразвукового шума в микробарометрической полосе частот (0.1 – 0.4 Гц) понижается по мере удаления станции от источников микробаром в северной Атлантике;
4. Для всех станций уровень шума в дневное время выше, чем в ночное.

Наблюдаемое изменение абсолютных значений уровня микробарометрического шума от лета к зиме и по территории Казахстана полностью соответствует результатам наблюдения и моделирования микробаром [13]. В то же время в области коротких периодов на каждой станции наблюдаются индивидуальные, только ей присущие особенности.

Литература

1. Васильев А.П. К истории возникновения инфразвукового метода обнаружения ядерных взрывов // Вестник НЯЦ РК. 2004. Вып. 2. С. 42-47.
2. Демин В.Н., Кунаков В.Г., Смирнов А.А. Новая инфразвуковая станция международной системы мониторинга в Казахстане IS31- «Актюбинск» // Вестник НЯЦ РК. 2002. Вып. 2. С. 14-18.
3. Смирнов А.А. Анализ записей Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 г., полученных сейсмическими и инфразвуковыми станциями НЯЦ РК // Вестник НЯЦ РК. 2005. Вып. 2. С. 53-61.
4. Смирнов А.А., Дубровин В.И. Идентификация группы факелов сжигания попутного газа как уникального источника инфразвука по данным станции IS31 – Актюбинск // Вестник НЯЦ РК. 2006. Вып. 2. С. 92-96.
5. Эверс Л., Смирнов А.А., Аристова И.Л. Изучение влияния состояния атмосферы на прохождение инфразвуковых волн на основе сейсмоакустического анализа сигналов карьерных взрывов в районе станции IS31 – Актюбинск // Вестник НЯЦ РК. 2007. Вып. 2. С. 38-43.
6. Смирнов А.А., Дубровин В.И., Эверс Л. Объяснение природы источников когерентных низкочастотных сигналов, регистрируемых мониторинговой сетью НЯЦ РК // Вестник НЯЦ РК. 2010. Вып. 3. С. 76-81.
7. Дубровин В.И., Смирнов А.А. Идентификация источников инфразвуковых сигналов // Вестник НЯЦ РК. 2008. Вып. 3. С. 85-89.
8. Смирнов А.А., Жумагазыулы Э. Детектирование и оценка инфразвуковых сигналов в автоматическом режиме // Вестник НЯЦ РК. 2005. Вып. 4. С. 90-95.
9. Беляшов А.В., Донцов В.И., Дубровин В.И., Кунаков В.Г., Смирнов А.А. Новая инфразвуковая группа «Курчатов» // Вестник НЯЦ РК. 2013. Вып. 2. С. 24-30.
10. Дубровин В.И., Смирнов А.А. Новая инфразвуковая группа Маканчи и ее возможности в регистрации сигналов от различных источников // Вестник НЯЦ РК. 2018. Вып. 3. С. 63.
11. PQLX (PASSCAL Quick Look eXtended) is open-source software for evaluating seismic station performance and data quality. URL: <https://ds.iris.edu/ds/nodes/dmc/software/downloads/pqlx/2011365p4/>
12. Brown, D., Ceranna, L., Prior, M. et al. The IDC Seismic, Hydroacoustic and Infrasound Global Low and High Noise Models // Geophys. Pure Appl. 2014. 171. P. 361–375.
13. Smirnov, A., De Carlo, M., Le Pichon, A., Shapiro, N. M., and Kulichkov, S. Characterizing the oceanic ambient noise as recorded by the dense seismo-acoustic Kazakh network // Solid Earth, Vol. 12, P. 503–520.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТЕЙ ПАЛЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАЛВАНТАШ

Жураев Ф.Ф.¹, Имомкориев Б.М.²
farruxgeolog@mail.ru

¹Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений, г. Ташкент,
Республика Узбекистан

²Госкомгеологии Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан

В статье приведены основные результаты по изучению физико-химических показателей нефтей палеогеновых отложений месторождения Палванташ.

Ключевые слова: палеоген, физико-химические характеристики, месторождение, нефть.

Введение. Для научного обоснования разведки и рационального освоения нефтяных и газоконденсатных месторождений все большее значение приобретают геохимические исследования пластовых флюидов. Особое внимание уделяется качеству нефтей для их максимального и комплексного использования. В связи с этим является актуальным изучение физико-химических показателей, с применением комплекса методов, с целью прогноза качества углеводородов флюидов на структурах, подготовленных и находящихся в поисковом бурении.

Структура Палванташ была выявлена в 1934 году инструментальной геологической съемкой. В 1942 году начато бурение поисковой скважины №1, при испытании которой в 1943 г. Получен фонтан нефти дебитом до 50 т/сут. В разряд месторождений структура введена в 1943 году. Промышленная нефтеносность была установлена в горизонтах III, IV, V, VI, VII, VIII палеогена (таблица 1) [1].

Результаты работ. Нефть месторождения Палванташ скв. №26 инт. перф. 582-601м V горизонта палеогеновых отложений легкая (0,849 г/см³), низкосернистая (0,23%), смолистая (5,3%), высокопарафинистая (6,8%), бензиновая (22%). (рис. 1, 2)

Нефть палеогеновых отложений V горизонта месторождения Палванташ скв. №80 гл. 710м легкая (0,849 г/см³), низкосернистая (0,23%), смолистая (6,9%), высокопарафинистая (6,8%), бензиновая (22%).

Нефть палеогеновых отложений IV горизонта месторождения Палванташ скв. №122 инт. перф. 589-604м среднетяжелая (0,877 г/см³), низкосернистая (0,41%), высокосмолистая (11,6%), высокопарафинистая (10,4%), среднебензиновая (14,4%), метано-нафтеново-ароматического типа (M=58,0%; H=28,5%; A=13,5%).

Таблица 1 – Физико-химических показателей нефтей палеогеновых отложений месторождения Палванташ

Месторождение	№ скв	горizont	Инт. перф., м	Плотность г/см ³	Содержание, %				Выход б.ф. до 200 ⁰ С, %	Групповой УВ состав, %			Тип ГУВ С
					сера	смол	асф.	пар аф.		А	Н	М	
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
Палванташ	26	V	582-601	0,849	0,23	5,3	1,0	6,8	22	-	-	-	-
Палванташ	80	V	710	0,849	0,23	6,9	1	6,8	22	17	32	51	МНА
Палванташ	122	IV	589-604	0,877	0,41	11,6	2,05	10,4	14,4	13,5	28,5	58,0	МНА
Палванташ	128	VI	669-697	0,858	0,31	2,9	1,0	7,2	23	-	-	-	-
Палванташ	148	VI	681-703	0,858	0,31	2,9	1	7,2	23	18	38	44	МНА
Палванташ	199	VIII	891-911	0,880	0,32	5,5	1,1	4,8	22,3	21,5	25,2	53,3	МНА
Палванташ	205	III	291-297	0,874	0,18	6,2	3,1	7,1	23	9	49	42	НМА
Палванташ	207	VII	650-659	0,849	0,22	1,9	0,7	6,4	24	-	-	-	-

Нефть палеогеновых отложений VI горизонта месторождения Палванташ скв. №128 инт. перф. 669-697м среднетяжелая (0,858 г/см³), низкосернистая (0,31%), малосмолистая (2,9%), высокопарафинистая (7,2%), бензиновая (23%).

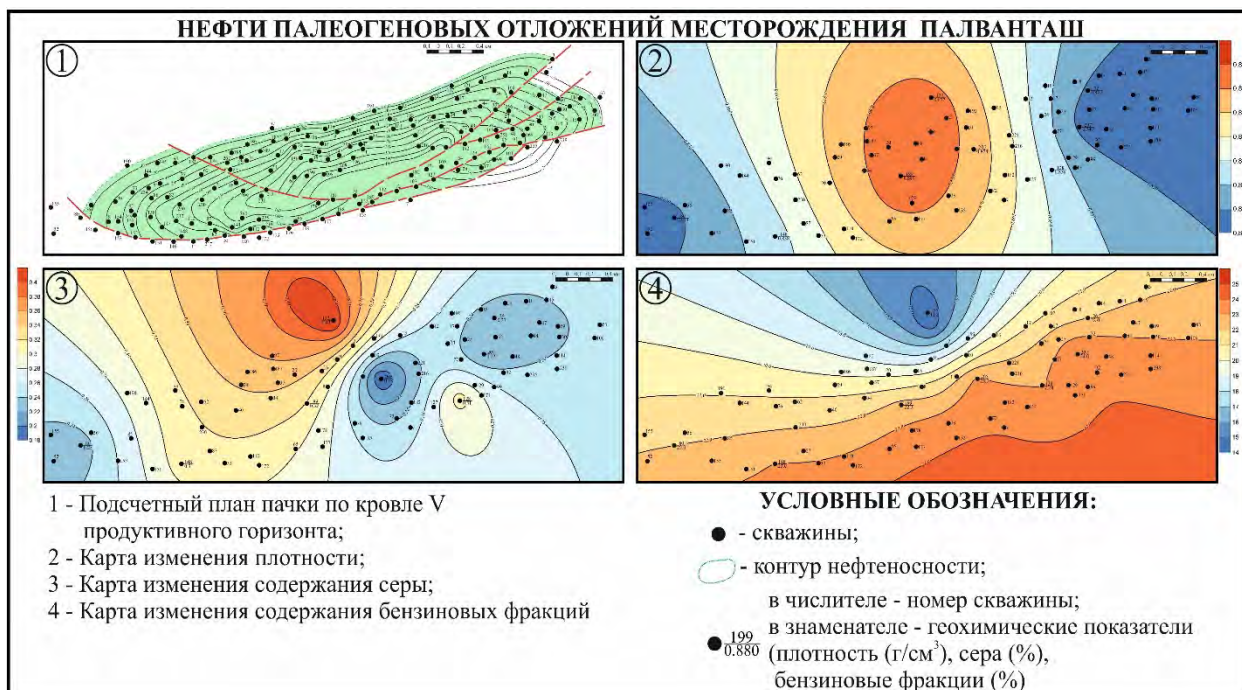


Рисунок 1 – Карта изменения физико-химических показателей нефтей палеогеновых отложений месторождения Палванташ

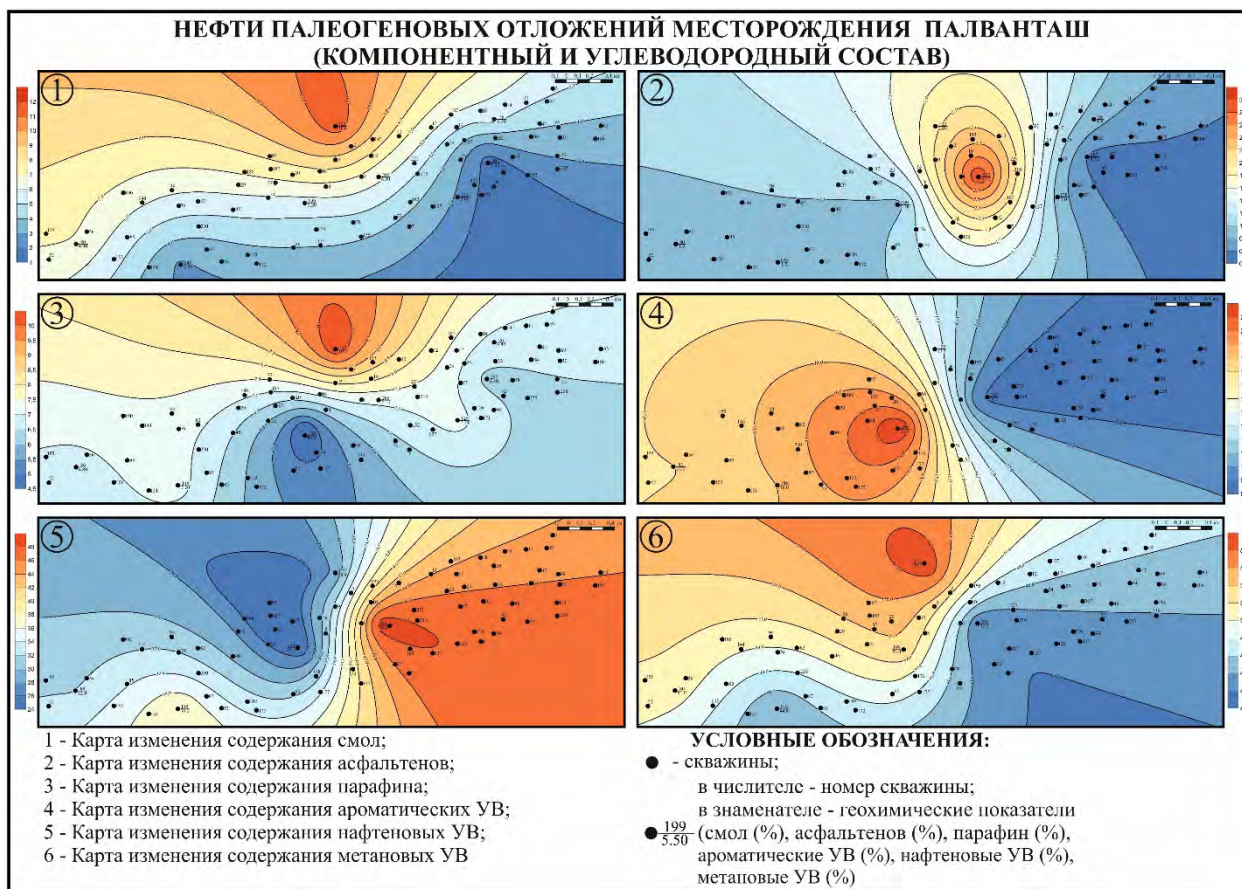


Рисунок 2 – Карта изменения компонентного и углеводородного состава нефтей палеогеновых отложений месторождения Палванташ

Нефть месторождения Палванташ скв. №148 инт. перф. 681-703м VI горизонта палеогеновых отложений среднетяжелая (0,858 г/см³), низкосернистая (0,31%), малосмолистая (2,9%), высокопарафинистая (7,2%), бензиновая (23%), метано-нафтеново-ароматического типа (M=44%; H=38%; A=18%).

Нефть месторождения Палванташ скв. №199 инт. перф. 891-911м VIII горизонта палеогеновых отложений среднетяжелая (0,880 г/см³), низкосернистая (0,32%), смолистая (5,5%), парафинистая (4,8%), бензиновая (22,3%), метано-нафтеново-ароматического типа (M=53,3%; H=25,2%; A=21,5%).

Нефть месторождения Палванташ скв. №205 инт. перф. 291-297м III горизонта палеогеновых отложений среднетяжелая (0,874 г/см³), низкосернистая (0,18%), смолистая (6,2%), высокопарафинистая (7,1%), бензиновая (23%), нафтено-метаново-ароматического типа (H=49%; M=42%; A=9%).

Нефть месторождения Палванташ скв. №207 инт. перф. 650-659м VII горизонта палеогеновых отложений легкая (0,849 г/см³), низкосернистая (0,22%), малосмолистая (1,9%), высокопарафинистая (6,4%), бензиновая (24%).

На основе вышеизложенного, можно сделать следующие выводы: Нефти палеогеновых отложений месторождения Палванташ относятся к категории среднетяжелые, низкосернистых, высокопарафинистых, смолистых. Средняя плотность нефти – 0,849-0,880 г/см³. Массовая доля компонентов в нефти составляет (%): серы 0,18-0,41; парафинов 4,8-10,4; асфальтенов 0,7-3,1; смол 1,9-11,6.

Литература

1. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н., Эйдельмант Н.К. Месторождения нефти и газа Республики Узбекистан. Ташкент: Zamin Nashr. 2019. 820 с.
2. Богомоллов А.И., Темянка М.Б., Хотынцева Л.И. Современные методы исследования нефтей. Справочно-методическое пособие. М.: Недра. 1984. 212 с.
3. Геохимия нефтей и органического вещества пород нефтегазоносных провинций и областей СССР / Л.А. Анищенко, М.М. Федоришин, Н.С. Шулова и др. М.: Недра. 1983. С. 81-86. (Труды ВНИГНИ. Вып. 244).
4. Кадырова Д.К., Алиев У.Б., Парпиев М.В. Геохимические особенности изменения состава нефтей неогеновых, палеогеновых и меловых отложений южной, юго-восточной и юго-западной частей Ферганской впадины // Нефтегазогеологическая наука Узбекистана и роль молодёжи в решении её проблем. Материалы науч. конф. Ташкент. 2015. С. 80-83.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАРТАХ
СУММАРНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ (НА
ПРИМЕРЕ ДАННЫХ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ БИШКЕКСКОГО
ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА)**

Забинякова О.Б.
perah.92@inbox.ru

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

В работе представлены результаты построения карт распределения суммарной продольной электрической проводимости для части территории Бишкекского геодинамического полигона (Северный Тянь-Шань). Построение карт выполнено на основе двумерных геоэлектрических моделей, полученных в результате интерпретации магнитотеллурических данных, наблюдаемых вдоль профилей Кара-Балта, Сокулук, Серафимовка и Туяк. Приведены примеры использования карт распределения суммарной продольной электрической проводимости при сопоставлении с данными сейсмологических наблюдений.

Ключевые слова: магнитотеллурические данные, суммарная продольная электрическая проводимость, Бишкекский геодинамический полигон, Северный Тянь-Шань, сейсмологические наблюдения

Введение. Метод магнитотеллурического зондирования (МТЗ), известный как один из широко востребованных глубинных методов электроразведки, основан на изучении вариаций естественного электромагнитного поля Земли [1, 2]. Более тридцати лет метод МТЗ активно применяется учеными Научной станции РАН для изучения геоэлектрических особенностей Тянь-Шаня как на локальном [3-7], так и на региональном [3, 6, 8-11] масштабных уровнях, а также для мониторинговых наблюдений этого сейсмоактивного региона [12-16].

Интерпретация магнитотеллурических данных (МТ-данных) в рамках двумерных моделей чаще всего сводится к анализу глубинного распределения удельного электрического сопротивления вдоль линии МТ-профиля [3-16]. Значительно реже используется альтернативный подход к геолого-геофизическому анализу соответствующих геоэлектрических моделей, основанный на применении пространственной функции суммарной продольной электрической проводимости, которая позволяет получать интегральную характеристику для интересующих глубинных интервалов [1, 7, 8, 17].

В работе [18] рассматривалось построение геоэлектрических моделей вдоль нескольких магнитотеллурических профилей, располагающихся на территории Бишкекского геодинамического полигона (БГП, зона сочленения Чуйской впадины и Киргизского хребта, Северный Тянь-Шань). Особенностью этой статьи стало апробирование применимости метода L-кривой для выбора квазиоптимального параметра тихоновской регуляризации при выполнении двумерной инверсии профильных МТ-данных, а также была подтверждена справедливость использования значения параметра тихоновской регуляризации, равного 3, для территории Северного Тянь-Шаня. Данная работа является продолжением исследований, начатых в статье [18], и предполагает применение полученных там двумерных геоэлектрических моделей вдоль МТ-профилей Кара-Балта, Сокулук, Серафимовка и Туяк при построении карт распределения суммарной продольной электрической проводимости для разных глубинных интервалов. Также в работе рассматриваются примеры сопоставления таких карт с данными сейсмологических наблюдений.

Используемые МТ-данные. Исходными данными, используемыми в работе, являются двумерные геоэлектрические модели глубинных разрезов вдоль субмеридиальных МТ-профилей Кара-Балта, Сокулук, Серафимовка и Туяк, полученные независимо друг от друга в [18]. На рисунке 1 изображена карта расположения МТ-профилей на территории БГП, на рисунке 2 представлены соответствующие этим профилям модели двумерного распределения удельного электрического сопротивления, а в таблице – основные характеристики этих моделей и профилей.

Таблица – Основная информация о МТ-профилях

Профиль	Длина профиля	Количество пунктов зондирований	Размерность 2D модели (количество ячеек)	
			по горизонтали, вдоль линии профиля	по вертикали, в глубину
Кара-Балта	~ 17 км	11	111	127
Сокулук	~ 27 км	11	87	41
Серафимовка	~ 15 км	13	109	127
Туяк	~ 16 км	24	239	60

Ввиду того, что количественная интерпретация профильных МТ-данных осуществлялась по отдельности для каждого профиля, на совмещенном рисунке 2, имитирующем квазитрехмерную модель геологической среды, можно заметить некоторые несоответствия, например, в формах и размерах выделяемых аномальных объектов, что, в принципе, имеет место в резко неоднородных условиях горного Тянь-Шаня. При этом отметим, что, например, сохраняется общая тенденция наличия корового проводящего объекта, вытянутого в широтном направлении, в диапазоне глубин до 15 км, что согласуется с геологическими характеристиками рассматриваемого района, описанными в работах [6, 8]. Обратим внимание, что с геологическим очерком рассматриваемой территории в подробных деталях можно ознакомиться в работе [6], а методика осуществления полевых наблюдений и интерпретации МТ-данных, принятые в ИС РАН, подробно изложены в работах [6, 16, 19, 20].

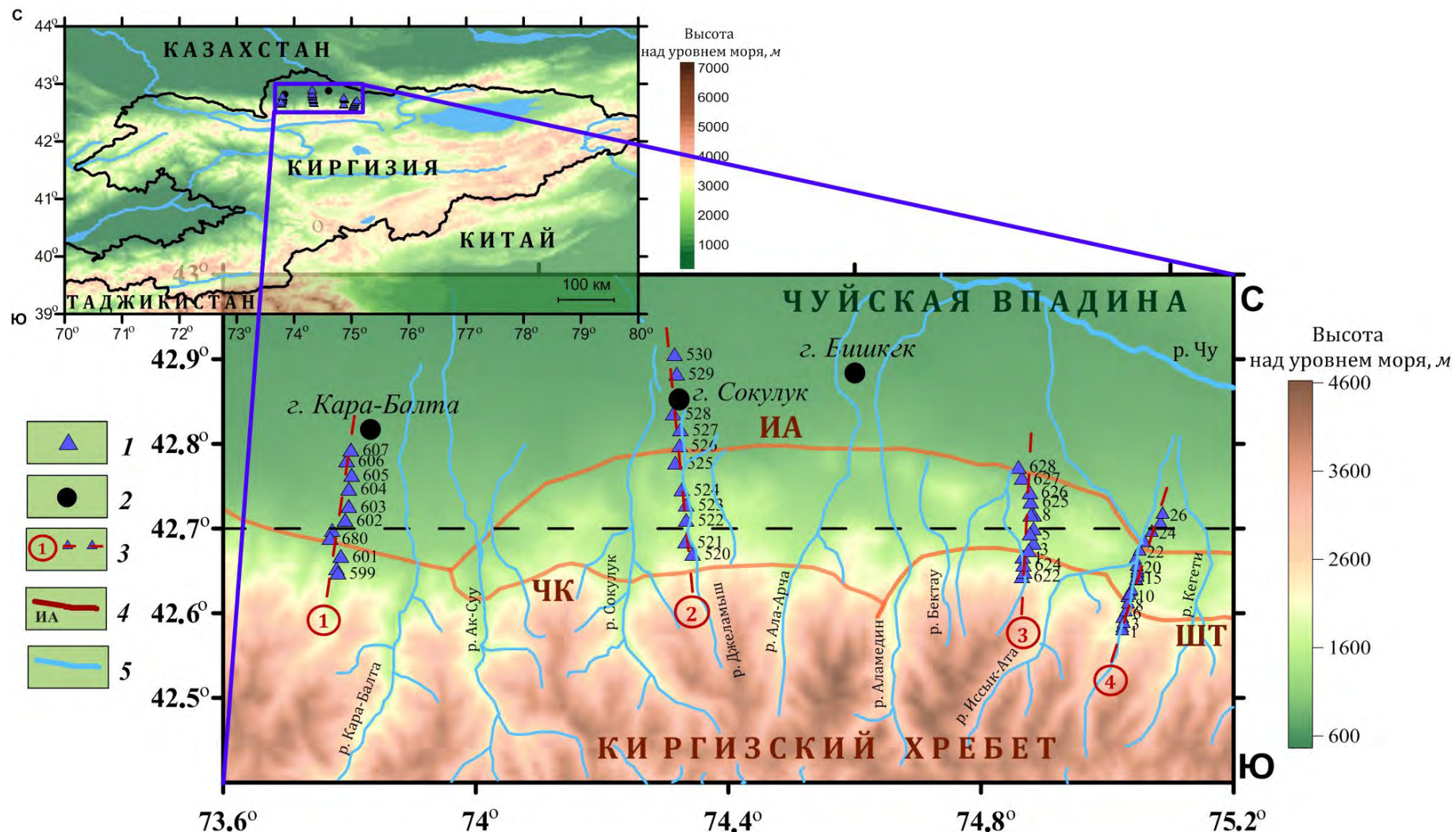


Рисунок 1 – Карта-схема расположения БГП и магнитотеллурических профилей Кара-Балта, Сокулук, Серафимовка и Туук: 1 – пункт магнитотеллурического профиля; 2 – крупные города; 3 – МТ-профиль; 4 – разломы (Рыбин, 2011): ИА – Исык-Атинский, ШТ – Шамси-Тюндюкский, ЧК – Чонкурчакский; 5 – реки

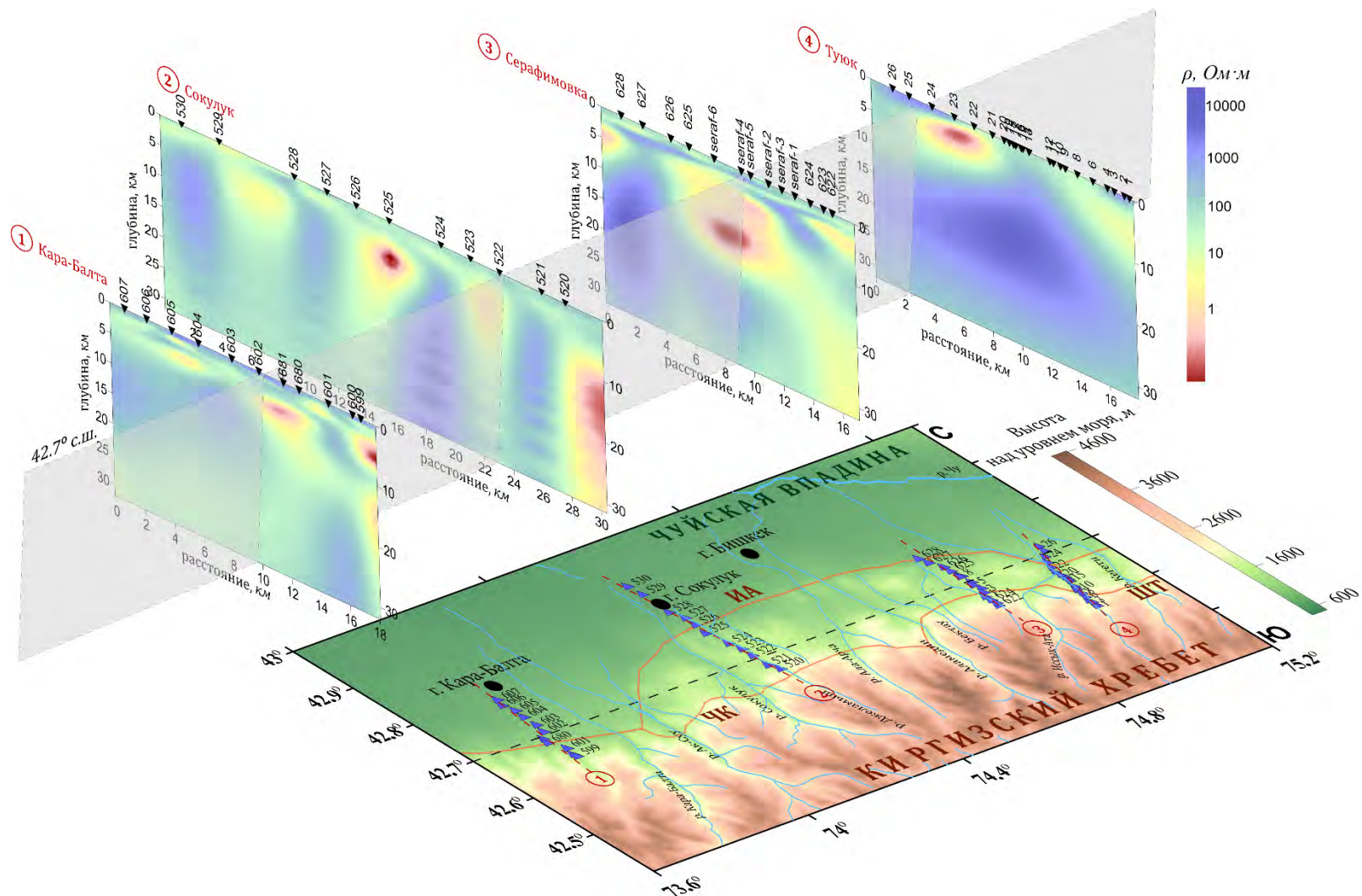


Рисунок 2 – Карта зоны сочленения Чуйской впадины и Киргизского хребта и геоэлектрические модели, полученные в результате 2D инверсии профильных МТ-данных [18]. Распределение удельного электрического сопротивления (ρ , Ом·м) отображено с помощью соответствующей цветовой шкалы. Черные пронумерованные треугольники в верхних частях разрезов отображают места расположения пунктов зондирования на спрямленных линиях МТ-профилей.

Суммарная продольная электрическая проводимость. Согласно [1, 2], для напластования, состоящего из m горизонтально-однородных слоев с известными сопротивлениями $\rho_1, \rho_2, \dots, \rho_i, \rho_m$ и известными мощностями $h_1, h_2, \dots, h_i, h_m$, продольная электрическая проводимость может быть вычислена по формуле

$$S = \sum_{i=1}^m S_i = \sum_{i=1}^m \frac{h_i}{\rho_i},$$
 в предположении, что электрический ток течет вдоль этого

напластования; единицей измерения для величины S является сименс (См). Этот подход заложен в основу сервисного программного комплекса *MTLECCalc*, разработанного в ИС РАН и используемого для определения профильного распределения суммарной продольной проводимости S [21]. *MTLECCalc* в автоматизированном режиме позволяет строить профильные кривые S для различных глубинных интервалов, определять точечные значения этого распределения непосредственно в пунктах магнитотеллурических наблюдений и сохранять эти данные в общедоступном формате excel-файлов. Далее, значения S , полученные для МТ-пунктов всех рассматриваемых профилей, компилируются в один массив данных, содержащих информацию о названии пункта, его географических координатах и значении суммарной продольной проводимости для рассматриваемого глубинного слоя. Следующим шагом выполняется интерполяция пространственной функции S на двумерной сетке в заданной прямоугольной области, что, в итоге, и позволяет получать соответствующую карту распределения суммарной продольной проводимости, характеризующую определенный глубинный интервал.

Общее количество МТ-пунктов, соответствующих профилям Кара-Балта, Сокулук, Серафимовка и Туяк, рассматриваемым в данной работе, равно 59 – по данным в этих пунктах выполнялось построение карт распределения S , показанных в следующем разделе. Также обратим внимание, что ввиду локального характера рассматриваемых МТ-профилей, построение и анализ карт распределения суммарной продольной проводимости для больших глубин не целесообразны, поэтому в данной работе будем ограничиваться глубинами до 25 км. Дополнительно отметим, что так как построение карт распределения S осуществляется на прямоугольной области, а значения этого распределения известны только в ограниченном количестве внутренних точек области интерполяции, в краевых частях получаемых карт возникают искажающие реальную картину эффекты, что, разумеется, должно учитываться при выполнении интерпретации получаемых результатов.

Карты распределения суммарной продольной электрической проводимости для территории БГП. Очевидно, что глубинные интервалы, фиксируемые для построения карт распределения значений S , могут быть различными в зависимости от решаемой геолого-геофизической задачи. В рамках данного раздела статьи предполагается рассмотрение взаимосвязи распределения суммарной продольной электрической проводимости с данными пространственного распределения гипоцентров сейсмических событий разных энергетических классов для территории Бишкекского геодинамического полигона.

Наряду с магнитотеллурическими исследованиями, более тридцати лет сотрудники Научной станции РАН осуществляют непрерывные сейсмологические наблюдения на территории Тянь-Шаня с помощью киргизской сейсмологической сети KNET [16, 23, 24] – схема расположения приемных станций этой сети изображена на рисунке 3. Анализ взаимосвязи аномалий электропроводности и режима сейсмичности (по данным различных сейсмологических сетей, в том числе и KNET) литосферы Тянь-Шаня посвящено большое количество работ. Так, в работе [25] приведены результаты сопоставления геоэлектрических особенностей среды, полученных по наблюдаемым вдоль трансекта NARYN магнитотеллурическим данным (трансект NARYN – МТ-профиль, располагающийся вдоль меридиана 76° в.д., протяженностью около 450 км, секущий Центральный Тянь-Шань вкост простирающихся основных структур), и пространственного положения гипоцентров землетрясений с энергетическим классом $K > 9$ вдоль этого трансекта (по данным каталогов сети KNET). Одним из результатов этой работы является вывод о том, что наибольшее

количество очагов рассмотренных сейсмических событий расположено внутри и вдоль границ высокоомных объектов. Аналогичное сопоставление выполнено и в работе [26] для модели вдоль МТ-профиля Саруу (южный берег озера Иссык-Куль, ущелье Саруу) и данных распределения сейсмичности из каталога землетрясений Института сейсмологии Национальной академии наук Киргизской Республики (ИС НАН КР) вблизи этого профиля. Один из основных выводов указанной работы заключается в следующем: «... отмечена значительная концентрация очагов землетрясений в зоне высокого сопротивления ..., выявлена область пониженной сейсмической активности, отвечающая мощной проводящей зоне». В статье [11] по МТ-данным, наблюдаемым вдоль профиля ТРАGE-ALAI, построена двумерная геоэлектрическая модель литосферы Памиро-Алайской зоны и выполнен анализ взаимосвязи основных объектов этой модели с сейсмическими особенностями исследуемой области (по данным сейсмологической сети ИС НАН КР). В работе установлено, что очаги землетрясений локализируются, в основном, в пределах высокоомного слоя, а также замечено, что границы между зонами с контрастными геоэлектрическими свойствами могут являться областями повышенной сейсмической активности.

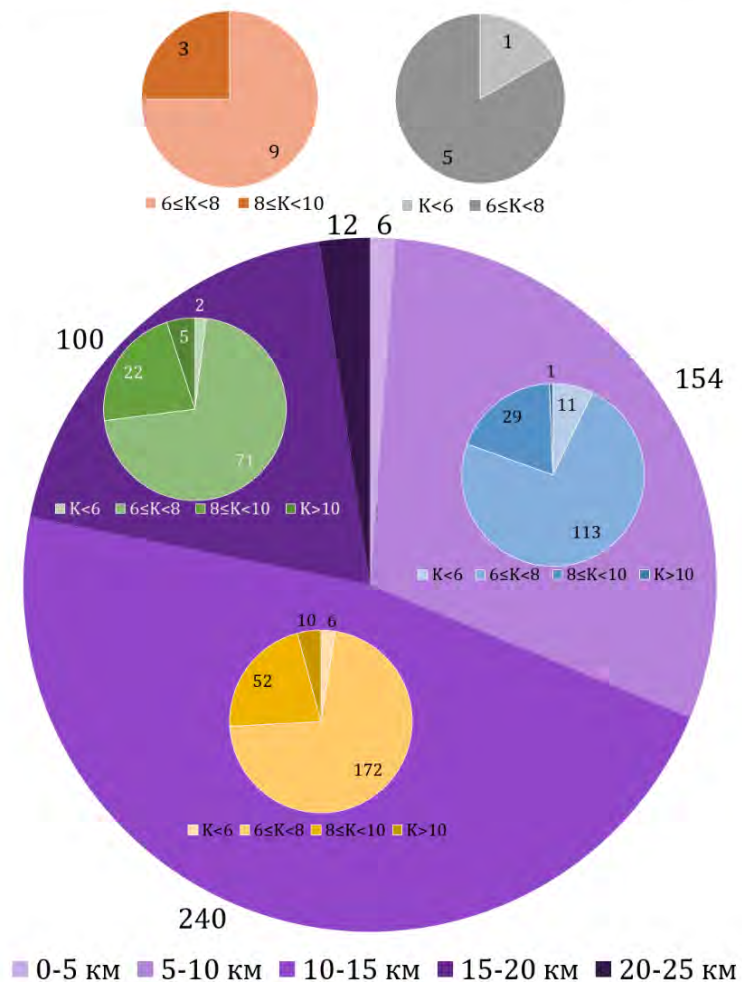
Обратим внимание, что во всех вышеуказанных примерах осуществлялось сопоставление сейсмических данных с двумерными моделями распределения удельного электрического сопротивления вдоль линий МТ-профилей. В данной же работе приведем примеры применения карт распределения суммарной продольной проводимости для такого анализа.

Для сопоставления использовались данные сейсмологической сети KNET за период с января 2016 г. по октябрь 2021: в указанный период всего было зарегистрировано 2744 сейсмических события на территории, ограниченной северными широтами $40,1^\circ$ и $44,9^\circ$ и восточными долготами $71,2^\circ$ и $78,9^\circ$. Из них в рассматриваемую в данной работе область ($42,4^\circ - 43^\circ$ с.ш. и $73,6^\circ - 75,2^\circ$ в.д.) попали 512 событий, которые были разделены на группы в соответствии с глубинами залегания гипоцентров (0–5 км, 5–10 км, 10 – 15 км, 15 – 20 км, 20 – 25 км) и величинами энергетических классов ($K < 6$, $6 \leq K < 8$, $8 \leq K < 10$, $K \geq 10$). Основная информация о пространственно-глубинном распределении сейсмических событий между указанными группами приведена на рисунке 3. Отметим следующее: гипоцентры всех событий, произошедших в указанный период времени, залегают на глубинах до 25 км; наибольшее число событий характеризуются глубиной залегания гипоцентров в слое 10 – 15 км и энергетическим классом $6 \leq K < 8$, что согласуется с законом Гутенберга-Рихтера.

На рисунке 4 сопоставлены карты распределения суммарной продольной проводимости и пространственное распределение очагов землетрясений для глубинных интервалов 0–5 км, 5–10 км, 10–15 км, 15–20 км, 20–25 км. Видно, что области с повышенной плотностью сейсмических событий, в большинстве своем тяготеющие к Шамси-Тюндюкскому и Чонкурчакскому разломам, характеризуются глубиной залегания гипоцентров в интервале 5–20 км и преимущественно приурочены к зонам пониженной электрической проводимости ($\sim 1-100$ См). Этот результат хорошо согласуется с выводами, сделанными в работах [8, 11, 25, 26].

Распределения сейсмических событий по глубинам залегания гипоцентров и энергетическим классам

А



Б

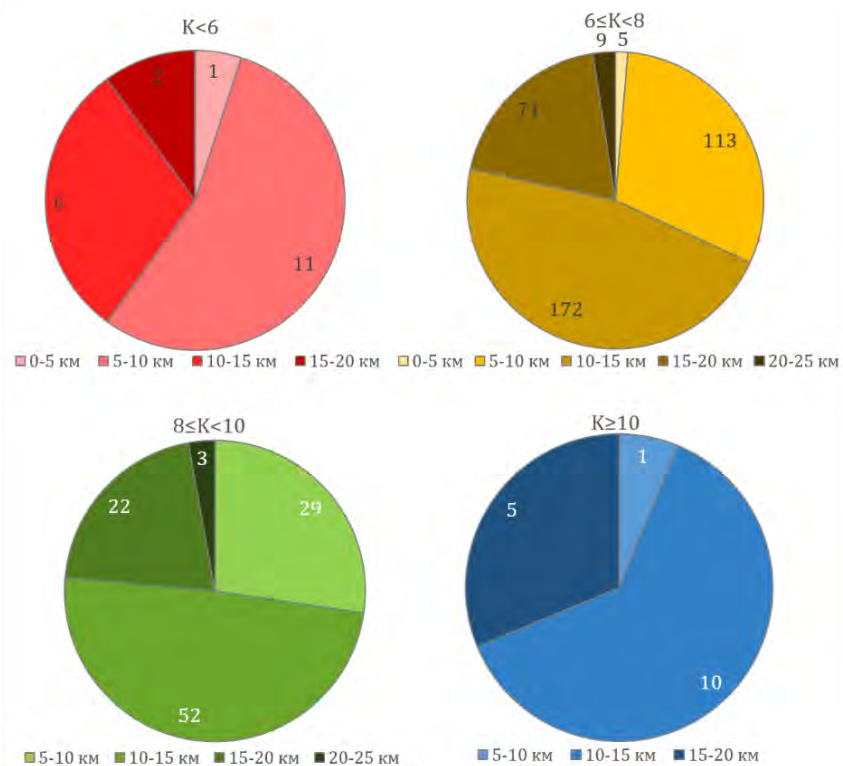


Рисунок 3 – Количественное распределение сейсмических событий по глубинам залегания гипоцентров и энергетическим классам

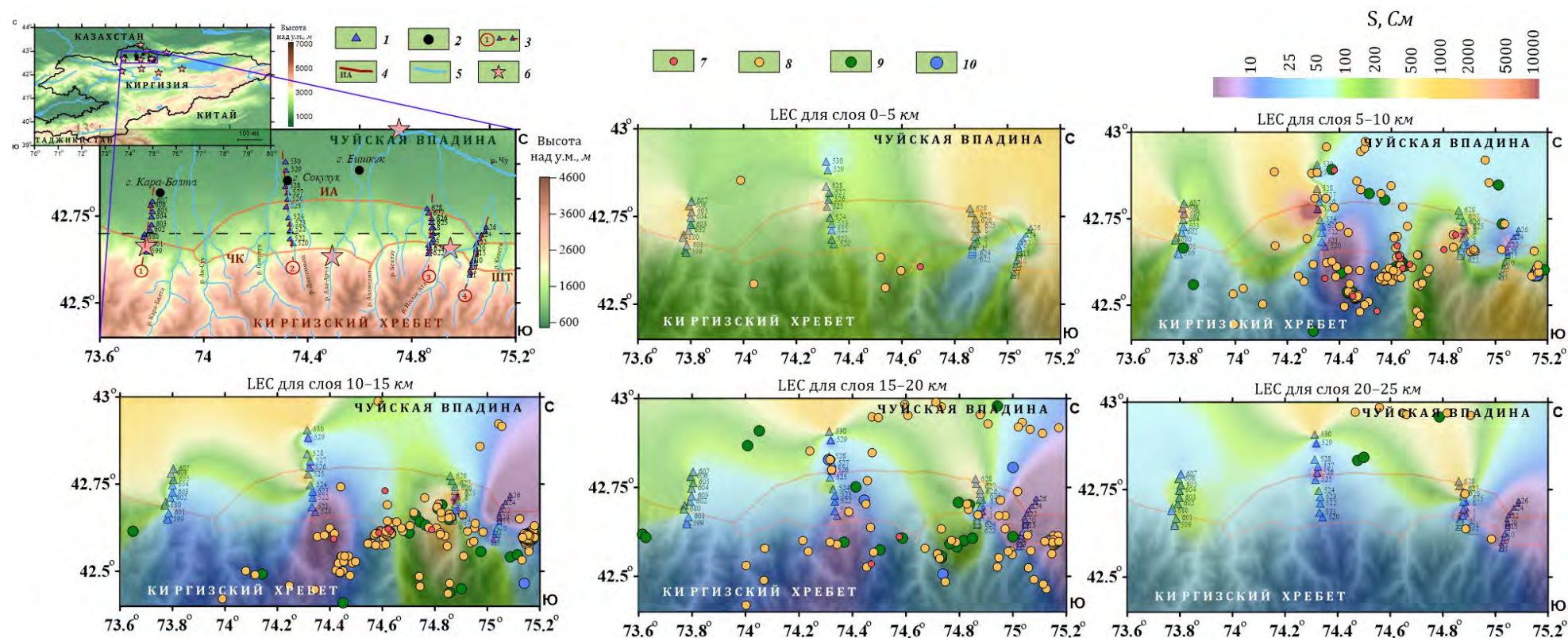


Рисунок 4 – Сопоставление карт распределения суммарной продольной проводимости и пространственного распределения очагов землетрясений. 1 – пункт магнитотеллурического профиля; 2 – крупные города; 3 – МТ-профиль; 4 – разломы (Рыбин, 2011): ИА – Иссык-Атинский, ШТ – Шамси-Тюндюкский, ЧК – Чонкурчакский; 5 – реки; 6 – станции сейсмологической сети KNET; сейсмические события: 7 – $K < 6$; 8 – $6 \leq K < 8$; 9 – $8 \leq K < 10$; 10 – $K \geq 10$.

Выводы.

Таким образом, в работе представлены карты распределения суммарной продольной проводимости S для территории Бишкекского геодинамического полигона, построенные на основе двумерных геоэлектрических моделей вдоль магнитотеллурических профилей Кара-Балта, Сокулук, Серафимовка и Туок: описаны основные этапы алгоритма построения таких карт и показаны примеры их применения при составлении с сейсмологическими данными.

Выполнено сопоставление карт распределения суммарной продольной проводимости и пространственного распределения сейсмических событий разных энергетических классов (по данным сейсмологической сети KNET). Показано, что области с повышенной плотностью сейсмических событий приурочены к активным разломам, характеризуются глубиной залегания гипоцентров в интервале 5–20 км и преимущественно приурочены к зонам пониженной электрической проводимости.

Представленные в работе результаты по построению карт распределения суммарной продольной проводимости для территории БГП получены в рамках выполнения государственного задания Научной станции РАН в г. Бишкеке (тема № АААА-А20-120102190009-9 «Изучение глубинного строения и современной геодинамики литосферы Тянь-Шаня и окружающих областей по комплексу геофизических методов»). Анализ сейсмологических данных и их сопоставление с данными МТЗ выполнены в рамках проекта РНФ (№ 22-27-00567 «Изучение внутреннего строения и динамики активных геологических разломов с использованием комплекса электромагнитных зондирований (на примере Северного Тянь-Шаня)»).

Литература

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
2. Жданов М.С. Электроразведка: Учеб. для вузов. М.: Недра. 1986. 316 с.
3. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Матюков В.Е., Морозов Ю.А., Непеина К.С. Глубинное строение литосферы Центрального Тянь-Шаня по профилю магнитотеллурического зондирования “Сон-Куль” // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 2. С. 115-121. DOI: 10.31857/S268673972102016X
4. Матюков В.Е., Баталева Е.А. Анализ синхронных магнитотеллурических и магнитовариационных данных для миниполигона «Кентор» // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Тез. докл. VIII Междунар. симп. Бишкек. 2021. С. 231-233.
5. Пржиялговский Е.С., Лаврушина Е.В., Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Леонов М.Г., Рыбин А.К. Структуры чехла и поверхности фундамента Кочкорской впадины (Тянь-Шань) по геологическим и геофизическим данным // Геология и геофизика. 2018. Т. 59. № 4. С. 417-436. DOI: 10.15372/GiG20180401
6. Рыбин А.К. Глубинное строение и современная геодинамика Центрального Тянь-Шаня по результатам магнитотеллурических исследований. М.: Научный мир. 2011. 232 с.
7. Баталев В.Ю., Бердичевский М.Н., Голланд М.Л., Голубцова Н.С., Кузнецов В.А. Интерпретация глубинных магнитотеллурических зондирований в Чуйской межгорной впадине // Физика Земли. 1989. № 9. С. 42-45.
8. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Непеина К.С., Матюков В.Е. Объемно-пространственная сегментация литосферы Тянь-Шаня по данным геофизических исследований // Геодинамика и тектонофизика. 2021. Т. 12. № 3. С. 508-543.
9. Medved I., Bataleva E., Buslov M. Studying the depth structure of the Kyrgyz Tien Shan by using the seismic tomography and magnetotelluric sounding methods // Geosciences. 2021. V. 11. № 3. 122 DOI: 10.3390/geosciences11030122
10. Баталева Е.А., Рыбин А.К. Региональные особенности в распределении глубинной электропроводности Центрального Тянь-Шаня // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ЛП Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2020. С. 60-65.
11. Рыбин А.К., Матюков В.Е., Баталев В.Ю., Баталева Е.А. Глубинная геоэлектрическая структура земной коры и верхней мантии Памиро-Алайской зоны // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 1. С. 127-139. DOI: 10.15372/GiG2019008

12. Баталева Е.А. Некоторые особенности поведения вариаций электромагнитных параметров на пунктах режимного магнитотеллурического мониторинга (Центральный Тянь-Шань) // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Тез. докл. VIII Междунар. симп. Бишкек. 2021. С. 219-222.
13. Bataleva E. Features of the manifestation of lunar-solar tides in the electromagnetic parameters of the active fault zones of the Tien Shan // E3S Web of Conferences. 2020. V. 196. 03003. [DOI: 10.1051/e3sconf/202019603003](https://doi.org/10.1051/e3sconf/202019603003)
14. Bataleva E. On the question of the relationship of variations in geophysical fields, lunar-solar tidal effects and seismic events // E3S Web of Conferences. 2019. V. 127. 02019. DOI: 10.1051/e3sconf/201912702019.
15. Баталев В.Ю., Баталева Е.А., Матюков В.Е., Рыбин А.К. Изучение необратимых деформаций в литосфере Тянь-Шаня по магнитотеллурическим данным (методологический аспект) // Вестник Камчатской региональной организации Учебно-научный центр. Серия: Науки о Земле. 2019. № 2 (42). С. 42-56. DOI: 10.31431/1816-5524-2019-2-42-42-56
16. 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.
17. Zabinyakova O., Rybin A. The Deep Distribution of Longitudinal Electrical Conductivity in the Earth's Crust (Central Tien Shan) // International Journal of Civil Engineering and Technology. 2019. V. 10. № 11. P. 398-404.
18. Забинякова О.Б. Применение метода L-кривой при определении квазиоптимального параметра регуляризации для двумерной инверсии магнитотеллурических данных на Бишкекском геодинамическом полигоне // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2021. № 2(50). С. 95-105. DOI: 10.31431/1816-5524-2021-2-50-95-105
19. 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 Южно-Кочкорской зоны концентрированной деформации // Доклады академии наук. 2017. Т. 475. № 5. С. 571-575. <https://doi.org/10.7868/S0869565217230219>
20. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Матюков В.Е. Детализация геоэлектрической структуры зоны сочленения Чуйской впадины и Киргизского хребта (миниполигон Кентор) // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2018. Т. 18. № 12. С. 134-140.
21. Забинякова О.Б., Рыбин А.К. Программа расчета суммарной продольной электрической проводимости MTLECCalc // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2020664757. Дата регистрации: 18.11.2020. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Научная станция Российской академии наук в г. Бишкеке
22. Мельникова Т.А. Карты суммарной продольной проводимости мезо-кайнозойских отложений межгорных впадин Киргизии // Строение литосферы Тянь-Шаня / Ред. Ф.Н. Юдахин. Бишкек: Илим. 1991. С. 100–111.
23. Сычева Н.А. Киргизская сейсмологическая сеть KNET // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2016. Т. 16. № 5. С. 175-183.
24. Сычева Н.А., Сычев И.В., Мансуров А.Н., Кузиков С.И. Исследование уровня сейсмического шума станций сети KNET // Вулканология и сейсмология. 2020. № 4. С. 22-39 DOI: 10.31857/S0203030620040069
25. 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.
26. Баталева Е.А., Матюков В.Е. Детальное глубинное строение прибортовой зоны Исык-Кульской впадины на примере профиля “Саруу” // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. 2018. Т. 18. № 4. С. 150-155.

ПЕРСПЕКТИВА НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОГО БОРТА ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ НА ПРИМЕРЕ АВВАЛЬСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, В СВЕТЕ НОВЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ, БУРОВЫХ ДАННЫХ НА ПОИСК НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ

Икромов Т.Р., Беков И.О., Бешимов Ю.Х.

Maximus_9192@mail.ru

ИП ООО «Sanoat Energetika Guruhi», г. Ташкент, Республика Узбекистан

В данной работе был произведен анализ и выявлена перспективность нижнемеловых отложений Южного борта Ферганской впадины, на примере Аввальской группы месторождений, в свете новых геолого-геофизических, а также буровых материалов. Авторами собраны все актуальные материалы и на основе этих данных была проведена работа, целью которой является дать рекомендацию на заложение новой скважины на поиск углеводородного сырья со вскрытием меловых отложений.

Ключевые слова: газ, нефть, месторождение, Ферганская впадина, Южный борт, углеводороды, запасы, Мел.

Ферганская долина — межгорная впадина в горах Средней Азии. Площадь около 22 тыс. км², а вместе с окружающими горами до 80 тыс. км². В плане напоминает эллипс длиной около 300 и шириной до 170 км (Рис.1).

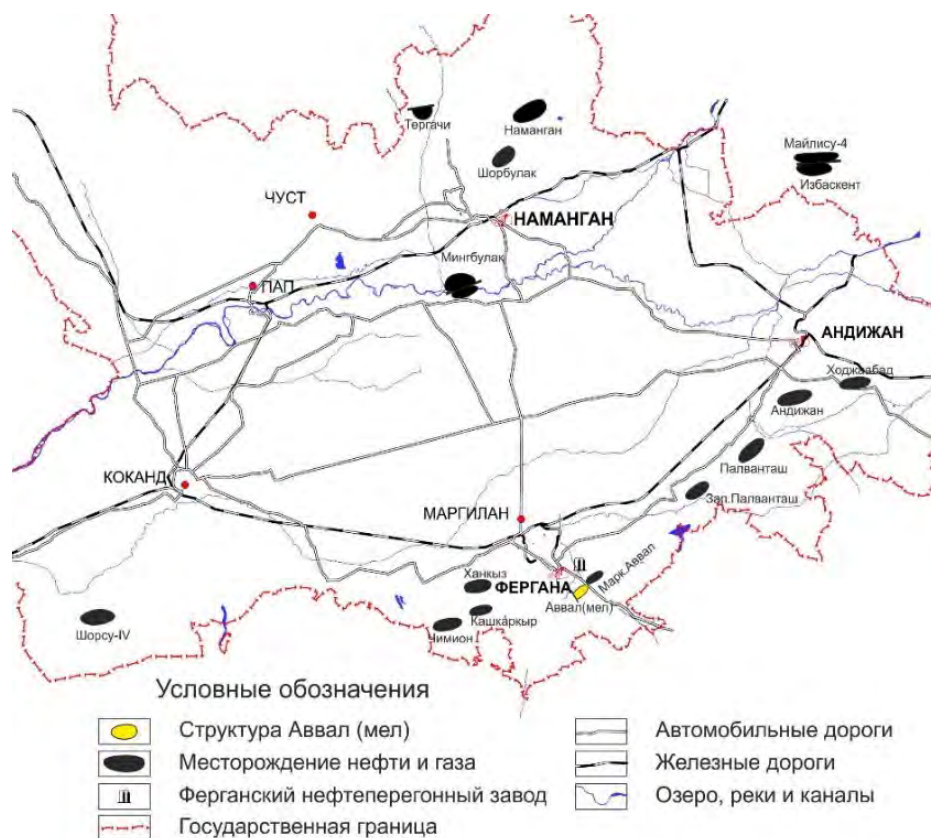


Рисунок 1 – Обзорная карта Ферганского региона

Основные нефтяные месторождения Южный Аламышик, Бостон, Ходжаабад, Хартум, Восточный Хартум, Андижан, Палванташ, Западный Палванташ, Аввальская группа, Ханкыз,

Чимион, Кашкакыр, Шорсу, Ачису, Варык и Северный Варык расположены на юге Ферганского региона на территории Андижанской и Ферганской области Республики Узбекистан.

В изучении сложного геологического строения Ферганской межгорной впадины, в освоении ее природных ресурсов геофизические методы, в частности, сейсморазведка, имеют важное значение, а с переходом к изучению глубокопогруженных структур она приобретает главенствующую роль.

Изучение Ферганской впадины сейсморазведкой начато в 1947г. Этими работами вплоть до 1953г. была охвачена значительная территория Южного борта. Результатами сейсморазведки МОВ установлено ее ступенчатое строение. За период 1957-70гг. продолжалось изучение регионального нефтеносного палеогенового комплекса, был выявлен и подготовлен ряд антиклинальных складок под глубокое бурение. [5]

Рассмотрим месторождение Марказий Авваль, которое было открыто в результате поисково-разведочных работ в 2007г. Первооткрывательницей является скважина №1 Марказий Авваль, при испытании которой, из интервалов глубин 853-846м. соответствующих известнякам V-горизонта туркестанского яруса верхнего эоцена, были получены притоки нефти дебитом $Q_n=2.6\text{м}^3/\text{сут.}$

Структура Марказий Авваль (Mz) выявлена в 2014 г. в результате интерпретации материалов сейсмической съемки МОГТ-2D специалистами филиала «ФГЭ» (Урманов А.Х., Абдуллаев М.С.) и подготовлена в 2016 г. по кровле XVIII горизонта нижнего мела. [2]

По отражающему горизонту T (K1), приуроченному к кровле XVIII горизонта нижнего мела, структура представлена антиклиналью субширотного простирания с размерами по замкнутой изогипсе -1150 м составляющими 2,75 x 1 км; амплитуда около 70 м, площадь 2,09 кв.км. (Рис.2).

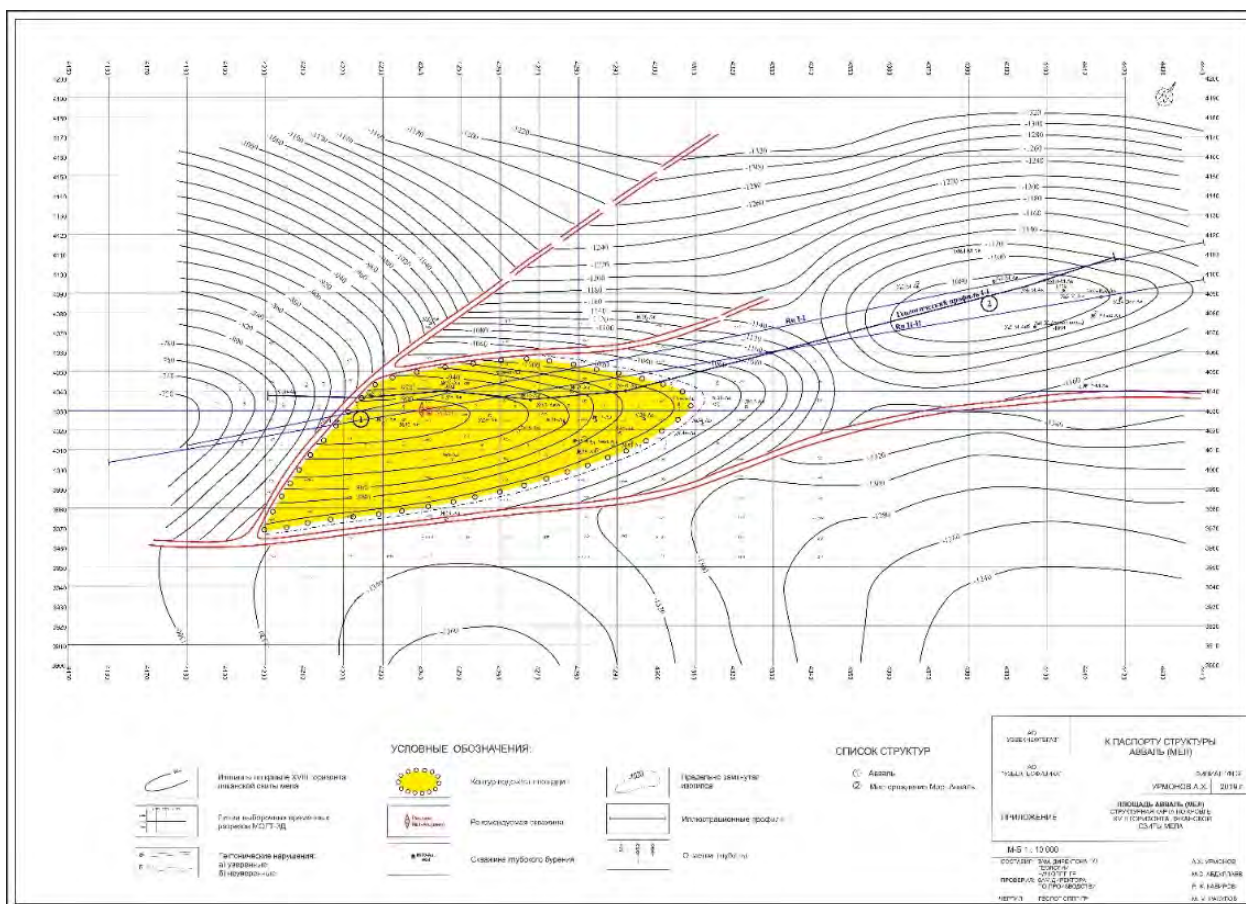


Рисунок 2 – Структурная карта по кровле льяканской свиты XVIII горизонта нижнемеловых отложений (из паспорта на подготовку структуры)

С учетом результатов бурения скважин №№ 1п и 1 (мел) была построена карта по кровле XVIII горизонта. Структура представляет собой гемиоантиклиналь, вытянутую с северо-запада на юго-восток, размеры по замкнутой изогипсе -1110 м составляет 2,9 x 0,7 км, амплитуда около 70 м.

В отложениях мелового возраста промышленно нефтегазоносным в Ферганской впадине является - XXII, XXI, XX, XIX, XVIII, XVII, XVI, XIII XII горизонты, тип залежей пластово-сводовый, литологический и тектонический экранированный. Из этих горизонтов ни один не является регионально нефтегазоносным по всей Фергане.

На месторождении Шаркий Авваль в скважине № 34 опробованы: XXIX горизонт юры, XXVIII и XXVII горизонты аалена, XXVI горизонт байоса, XXV горизонт бата. В результате испытания этих объектов получены притоки воды дебитом от 1 до 348 м³/сут.

В скважине № 32 испытаны меловые отложения в следующих объектах: XVIII горизонт ляканской свиты, XVIIг горизонт кизыл-пиляльской свиты, XVIа,б,в горизонт калачинской свиты, XVII и XVI горизонты устричной свиты, XV горизонт яловачской свиты, XIV и XIII горизонты пестроцветной свиты. В результате испытания меловых отложений в скважинах №№ 32 и 33, в основном, получены притоки пластовой воды различных дебитов. Кроме того, при испытании в скважине № 32 отложений кизыл-пиляльской свиты меловых отложений получены притоки пластовой воды и газа, неподдающегося замеру.

В процессе испытания XVIIб горизонта отложений нижнего мела в интервале 1621-1617м получен промышленный приток газа с конденсатом.

Таким образом, полученные результаты испытания юрских и меловых отложений в скважинах №№ 32,33,34 свидетельствуют об отсутствии скоплений нефти и газа в этих отложениях на месторождении Шаркий Авваль.

В пределах структуры Марказий Авваль испытанием охвачены возможно-продуктивные горизонты меловых, юрских и палеозойских отложений в 2 скважинах.

Параметрическая скважина № 1П позволила открыть новую газовую залежь в XVIIг пласте кизыл-пиляльской свиты нижнемеловых отложений месторождение Марказий Авваль.

При совместном испытании нижней части XVIIг горизонта нижнего мела в интервалах 1720-1714м и 1712-1705м получен приток газа дебитом 10тыс.м³/сут через 10,0мм штуцер. При испытании XVIIв горизонта нижнего мела в интервале 1690-1678м дебит газа составил 11,5 тыс.м³/сут (через 4,0мм штуцер), а из верхней части этого же горизонта в интервале 1675-1672м – получен приток газа дебитом 4,8 тыс. м³/сут (4,0мм штуцер).

Согласно результатам, проведенным сотрудниками АО «ИГИРНИГМ» газогидродинамических и газоконденсатных исследований дебит газа, составляет:

- при 4,5мм штуцере – 31,77 тыс.м³/сут. - при 6,1мм штуцере – 45,27 тыс.м³/сут.
- при 8,6мм штуцере – 55,46 тыс.м³/сут.

Конденсат в составе газа содержится в объеме 121,14см³/м³. Скважина передана в АО «Андижаннефть» для эксплуатации.

Согласно заключению ГИС, в скважине Марказий Авваль (мел) №1 опробовано 10 объектов: 2 в палеозойских отложениях, 4- в юрских и 4 в меловых, из XVIII горизонта меловых отложений получен приток газа в 10 тыс.м³/сут. с пульсирующим дебитом, с пластовой водой. В скважине после многочисленных мероприятий по изоляции водопритока положительного эффекта не получено, и в последующем скважина была ликвидирована по техническим причинам.

Продуктивные XVIII, XVII горизонты, сложены в основном песчаниками, гравелитами, известняками с прослоями глин. Глубина залегания XVIII горизонта в контуре газоносности около - 1080 м (рис.3).

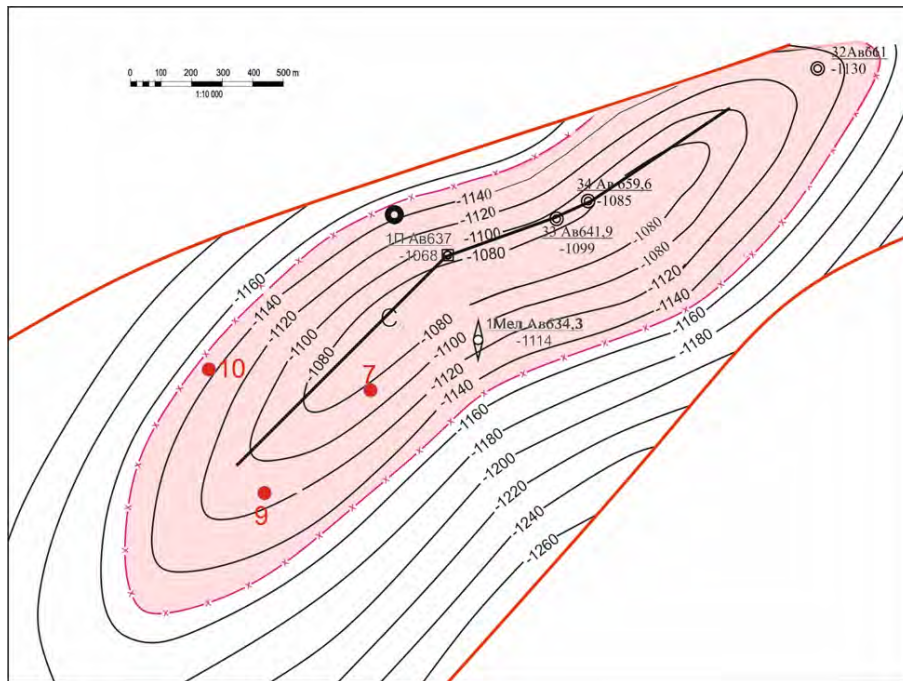


Рисунок 3 – Структурная карта по кровле XVIII горизонта (Икромов Т.Р., Нурматов М.Р.)

В 2020 году АО «ИГИРНИГМ» провел оперативный подсчет запасов месторождения Марказий Авваль, по результатам сейсморазведки с учетом результатов пробуренных скважин была построена структурная карта по кровле XVIIв+г горизонтов нижнего мела. Структура представлена антиклинальной складкой, в целом, повторяющей структуру, представленную в паспорте, обрамленной с юго-восточной стороны региональным разломом (рис.4.). Размеры складки по замкнутой изогипсе -1050 м составляют 1,56 x 1,15 км, амплитуда около 70 м, площадь 1,42 кв.км. [3]

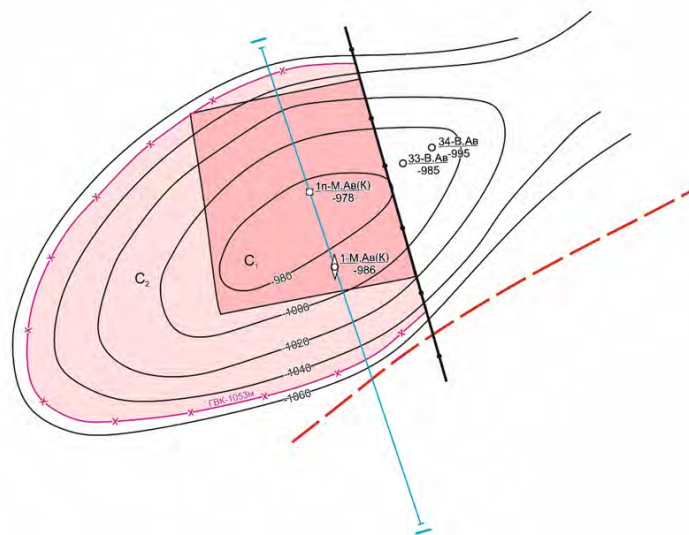


Рисунок 4 – Подсчетный план по кровле XVIIв+г горизонту (АО «ИГИРНИГМ»)

В связи с вышесказанным была дана рекомендация на заложение скважин №№ 7, 8 Марказий Авваль на XVII в+г, XVIII горизонты меловых отложений, в которых были получены промышленные притоки газа в XVIIв+г и XVIII горизонтах нижнемеловых отложениях, автором были построены структурные карты (рис.5). Полученный результат подтверждает наличие УВ в XVII горизонте, а также позволило открыть новую залежь в ляканской свите XVIII горизонта нижнемеловых отложениях. Это в свою очередь

подтверждает перспективность нижнемеловых отложений и дает высокую вероятность открытия новых месторождений [4].

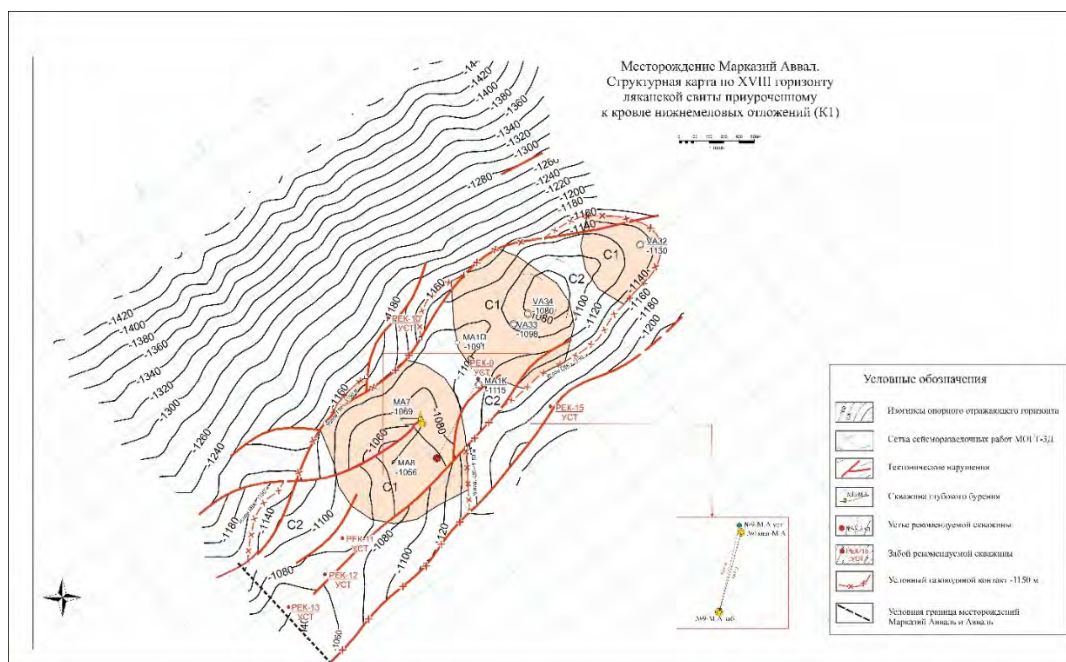


Рисунок 5 – Месторождение Марказий Аввал. Структурная карта по кровле XVIII горизонта ляканской свиты нижнего мела

Продолжив работы, авторы доклада анализируют геолого-геофизические материалы нижнемеловых отложений месторождения Аввалль (западный).

Структура Аввалль представляет собой антиклинальную складку субширотного простирания. По изогипсе -1010 м размеры 2,4x0,9 км, площадь 1,7 кв.км. Перспективные ресурсы УВ по категории (C₃) по горизонтам (XVI, XVIIa, XVIIб, XVIIв, XVIIг, XVIII) оценены ОМП (ПЗ) «Узбекгеофизика» и составляют 2044 млн.м³ (сухого) газа. [1]

Авторами была построена и смоделирована (рис.6) структурная карта нижнеюрских отложений XVIII горизонта Аввалльской группы месторождений в программе Petrel на основе всех данных бурения, включая новые скважины, и данных сейсмического куба.

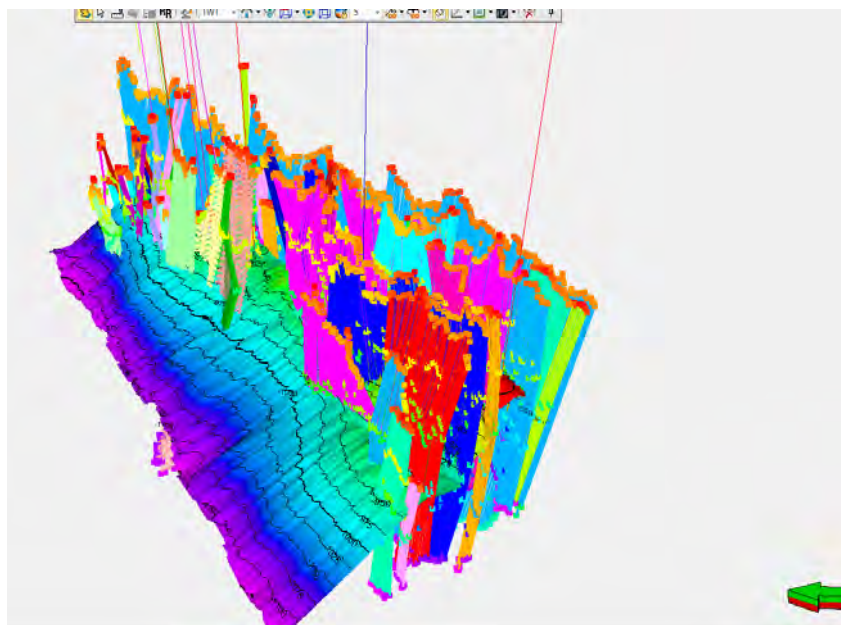


Рисунок 6 – Аввалльская группа месторождений (трехмерная модель)

По результатам интерпретации новых сейсмических данных, определено, что ранее предполагаемые авторами ранее разработанных структурных карт на нижнемеловые отложения, тектоническое нарушение (рис.7), простирающееся с севера-восточного на юго-западное направление не обнаружено. Так же анализ временных разрезов INLINE 4025, XLINE 4160 (рис.8, 9) показал поднятие свода и продолжение структуры в юго-западном направлении. Но для окончательного оконтуривания структуры необходимо продолжить сейсморазведочные работы в юго-западной части структуры.

Как было замечено ранее, на месторождении Марказий Авваль, была открыта новая залежь по нижнеюрским отложениям (XVII и XVIII горизонтов), что дает нам предположить перспективность нижнемеловых отложений (XVII и XVIII горизонтов) соседнего месторождения Авваль (западный) имеющие схожее геологическое строение.

На сейсмическом разрезе INLINE 4025 (рис.8) ярко выражено граница сейсмических работ МОГТ-3Д, в связи с чем, качество сейсмокуба резко падает, авторами затруднительно проводить дальнейшие работы по интерпретации сейсмических данных.

Авторами предлагается заложение поисковой скважины на пересечении временных разрезов INLINE 4025 и XLINE 4160, забоем 1900 метров на высокоперспективные нижнемеловые отложения месторождения Авваль в целях выявления газовых залежей. Заложение данной скважины, позволит получить дополнительную геологическую информацию, определит газоносность нижнемеловых отложений, а также возможность прироста запасов углеводородов и открытия новых залежей.

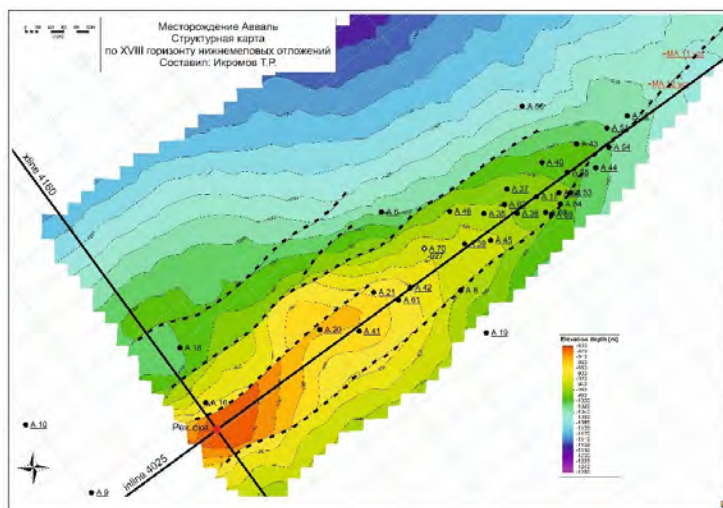


Рисунок 7 – Структурная карта месторождения Авваль (западный) по XVIII горизонту нижнемеловых отложений

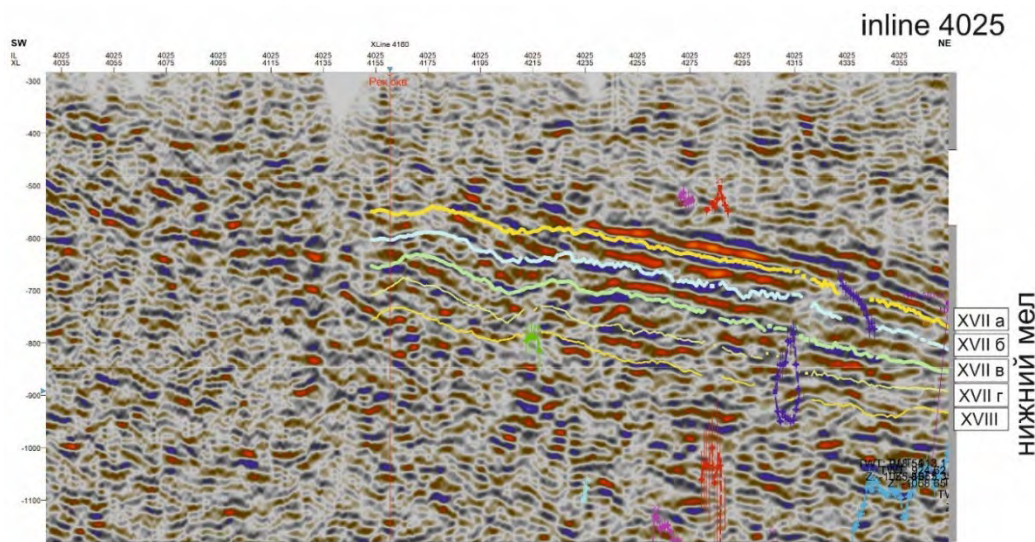


Рисунок 8 – Месторождение Авваль. Временной разрез INLINE 4025

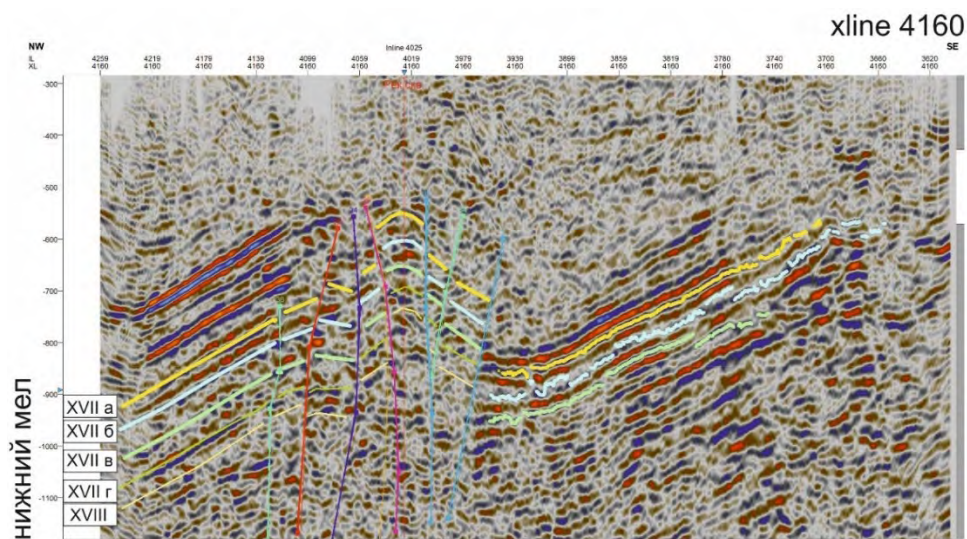


Рисунок 9 – Месторождение Авваль. Временной разрез XLINE 4160

Литература

1. Урманов А.Х. и др. Паспорт на структуру на месторождение Авваль. Ташкент: Филиал «ФГЭ». 2019. С. 3.
2. Урманов А.Х. и др. Паспорт на структуру на месторождение Марказий Авваль. Ташкент: Филиал «ФГЭ». 2016. С. 2-3.
3. Мамиров Ж.Р. и др. Оперативный подсчет и пересчет запасов нефти газа и конденсата по находящимся в разведке месторождениям АО «Узбекнефтегаз» за период с 01.01.2020 по 31.12.2020 гг. Ташкент: АО «ИГИРНИГМ». 2021. С. 14-27.
4. Абидов Х.А., Турсунова Т.М. Оперативный подсчет запасов месторождения Марказий Авваль. Ташкент: ООО «GRDC». 2022. С. 23-24.
5. Нурматов М.Р., Холисматов И.Х., Абидов Х.А. и др. Перспективы длительно-разрабатываемых месторождений нефти и газа юга Ферганского региона в свете новых данных сейсморазведки и бурения скважин. Ташкент. 2018. С. 9-11.
6. Маскет М. Течение однородных жидкостей в пористой среде. Пер. М.А. Геймана. Москва-Ижевск. 2004. 628 с.

СРЕДНЕСУТОЧНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ИЗ РАЗНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА

Кенигсберг Д.В.

kenig@gdirc.ru

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

Для изучения современных движений земной коры используются высокоточные методы расчёта координат по данным глобальных навигационных спутниковых систем. В настоящей работе проведен анализ среднесуточных позиций (радиус-векторов), рассчитанных 7 разными методами для 10 станций по 8 дням. При отсутствии эталонов для оценки корректности расчёта координат, было проведено исследование сходимости радиус-векторов, полученных разными методами расчёта. На базе евклидовых расстояний даны регулярные и максимальные расхождения между радиус-векторами разных методов. В геоцентрических координатах XYZ с привязкой к ITRF выделяется 5 методов с регулярными расхождениями между радиус-векторами <2 мм, и отдельными максимальными отклонениями до ~45 мм. Для алгоритмов, использующих региональную и точечную системы отсчёта, радиус-вектора имеют средние и максимальные расхождения с аналогичными данными прочих методов до 55 мм и до 1.5 м соответственно.

Ключевые слова: методы расчёта, Bernese, GAMIT/GLOBK, расчёт координат онлайн, радиус-вектор, Евклидово расстояние

Введение. Методы глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) позволяют изучать современные движения земной коры через высокоточное позиционирование станций по данным повторных измерений. На основе временных рядов можно рассчитать векторы скорости, кинематические и деформационные параметры для территории исследования. Большинство таких расчётов основано на среднесуточных координатах. Современные движения земной коры в региональном масштабе имеют уровень смещений не всегда превышающий априорную точность инструментальных методов позиционирования. Поэтому для корректных выводов по данным ГНСС позиционирования важно знать уровень воспроизводимости координат при различных методах их вычисления.

В 2020 году было проведено сравнение среднесуточных координат, полученных посредством программных комплексов Bernese GNSS Software и GAMIT/GLOBK. При этом были получены количественные отклонения среднесуточных координат станций на основе одних и тех же ГНСС данных. Был сделан вывод, что разброс среднесуточных координат станций уменьшается при увеличении количества одновременно обрабатываемых за одну сессию станций [1].

По результатам исследования 2021 года было установлено, что автоматический режим расчёта координат в программном комплексе Bernese GNSS Software позволяет получить более устойчивый временной ряд позиций, по сравнению с настраиваемыми алгоритмами вычислений [2].

Исследуемые методы расчета ГНСС позиций. В качестве высокоточных средств расчёта среднесуточных позиций станций на основе данных ГНСС наблюдений мы использовали два программных комплекса и два онлайн-сервиса.

Программа Bernese позволяет осуществлять высокоточное позиционирование станций с использованием нескольких алгоритмов. В рамках наших исследований было использовано два основных метода расчёта среднесуточных координат станций. Первый метод Precise Point Positioning (ВЗР) в своих алгоритмах расчёта использует данные сигнала между одним спутником и одной станцией [3]. Этот метод по умолчанию настроен для расчета как среднесуточных, так и внутрисуточных позиций. Второй метод в Bernese имеет название

Rinex2Sinex (BRS). Его основным назначением является расчет среднесуточных координат, однако при других настройках он может предоставлять координаты по каждой записи или эпохе измерения. При этом используется алгоритм «два спутника – две станции» или метод двойной разницы [3].

Другой программный комплекс GAMIT/GLOBK так же предоставляет возможность расчёта высокоточных координат станций. Метод Standart Processing (GSP) из программы GAMIT/GLOBK использует стандартные настройки и учитывает множество дополнительных параметров [4]. Другой метод No Global Data (GNG) не использует входную информацию по глобальной системе отсчета (CO) и пунктам стабилизации (IGS станции). Здесь, для стабилизации координат используется региональная CO, которая состоит из 10 обрабатываемых пунктов. Использование этого метода позволяет дать оценку влияния ITRF и пунктов стабилизации на качество расчёта координат. В этом случае поправочные таблицы (атмосферные задержки, корректировки часов, параметры движения земли и т.д.) используются в качестве входных вспомогательных данных. Также в составе комплекса GAMIT/GLOBK есть отдельная программа TRACK (GTR) для расчёта внутрисуточных координат по каждой отдельной эпохе, среднее значение по которым даёт позицию станции за сутки. В качестве входной информации TRACK использует только файлы RINEX и поправки спутниковых орбит за сутки.

Помимо автономных программных комплексов нами было использовано еще два онлайн-сервиса. Метод "Canadian Spatial Reference System Precise Point Positioning" (W3P) предназначен для стандартной обработки ГНСС данных и получение высокоточных координат [5]. Другой онлайн-сервис "The Automatic Precise Point Service of the Global Differential GPS System" (WPP) отличается от первого лишь некоторым преимуществом в быстродействии получения конечного результата [6].

Используемые нами методы для расчета координат основываются на 3 разных уровнях CO. В методах W3P, BRS, GSP, W3P и WPP применяется глобальная система ITRF. В методе GNG задействована региональная CO (RRF) с опорой на 12 ближайших к г. Бишкек IGS пунктов (13-56° с.ш. и 48-104° в.д.), разнесенных в северном направлении на ~5200 км и восточном – на 4800 км. В методе GTR использована "точечная" CO (PRF) с опорой только на станцию POL2, координаты которой не меняются в течение суток.

Исходные данные для сравнительного анализа. Каждый метод позиционирования на основе одинаковых входных данных GPS измерений рассчитывает координаты XYZ, которые отличаются от координат, полученных другими методами. У нас нет веских оснований однозначно утверждать о степени превосходства по точности координат того или иного метода определения позиции. Однако мы можем оценить эти расхождения в расчетах одних и тех же позиций, полученных выше обозначенными методами.

Для корректности наших сравнительных оценок необходимо определиться с объемом тестовых обрабатываемых ГНСС измерений. С одной стороны, чем больше обрабатываемых данных, тем точнее можно определиться с выводами о сходимости методов позиционирования. Но при этом и увеличивается количество парных сравниваемых позиций. Возрастает время обработки данных, и громоздкий материал становится трудным для восприятия. В связи с этим было решено остановить свой выбор на 10 перманентных станциях Центрально-Азиатской GPS сети [7]. Естественным образом, в трёхмерном пространстве каждый из исследуемых методов может предоставить 3 координаты XYZ. Выбор нескольких дней для сравнения обусловлен возможным влиянием погодных и других факторов при определении позиций внутри суток и в разные сезоны года. Поэтому, посредством каждого из 7 методов рассчитаны среднесуточные координаты XYZ для 2-х дней в конце каждого из 4-х сезонов.

Для сравнительного анализа выбраны следующие станции непрерывного наблюдения региональной сети: IATA, CHUM, KAZA, KRTV, POL2, POL3, POL7, POLY, SUMK, TALA. Определены 8 дней их измерений, приходящиеся на конец каждого сезона года: 23-24 ноября 2019г; 11-12 февраля, 21-22 мая, 22-23 августа 2020г.

Сходимость радиус-векторов в геоцентрических координатах XYZ. При сравнении радиус-векторов мы можем получить один критерий сходства-различия для 2-х методов с учетом всех координат по всем станциям и всем дням.

Для получения максимально общего результата сравнения методов мы выбрали Евклидово расстояние (ED) в качестве меры сходства-различия, которое использует многомерное пространство. В качестве единицы многомерного пространства мы выбрали трёхмерный радиус-вектор, который характеризует среднесуточное положение одной из 10 станций, в один из 8 дней. Ряд таких векторов $\vec{V}(x, y, z)$ для одного метода сформирует d-мерное пространство ($d = 10 \text{ станций} \times 8 \text{ дней} = 80 \text{ векторов}$). Расположение радиус-векторов для каждого из методов их расчета формируется следующим образом: на каждый день по возрастанию заносится радиус-вектора для всех станций в заданном порядке согласно таблице 1.

Таблица 1 – Последовательность формирования векторных пар для сравниваемых методов с учетом смены станций (S1÷S10) и дней (D1÷D8)

Код метода, вектор	Порядок и соответствие векторов							
VЗР, $\vec{V1}(x, y, z)$	$\vec{V1}_{D1}^{S1}$	$\vec{V1}_{D1}^{S2}$	...	$\vec{V1}_{D2}^{S1}$	$\vec{V1}_{D2}^{S2}$	...	$\vec{V1}_{D8}^{S10}$	ED
GSP, $\vec{V3}(x, y, z)$	$\vec{V3}_{D1}^{S1}$	$\vec{V3}_{D1}^{S2}$	...	$\vec{V3}_{D2}^{S1}$	$\vec{V3}_{D2}^{S2}$	...	$\vec{V3}_{D8}^{S10}$	ed edm

Евклидово расстояние для примера из таблицы 1 будет вычисляться по формуле:

$$ED = \sqrt{\sum_{i=1}^d (\vec{V1}_i - \vec{V3}_i)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^d ((x1_i - x3_i)^2 + (y1_i - y3_i)^2 + (z1_i - z3_i)^2)}, \quad (1)$$

где $\vec{V1}_i, \vec{V3}_i$ – упорядоченные (по принципу таблицы 1) радиус-векторы в системе координат XYZ для двух выбранных методов VЗР и GSP.

Параметр ED представляет собой сумму отклонений для d=80 пар векторов. Для наших целей больший интерес может представлять удельное Евклидово расстояние (ed), приходящееся в среднем на одну пару соответствующих векторов двух методов. Дополнительную информацию о характере расхождения между векторами двух методов может дать максимальное значение (edm). Данные критерии для вышеуказанных методов будут рассчитаны по формулам:

$$ed = \frac{ED}{d}, \quad edm = \sqrt{\text{Max}((\vec{V1}_i - \vec{V3}_i)^2)} \quad (2)$$

Эти параметры характеризуют уровень регулярного и максимального отклонений радиус-векторов из двух сравниваемых методов их расчета.

Таблица 2 – Фрагмент расчёта радиус-векторов и параметров Евклидова расстояния

Метод	ВЗР			BRS	...	ВЗР – BRS	ВЗР – GSP	...	WЗР – WPP
№	X, мм	Y, мм	Z, мм	X, мм	...	$\vec{V1}_i - \vec{V2}_i$	$\vec{V1}_i - \vec{V3}_i$	...	$\vec{V6}_i - \vec{V7}_i$
1	1228955159.1	4536023040.6	4300532548.4	1228955156.3	...	13.82	31.37	...	35.98
2	1228950393.2	4508079990.6	4327868535.0	1228950387.7	...	32.52	90.53	...	39.23
3	1325807748.0	4606496677.0	4195524617.7	1325807749.1	...	3.09	108.09	...	10.49
4	798557548.9	3967218131.4	4913554558.8	798557549.2	...	29.85	40.54	...	7.65
5	1239970961.0	4530790148.8	4302578865.1	1239970958.5	...	7.87	69.57	...	13.29
...
76	1240466021.8	4530126962.5	4302905958.8	1240466019.8	...	16.65	325.34	...	5.69
77	1240747589.3	4530189975.5	4302713907.5	1240747592.6	...	10.94	314.21	...	35.54
78	1240234756.8	4530662940.5	4302597819.5	1240234759.5	...	14.58	424.62	...	11.61
79	1262670383.5	4402617570.0	4425403903.3	1262670385.1	...	22.60	1606.57	...	514.92
80	1440489344.8	4489412735.0	4283257833.6	1440489347.3	...	9.72	575.79	...	41.42
					ED	55.49	151.89	...	82.30
					ed	0.69	1.90	...	1.03
					edm	17.67	40.08	...	28.42

Пример расчёта радиус-векторов и параметров Евклидова расстояния приведён в таблице 2. Все результаты расчёта параметров *ed* и *edm* можно представить компактно следующим образом (таблица 3).

Таблица 3 – Значения парных отличий (*ed* и *edm*) для 7 методов по радиус-векторам

ed, мм	BЗР	BRS	GSP	GNG	GTR	WЗР	WPP
edm, мм	BЗР	BRS	GSP	GNG	GTR	WЗР	WPP
BЗР		0.69	1.90	44.14	54.38	0.53	1.12
BRS	17.67		1.90	43.97	54.26	0.69	1.26
GSP	40.08	44.70		44.70	54.23	1.82	1.74
GNG	519.27	513.31	513.24		53.46	44.13	44.43
GTR	1406.45	1409.65	1390.58	1444.66		54.34	54.42
WЗР	12.18	15.07	39.33	518.33	1405.30		1.03
WPP	27.91	34.70	30.48	522.92	1400.69	28.42	

В значениях таблицы 2 явно выделяется группа методов ВЗР+WЗР+BRS+WPP+GSP с уровнем расхождений по *ed* (регулярных отклонениях 3D-позиций) <2 мм, и *edm* (максимальных отклонений) на уровне <55 мм. При этом самое большое расхождение в 3D-позициях зафиксировано между методами GTR и GNG, которое достигает 1445 мм.

Для группирования методов на основе мер сходства-различия table 2 применим алгоритм кластеризации "невзвешенного попарного среднего" (UPGMA – Unweighted Pair Group Method with arithmetic Averages) [8]. Сначала для параметра *ed* из таблицы 2 по такому алгоритму найдём минимальное значение *ed*=0.53, и соответствующие этому значению объекты (методы) будут объединены в один кластер. При этом в таблице 2 вместо двух отдельных строчек и столбцов ВЗР и WЗР появятся одна строка и один столбец ВЗР+WЗР. В табличных ячейках нового кластера будут помещены средние арифметические по значениям методов ВЗР и WЗР. Далее цикл повторяется с поиском минимального значения *ed*, и на его основе будет сформирован кластер следующего уровня. Такая процедура парного объединения может продолжаться до формирования одного кластера, включающего в себя все первично изолированные объекты по параметрам *ed* и *edm* (рис. 1).

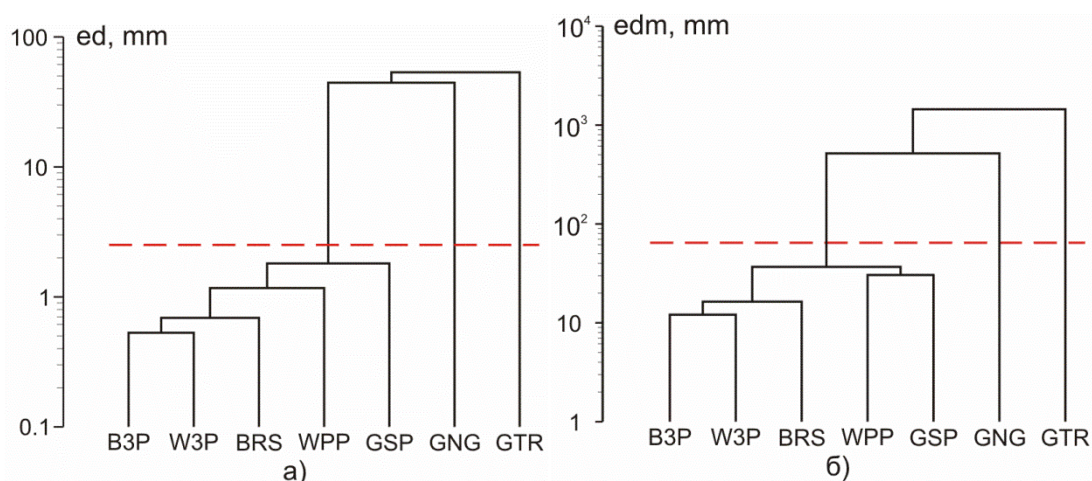


Рисунок 1 – Дендрограммы, отражающие последовательность и уровни объединения методов в кластеры на основе критериев: а) регулярных (средних) расхождений векторов между методами (*ed*); б) максимальных расхождений в определении векторов разными методами (*edm*). Шкалы в десятичном логарифмическом масштабе. Пунктирные линии – экспертные уровни отсечения кластеров.

Учитывая логарифмический масштаб шкалы на рисунке 1, можно сделать экспертное заключение о прекращении процесса кластеризации на уровнях красных пунктирных линий. Так как вышележащие уровни объединения объектов в кластеры значительно превышают нижележащие и близкие по значениям уровни кластеризации. В результате такой процедуры и ограничивающего уровня объединения по критериям *ed* и *edm* таблица 3 трансформируется в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты кластеризации удельных евклидовых расстояний и максимальных расхождений между методами

ed, мм	((B3P+W3P=12.18)+BRS=16.37)+(GSP+WPP=30.48)=36.82	GNG	GTR
edm, мм			
((((B3P+W3P=0.53)+BRS=0.69)+WPP=1.17)+GSP=1.81		44.47	54.30
GNG	517.06		53.46
GTR	1401.70	1027.53	

По обоим параметрам *ed* и *edm* наблюдается практически одинаковое объединение методов из таблицы 2 в кластеры. Выделенный кластер на уровне регулярного расхождения 1.81 мм и максимального расхождения 36.82 мм включает в себя 5 методов позиционирования: B3P, W3P, BRS, WPP, GSP. Остальные 2 метода из программного комплекса GAMIT/GLOBK явно имеют значительные расхождения позиций до 55 мм по *ed* и до 1.5 м по *edm*. Исходя из малых регулярных расхождений (<2 мм) в координатах для 5 методов комплексного кластера можно сделать вывод о высоком уровне их точности расчёта координат XYZ.

Заключение. Средний уровень современных смещений земной коры на территории Центральной Азии по данным ГНСС измерений не превышает нескольких мм/год. При этом точность космогеодезического позиционирования находится так же в пределах первых миллиметров. Поэтому для геодинимических исследований критически важна точность вычисления координат наблюдаемых в течение многих лет станций. В данной работе показано, что разные высокоточные алгоритмы расчёта ГНСС позиций для одних и тех же данных предоставляют разные значения среднесуточных координат.

В условиях отсутствия эталонных (априорно более точных) координат для исследуемых станций мы вынуждены использовать расхождения в координатах разных

методов расчёта как критерий точности ГНСС позиционирования. Для более детального понимания различий между методами расчёта позиций на основе Евклидова расстояния, нами введены понятия регулярных (средних, ed) и максимальных (edm) расхождений между радиус-векторами (XYZ) из разных методов.

Дана оценка влияния на воспроизводимость координат в различных системах отсчёта: глобальной ITRF, региональной RRF и точечной PRF. Для максимально точной привязки станций в геоцентрических координатах XYZ лучше всего использовать стандартные методы из программ Bernese (B3P, BRS) и GAMIT/GLOBK (GSP), а так же онлайн-сервисы W3P и WPP. В этом случае используется система отсчёта ITRF, при которой регулярные отклонения радиус-векторов из этих 5 методов <2 мм, а отдельные максимальные отклонения ≤ 55 мм.

Работа выполнена в рамках темы "Исследование современных движений земной коры Тянь-Шаня и прилегающих территорий методами наземной и космической геодезии" (AAAA-A20-120102190010-5). Автор выражает благодарность своему научному руководителю к.ф.-м.н., заведующему IIGPS ИС РАН С.И. Кузикову за выбор направления, советы при проведении работ и рекомендации по оформлению статьи.

Литература

1. Кенигсберг Д.В. Высокоточные позиционирования в Bernese GNSS Software и сравнение с результатами расчётов в GAMIT/GLOBK // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XII Междунар. конф. молодых учёных и студентов, г. Бишкек, 22-24 апреля 2020 г. Бишкек: ИС РАН. 2020. С. 85-89.
2. Кенигсберг Д.В. Сравнение алгоритмов расчёта внутрисуточных позиций в программном комплексе Bernese // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XIII Междунар. конф. молодых учёных и студентов, г. Бишкек, 28-30 апреля 2021 г. Бишкек: ИС РАН. 2021. С. 81-86.
3. 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. 826 p.
4. Herring T.A., King R.W., Floyd M.A., McClusky S.C. Introduction to GAMIT/GLOBK: Release 10.7. Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 2018. 54 p.
5. Precise Point Positioning. Canada, CSRS-PPP. <https://webapp.geod.nrcan.gc.ca/geod/toolsoutils/ppp.php?locale=en> (дата обращения 11.09.2021).
6. The Automatic Precise Positioning Service of the Global Differential GPS (GDGPS) System. USA, NASA, California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory. <https://apps.gdgps.net/> (дата обращения 12.09.2021).
7. Кузиков С.И. Методические задачи и проблемы точности GPS наблюдений на примере Бишкекского геодинимического полигона // Физика Земли. 2014. № 6. С. 55-69.
8. Sokal R.R., Michener C.D. A statistical method for evaluating systematic relationships. University of Kansas Science Bulletin. 1958. 38(2). No. 22. P. 1409-1438.

ПОСТРОЕНИЕ ГОДОГРАФА ДЛЯ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА ПО ЗАПИСЯМ КАЛИБРОВОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Комекбаев Д.К., Соколова И.Н.

d.komekbaev@gmail.com

Филиал “Институт геофизических исследований” Национального ядерного центра
Республики Казахстан, г. Курчатов, Республика Казахстан

Для Западного Казахстана выделены эталонные события: записи промышленных ядерных взрывов, произведенные в советское время, карьерные взрывы с известными параметрами и землетрясения, зарегистрированные полевой сейсмической сетью, установленной в Мангистауской области. Построен годограф для Западной части Казахстана, проведено его сравнение с годографами, построенными по данным ГСЗ для южного Урала и Мугоджар и района Прикаспийской впадины, а также с годографом IASPEI91.

Ключевые слова: Западный Казахстан, годограф, эталонные события, мирные ядерные взрывы, карьерные взрывы.

Введение. В районе Западного Казахстана длительное время отсутствовали регулярные сейсмические наблюдения. В 1994 году в районе хр. Мугоджары была введена в эксплуатацию сейсмическая станция Актюбинск АКТК, на месте которой в 2005 г. была установлена вспомогательная станция Международной сети мониторинга (AS059/АКТО). В 2003 г. открыта малоапертурная сейсмическая группа Акбулак (АВКАР) [1]. Кроме АКТО и АВКАР для обработки сейсмических событий из района Западного Казахстана и Каспийского региона используется сейсмическая группа МСМ Алибек (PS44), расположенная в Туркменистане. Несмотря на чувствительность сейсмических станций региона, точность определения эпицентров событий по данным КНЦД, западнее 55 градуса восточной долготы, районы Прикаспийской впадины, Мангистауской области, Каспийского моря, оставляет желать лучшего. Из сейсмических бюллетеней ISC [2] были выбраны события из района Каспийского моря с высокой точностью определения координат, с $S_{max} < 5$ км, количество станций, участвовавших в определении не менее 100, наличие близких к эпицентру станций. Сравнительный анализ параметров выбранных событий и тех же событий из каталога КНЦД показал существенные различия, так медиана разницы по широте $\delta\varphi = \varphi_{kndc} - \varphi_{isc} = 0.53^\circ$, по долготе $\delta\lambda = \lambda_{kndc} - \lambda_{isc} = 0.87^\circ$, медиана расстояния между эпицентрами $\Delta = 95$ км, $\delta t_0 = t_{0kndc} - t_{0isc} = 5.5$ с. (рисунок 1). Невысокая точность определения координат эпицентров, обусловлена односторонним расположением станций сети ИГИ НЯЦ РК, далекими расстояниями от эпицентров, а также отсутствием подходящей скоростной модели.

К сожалению, установка новых стационарных сейсмических станций в районе Западного Казахстана - дорогой и небыстрый процесс. Улучшить качество локализации событий поможет внедрение подходящего годографа, а также использование азимутальных поправок для СГ АВКАР.

Для построения уточненного годографа необходимо большое количество сейсмических событий с хорошо известными координатами и временем в очаге, а Западный Казахстан является слабосейсмичным районом [3, 4]. Хотя, для рассматриваемого района существуют скоростные сейсмические модели, разработанные в казахстанском Институте сейсмологии на основе интерпретации и обобщения ретроспективных фондовых и опубликованных материалов глубинных сейсмических зондирований по системе профилей [5, 6], они не были апробированы на конкретных событиях, не проведено их сравнение с другими годографами.

В связи со всем перечисленным построение регионального годографа для Западной части Казахстана представляет большой научный и практический интерес. Данная работа посвящена построению годографа на региональных расстояниях по записям промышленных ядерных взрывов (ПЯВ), произведенных в советское время на территории Западного Казахстана и Прикаспийской впадины, для которых координаты и время в очаге известны с достаточно высокой точностью, карьерные взрывы с известными параметрами и землетрясения, зарегистрированные полевой сейсмической сетью в районе Мангистауской области в 2016, 2021 гг.

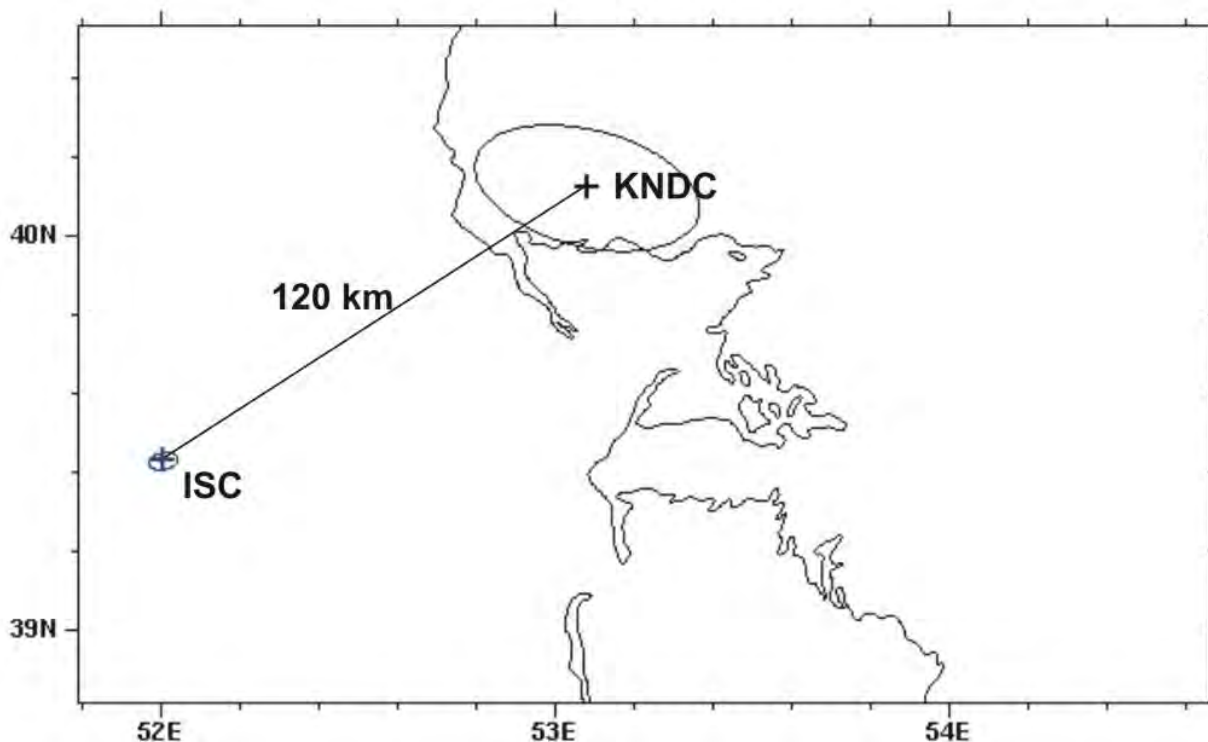


Рисунок 1 – Карта расположения эпицентра землетрясения 2005-09-24, $t_0=19:28:09.5$, по данным ISC и КНДЦ и эллипсы ошибок.

Используемые материалы. В.И.Шацлов провел районирование территории Казахстана на основе обобщений материалов региональных сейсмических зондирований земной коры (ГСЗ, ГСЗ-МОВЗ, КМПВ, Профильная томография), проводившихся для решения различных задач. Примерные границы районов, скоростные модели которых использованы для формирования обобщенных моделей, представлены на рисунке 2а. Основные особенности выделенных районов Западного Казахстана следующие.

Район V – территория южного Урала и Мугоджар, на севере район продолжен в пределы России из-за наличия добротных данных о скоростях в коре, на западе граничит с Прикаспийской впадиной, на востоке – с Торгайским прогибом. Вариации значений мощности коры от 42 км до 50 км, среднее значение 46 км.

Район VI – Карабогаз-Мангышлак-Устюртская часть Туранской плиты восточного Прикаспия. Несмотря на то, что это, в основном, казахстанская территория, кора района, как и III, не моделируется из-за недостатка данных по V_s .

Район VII – Прикаспийская впадина на юго-востоке Русской платформы, с востока ограничена структурами Урала, с юго-востока – Устюртом. По внутреннему строению коры район уникален, характеризуется мощным (до 22 км) осадочным чехлом, сверху очень низкоскоростным, и высокоскоростной нижней частью коры. Средняя мощность 39 км, вариации значений 36-43 км.

Шацловым В.И. были построены годографы для районов V и VII, для района VI было недостаточно данных. В связи со всем перечисленным построение регионального годографа для Западной части Казахстана представляет большой научный и практический интерес.

В качестве источников были использованы эталонные события (рисунок 2а):

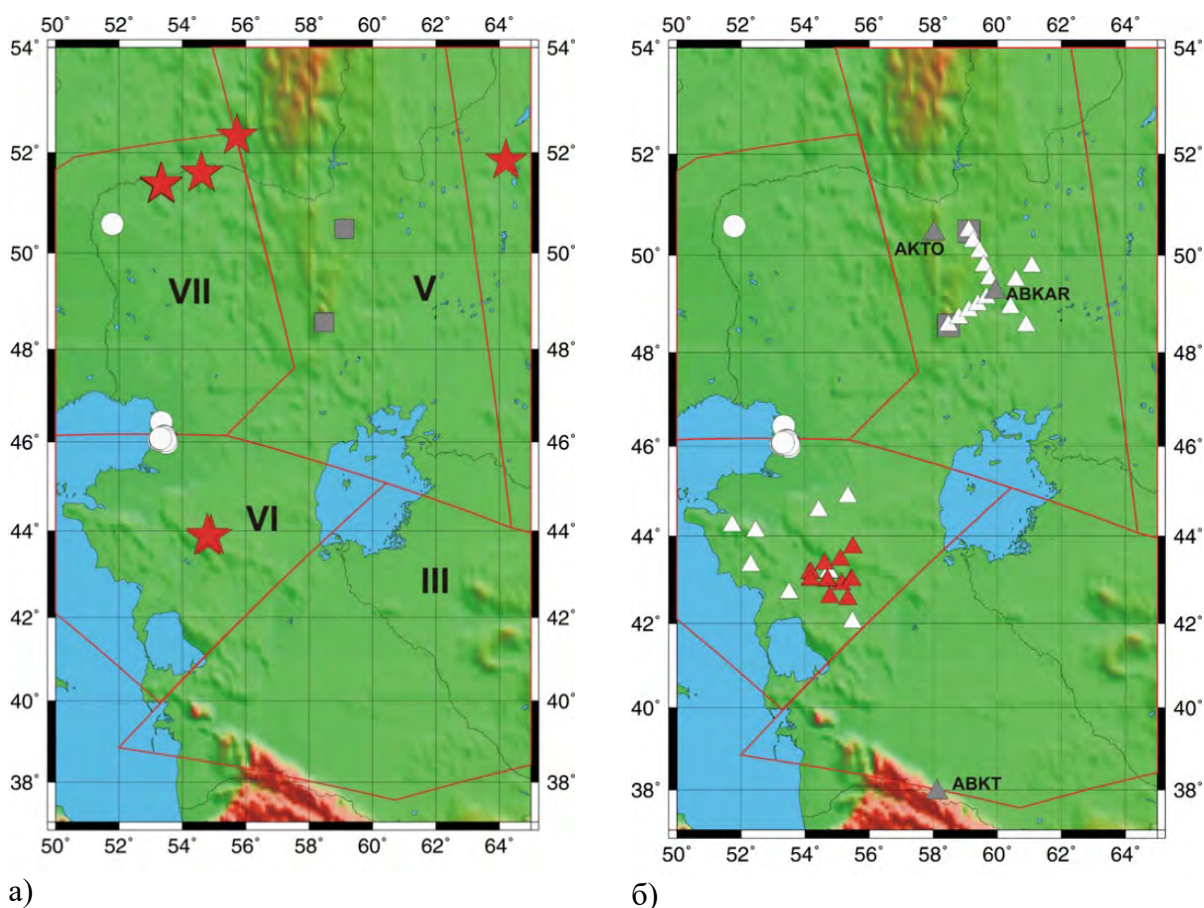
1. Мирные ядерные взрывы (МЯВ), произведенных в советское время (1968-1984 гг.) на территории Западного Казахстана и прилегающих районах России, для которых координаты и время в очаге известны с достаточно высокой точностью (рисунок 3). Координаты ПЯВ в последние годы были уточнены К. Маки в ходе полевых работ [7-9]. Мощность взрывов составила $Y=10\div 30$ Kt, диапазон магнитуд $mb=4\div 6$.

2. Карьерные взрывы на карьерах Муголжарский и «50 лет Октября» (2010 г.), с известными параметрами[10], зарегистрированные стационарными и полевыми станциями (рисунок 2б). Мощность взрывов составила $Y=10\div 25$ t, диапазон магнитуд $mb=2.02\div 2.7$.

3. Землетрясения в Атырауской области, зарегистрированные сейсмической сетью (рисунок 2б) 2016, 2022 гг., точность определения координат составляет 50-100 м, диапазон магнитуд $mb=3\div 4$. Шалкарское землетрясение 26.04.2008 г.[3].

Следует отметить, что глубины МЯВ составляют 0.4-1 км, а глубины землетрясений, используемых как эталонные 0-5 км, в связи с этим, данные как взрывов, так и землетрясений можно использовать для построения годографа.

Определение времен вступлений проводилось по конкретным вступлениям, отмечаемым на записях. Составлялись таблицы времен вступлений всех выделенных фаз по каждому типу аппаратуры для данной станции.



а) б)
Рисунок 2 – Карта расположения: а) эталонных событий на территории Западного Казахстана и прилегающих территорий. б) системы наблюдения. Звездочка – МЯВ, квадрат – карьерные взрывы, кружок – землетрясения, красные линии – границы районов по Шацилову [5], серые треугольники – стационарные станции, белые треугольники – станции временных сетей (2010, 2016 гг.), красные треугольники – полевые станции за 2021 г.

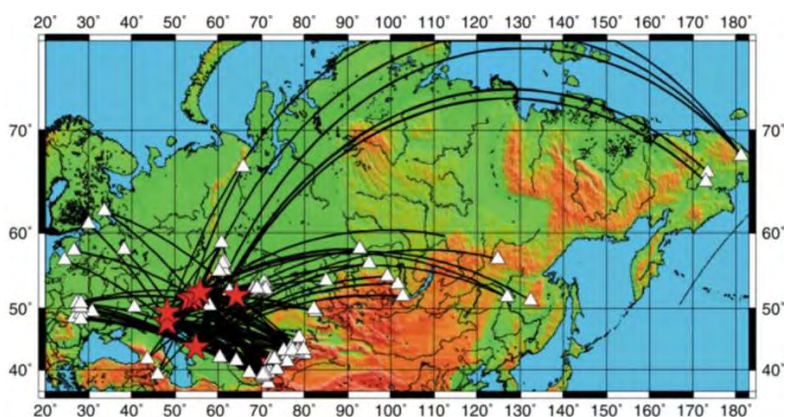


Рисунок 3 – Карта расположения эталонных ПЯВ на территории Западного Казахстана и прилегающих территорий и системы наблюдений. Звездочка – ПЯВ, треугольники – сейсмические станции, участвовавшие в обработке

Проведено сравнение годографа, построенного по записям ПЯВ, с двумя годографами Шацилова В.И., построенными по данным ГСЗ для двух разных районов Западного Казахстана. Годограф «Шациллов-1» построен для территории Южного Урала и Мугоджар [5]. Из сопоставления годографов следует, что значения скоростей по Pn- и Sn- волнам практически совпадают, тогда как скорость Lg-волны годографа, построенного по записям промышленных ПЯВ, значительно ниже (разница для 1000 км составляет 1.5 с), чем по годографу, построенному по данным ГСЗ.

Годограф «Шациллов-2» получен для района Прикаспийской впадины на юго-востоке Русской платформы. Значения скоростей по Pn- и Lg- волнам практически совпадают, тогда как скорость Sn-волны годографа, построенного по данным промышленных ПЯВ, меньше, чем для годографа по данным ГСЗ.

Годограф по записям карьерных взрывов и землетрясений. Для построения годографа по записям карьерных взрывов и эталонных землетрясений использованы записи стационарных сейсмических станций сети ИГИ НЯЦ РК, и временных полевых станций, установленных в Западном Казахстане в 2010, 2016, 2021 гг. [10, 11]. Для анализа были выделены три группы данных, различающихся эпицентральной расстоянием и волновой картиной на сейсмограммах, соответственно. Первая группа – ближняя зона, $\Delta = 0- 30$ км. Вторая группа – промежуточная зона, $\Delta = 30- 300$ км. Третья группа – дальняя зона, Δ до 700 км. По записям ближней зоны определялись времена вступления фаз P, S и Rg

На основе проведенных измерений времен вступлений и их анализа удалось построить годографы всех региональных фаз. Сводный годограф WKTTС по всем типам калибровочных источников (ПЯВ, карьерные взрывы и землетрясения) до 2000 км приведен на рис. 6. Времена пробега основных региональных сейсмических фаз в зависимости от эпицентрального расстояния могут быть представлены следующими уравнениями, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Уравнения годографов основных типов сейсмических волн

Фаза	Расстояние, км	Уравнение
P	0-30	$1,34 + 0,17 \cdot \Delta$
Pn	300 – 2000	$9,23 + 0,12 \cdot \Delta$
Pg	30-300	$0,20 + 0,16 \cdot \Delta$
S	0-30	$2,46 + 0,31 \cdot \Delta$
Sn	300-2000	$12,96 + 0,22 \Delta$
Lg(Sg)	30-300	$0,93 + 0,28 \cdot \Delta$
	300-2000	$8,09 + 0,28 \Delta$

Для сейсмической группы АВКАР, были найдены стационарные азимутальные поправки наблюдаемых и расчетных азимутов и времен вступлений для эталонных событий в районе Тенгизского месторождения, на рисунке 7 показан результат перелокализации эпицентра землетрясения 2016-08-27, $t_0=06:25:10$ с поправками, видно, что положение эпицентра приблизилось к истинному положению очага, уменьшился эллипс ошибок.

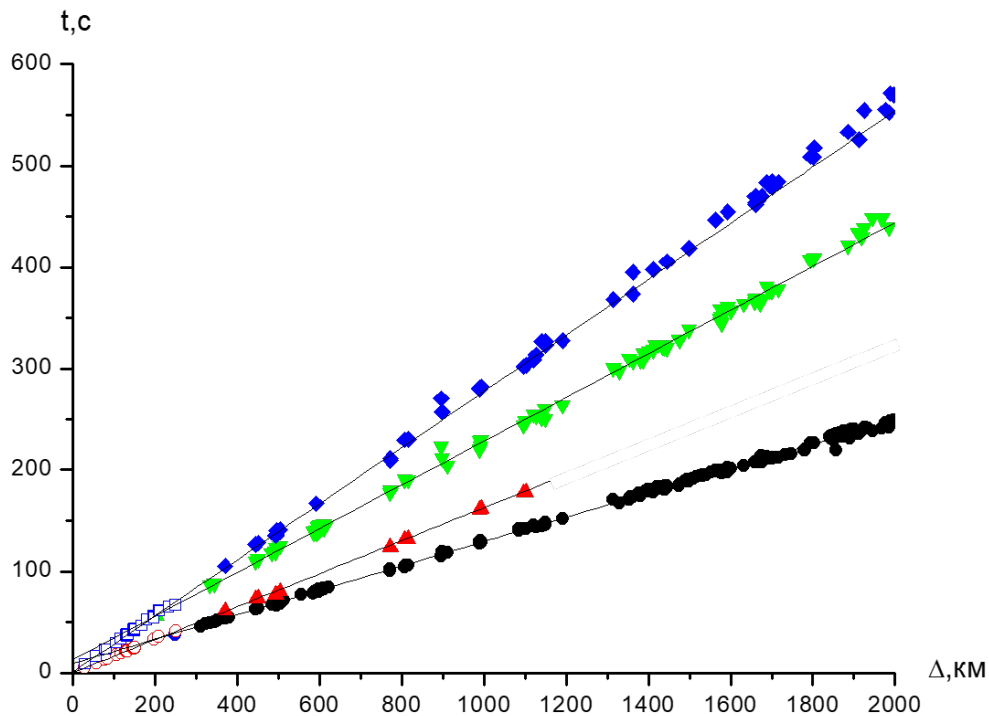


Рисунок 6 – Сводный годограф по результатам регистрации калибровочных источников в Западном Казахстане

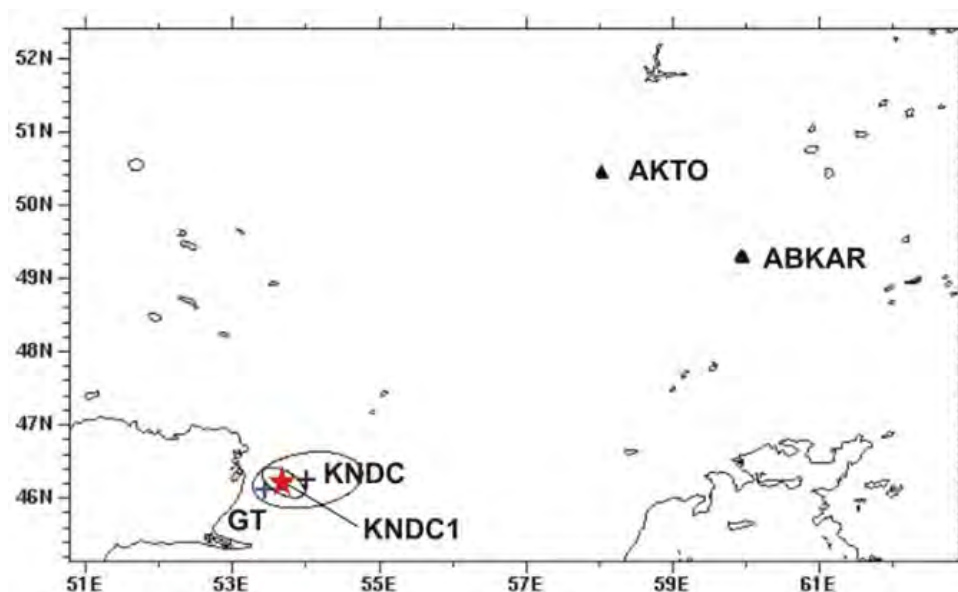


Рисунок 7 – Карта расположения эпицентра землетрясения 2016-08-27, $t_0=06:25:10$, по данным интерактивного сейсмического бюллетеня КНЦД, результат перелокализации с азимутальными поправками и эллипсы ошибок

Заключение. Построение и исследование нового годографа WKTTС для региональных расстояний по записям мирных ядерных взрывов, произведенных в советское время на территории Западного Казахстана и Прикаспийской впадины, калибровочных карьерных взрывов, эталонных землетрясений позволяют сделать несколько рекомендаций для

улучшения качества определения гипоцентра сейсмических событий, происходящих в данном регионе:

- для станций, расположенных в Западном Казахстане (AS059-Актюбинск, Акбулак) целесообразно использовать годограф WKTTC, или годограф «Шациллов-1» (для района Мугоджар), но только для волн Pn и Sn, или проводить локализацию с азимутальными поправками.
- годограф IASPEI91 следует использовать при локализации событий, происходящих в Западном Казахстане, только для волн Pn и Lg, в случае их хорошего окружения станциями.
- для повышения точности локализации событий, происходящих в Западном Казахстане, необходимо установить дополнительную трехкомпонентную станцию в районе Прикаспия.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерством Энергетики Республики Казахстан (программа BR09158470).

Литература

1. Mikhailova N.N., Sokolova I.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016 January-June. 2019. V. 53. Issue 1. P. 27–38.
2. Интернет ресурс: <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/bulletin/>
3. Михайлова Н.Н., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Полешко Н.Н. Сейсмичность Западного Казахстана по данным сети НЯЦ РК // Сейсмопрогностические наблюдения на территории Азербайджана / РЦСС НАНА. 2012. С. 336–348.
4. Нурмагамбетов А. Землетрясение 21 февраля 2011 г. и сейсмическая опасность Атырауского региона // Oil and gas of Kazakhstan. 2011. № 3. С. 100-103.
5. Шациллов В.И. и др. Скоростные модели земной коры Казахстана. Алматы: Евразия. 1993. 105 с.
6. Кайдаш Т.М. Р-скоростная структура литосферы в районе Мугоджар // Промышленность Казахстана. 2007. № 12. С. 46-47.
7. Kevin Mackey and Kazuya Fujita. Improvement of GT Classification of Soviet PNEs // Department of Geological Sciences Michigan University. P. 69.
8. Mackey K., Bergman E. Ground-Truth Locations for the Mangyshlak Peaceful Nuclear Explosion Sequence, Western Kazakhstan // BSSA. Vol. 104, No. 4, pp. 2116-2119.
9. Абишев А.Х., Яковенко А.М., Маккей К.Г. Инструментальное уточнение мест проведения мирных ядерных взрывов на территории Казахстана // Вестник НЯЦ РК. 2016. Вып. 4. С. 92-97.
10. Финальный отчёт по эксперименту в 2010 году «Изучение волновых свойств геологической среды в районе действия сейсмической станции Акбулак путём профильного измерения параметров карьерных взрывов на эталонных объектах (Мугалжарский и «50 лет Октября») с использованием полевых портативных сейсмических станций». Отчет по совместным работам ИГИ НЯЦ РК и АФТАС США. 2010 г.
11. Маккей К. и др. «Исследование сейсмических шумов в Западном Казахстане» с целью выбора места, пригодного для установки новой стационарной сейсмической станции, в рамках договора с Мичиганским государственным университетом США (SAQMMA15M2392 от 30.09.15).

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЯВЛЕНИЙ АРКТИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЯКУТИИ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ

Куляндина А.С., Козьмин Б.М., Шибает С.В.
Albineku@gmail.com

Якутский филиал Федерального исследовательского центра
«Единая геофизическая служба РАН», г. Якутск, Россия

На примере сильного Артыкского землетрясения 1971 г., на юго-восточной окраине системы хребта Черского в Арктической части Якутии анализируется сеймотектоническая обстановка в его эпицентральной области во взаимосвязи с «живой тектоникой», а также магнитным и гравиметрическим полями. По данным инструментальных наблюдений 4-х полевых сейсмостанций после главного толчка было зарегистрировано обширное поле афтершоков (более 1500 толчков). Показано, что все они тяготеют к крупному региональному Чай-Юреинскому левому сдвигу. Он вместе с другим Нерским разломом образует левую кулису, внутри которой расположена кайнозойская Верхненерская впадина. На площади около 1 млн кв.км. составлена карта изосейст с интенсивностью от 3 до 9 баллов по шкале MSK-64, в том числе приведены данные о нарушениях в рельефе самого эпицентра. Показано, что привлечение материалов по геофизическим полям позволило уточнить и объяснить локацию эпицентра концентрацией положительных и отрицательных максимумов ΔT_a и Δg_a .

Ключевые слова: активные разломы, изосейсты, геофизические поля, эпицентральная зона, магнитное поле, поле силы тяжести, сейсмичность, афтершоки.

Введение

Целью настоящей работы является изучение геофизических полей для установления их взаимосвязей с сейсмичностью и «живой тектоникой» на примере Артыкского землетрясения 1971 г., произошедшего в системе хр. Черского в Арктической части Якутии.

8 мая 1971 г. на территории Республики Саха (Якутия) вблизи границы с Магаданской областью произошло одно из сильнейших сейсмических событий на Северо-Востоке России за исторический (более одного века) и инструментальный (свыше 70 лет) периоды наблюдений – Артыкское землетрясение (рис. 1). Его магнитуда, по разным оценкам [1], достигала величины от 6,6 до 7,1, а интенсивность в эпицентре составляла 9 баллов (шкала MSK-64). Площадь его ощутимых сотрясений составила более 900 тыс. кв.км. Наибольшие нарушения в рельефе были обнаружены на участке 18 кв. км (рис. 2). 4-балльные эффекты отмечались на большой территории от п. Хонуу в Якутии до г. Магадан, отстоящих друг от друга на 800 км. Потери для населения и существенный материальный ущерб данное событие не принесло, так как пришлось на малонаселенную местность и имело значительную глубину очага ($h=16$ км).

Эпицентр толчка приурочен к зоне влияния крупного регионального Чай-Юреинского разлома [2]. Он прослеживается на расстоянии 700 км. в виде отдельных кулис практически от Ольской впадины вблизи побережья Охотского моря в северо-западном направлении до р. Индигирки. С ним же генетически связана цепочка молодых впадин, выполненных озерно-аллювиальными отложениями (Охотничья, Тагынбинская, Джелканская, Делянкиро-Худжахская), объединяемых под общим названием Верхненерских. Разлом отчетливо выражен в рельефе, сдвиговый характер его смещения подчеркивается коленообразным однотипным изгибом русел рек [1].

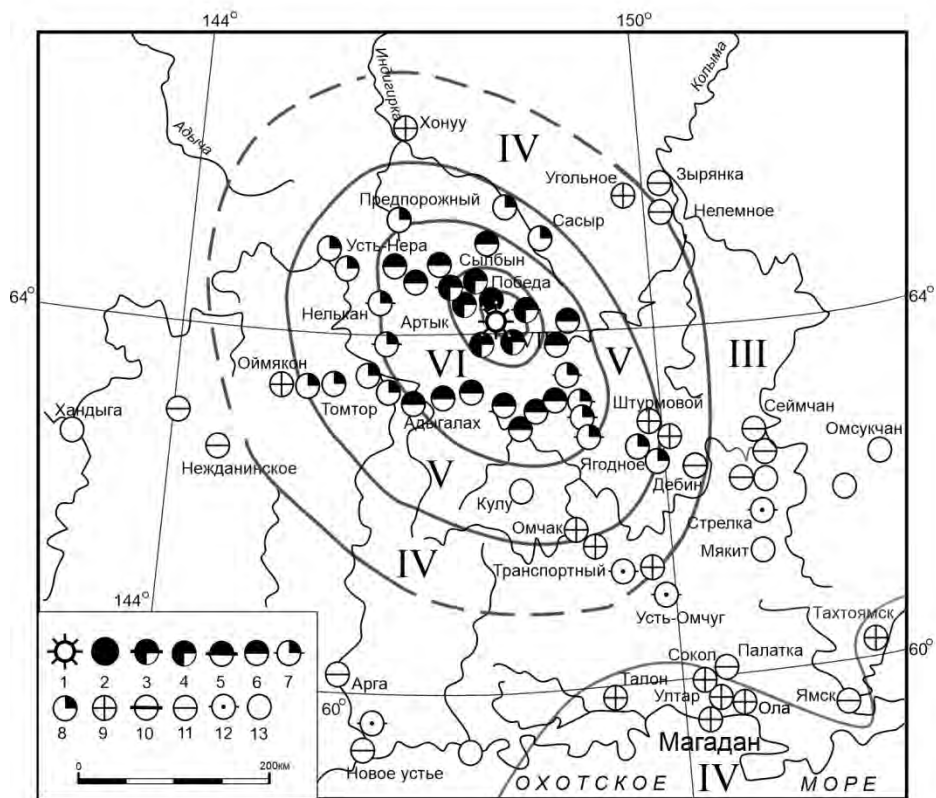


Рисунок 1 – Карта изосейст Артыкского землетрясения [5].

1 – эпицентр основного толчка; 2 – область наибольших поверхностных деформаций; 3-13 – интенсивность сотрясений в баллах (шкала MSK-64): 3 – 8, 4 – 7, 5 – 6-7, 6 – 6, 7 – 5- 6, 8 – 5, 9 – 4, 10 – 3-4, 11 – 3, 12 – 2, 13 – не ощущалась.

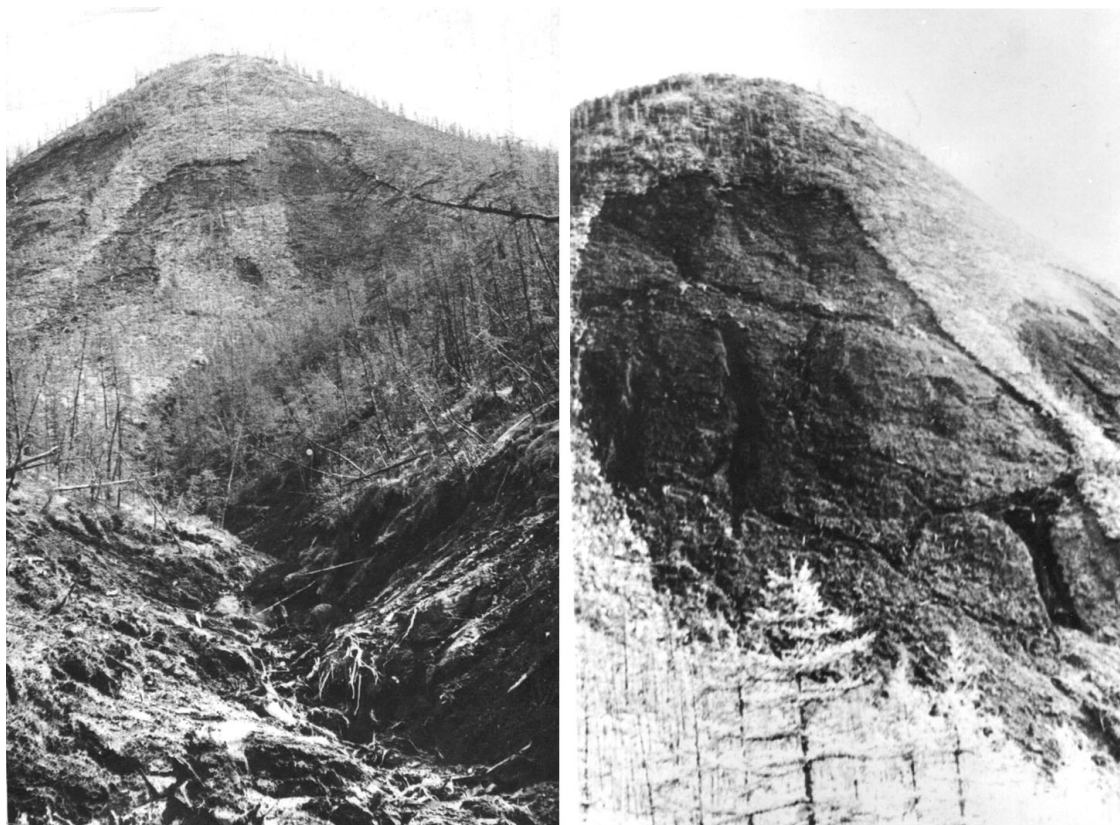


Рисунок 2 – Нарушения рельефа (крупные обвалы, повал леса и др.) в эпицентральной зоне землетрясения 1971 г.

Методы исследования

В работе использовались записи локальной сети из 4-х временных полевых сейсмостанций, которые были открыты вокруг эпицентральной зоны Артыкского события. По этим материалам представлено распределение эпицентров его афтершоков землетрясений по энергетическим классам $K_p = 6-10$ (рис.2).

Интерпретация магнитных и гравиметрических полей проводилась на основе цифровых мелкомасштабных карт аномального магнитного поля (ΔT_a) М 1:500 тыс. – М 1: 5 млн., а также поля силы тяжести (Δg_a) в масштабе от 1:500 тыс. – М 1: 5 млн. для территории Республики Саха (Якутия) [3,4]. В картах были учтены все доступные материалы масштаба 1:200 тыс. аэромагнитной и гравиметрической изученности на январь 2005 года. Цифровые варианты таких карт обеспечивают детальность интерпретации гравиметрических и магнитных данных как от выделения слабых эффектов Δg_a (М 1:500 тыс.), так и локализации региональной составляющей Δg_a (М 1:1500 млн.). Это позволяет надежно выделить все зафиксированные особенности магнитного поля, предназначенные для изучения глубинного геологического строения, тектонического и сейсмического районирования, обосновывающих перспективы участков территории на поиски различных полезных ископаемых.

В качестве базовой системы для работы с электронным оригиналом комплекта мелкомасштабных карт использована геоинформационная система ArcGIS 10.4.1 фирмы ESRI, позволяющая выполнить визуализацию, преобразование и выдачу аналоговых данных для основных и вспомогательных тем в Shp-формате.

Сейсмичность и геофизические поля.

Для анализа пространственного распределения Артыкского толчка и его афтершоков в зависимости от локации активных разломов и геофизических полей была построена сводная карта перечисленных параметров геологической среды, представленная на рис.2. В ней в изолиниях аномал магнитного и гравитационного полей и показан их рисунок относительно положения рассматриваемой эпицентральной зоны. Это облако эпицентров с течением времени начало менять свою структуру, т.к. очаги землетрясений стали мигрировать не вдоль трассы Чай-Юреинского разлома, к которому они тяготели в течение 1971 г., а поменяли своё перемещение на запад внутрь Верхненерской впадины ближе к Нерскому разлому. Остальная часть афтершоков сместилась в противоположном направлении к Иньяли-Дыбинскому разлому на восток. Возможно, этому способствовала сеть локальных разломов 2-го порядка, секущих поперек Чай-Юреинский и Нерский дизъюнктивы в направлении W-E.

Магнитное поле на рис.2 выражено цепочкой локальных отдельных максимумов, имеющих изометрическую форму (петельная, амёбообразная и др.) с изменчивыми простирациями. Значения ΔT здесь достигают 200-400 нТл на общем фоне, не превышающем – 100 нТл. Следует отметить, что прежние представления о непрерывном линейном положении магнитных аномалий вдоль Чай-Юреинского разлома не подтверждается [2].

Рисунок изоаномал поля силы тяжести, напротив, отличается от дискретных изолиний в магнитном поле. Изолинии силы тяжести вытянуты к северо-западу и совпадают по простираанию с ориентацией Чай-Юреинского и Иньяли-Дыбинского нарушений. При этом, градиент в поле Δg_a для Верхненерской впадины, где зафиксировано Артыкское эпицентральной поле, достигает – 60 мГал. Непосредственно в пределах самого кластера подземных толчков ориентация линий гравитационных аномалий становится разнонаправленной.

Особый интерес представляет характер проявления геофизических полей в районе эпицентра главного толчка, где образовался узел (клубок) отдельных максимумов как положительных аномалий ΔT , соответствующих 200-400 нТл, так и самой крупной в Якутии отрицательной аномалии -400 нТл, приуроченной к Чай-Юреинскому разлому. Указанная аномалия имеет протяженность около 20 км, при ширине от 5 до 10 км. Здесь же присутствуют небольшие (до -60 мГал) отрицательные максимумы поля силы тяжести. Кроме того, отмеченные расположения геофизических полей коррелируется с местными

мезозойскими и кайнозойскими структурами (впадинами и магматическими образованиями (дайки, штоки и др.), а также системами разломов).

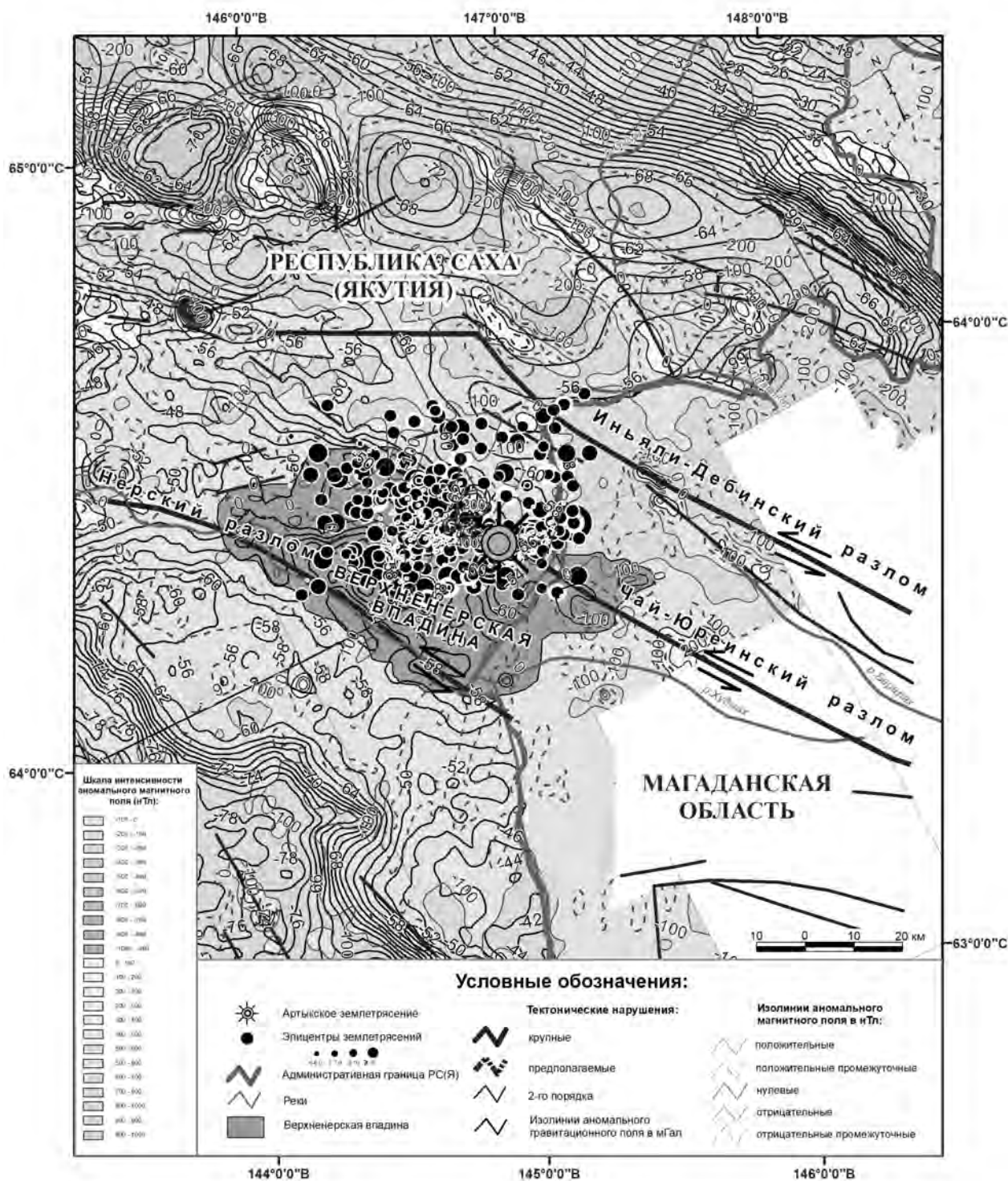


Рисунок 3 – Локации эпицентров, живые разломы и геофизические поля в районе Артыкского землетрясения 1971 г.

Заключение

В итоге, проведено сопоставление карт гравитационных и магнитных аномалий с картами сейсмичности и активной тектоники в эпицентральной зоне крупного Арктического землетрясения 1971 г. На основе качественной интерпретации

геофизических полей выявлены несколько аномальных участков, сопутствующих Артыкскому землетрясению, что позволяет их использовать для распознавания других сейсмических катастроф. Каждый участок охарактеризован по следующим признакам: характер изменения поля, его преобладающий знак, экстремальные и средние значения полей. Полученные материалы, отображающие взаимосвязь геофизических полей с сейсмичностью и «живой» тектоникой могут стать основой для возможного прогноза будущих сильных катастроф.

Литература

1. Козьмин Б.М., Сейсмические пояса Якутии и механизмы их источников землетрясений. М.: Наука. 1984. 125 с.
2. Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин Б.М. Активные разломы и сеймотектоника Северо-Восточной Якутии. Якутск. 1990. 138 с.
3. Бузикова О.Г. Отчет по теме: "Создание цифровой карты гравитационного поля территории Республики Саха (Якутия) масштаба 1:500000, 1:1000 000, 1:1500000, 1:2500000, 1:5000000 по состоянию изученности на 1.01.2005 г. в 2002-2004 г.г.". 2004. № отчета в ТГФ 20545.
4. Федосеев Л.К. Отчет по теме: "Создание цифровой карты магнитного поля территории Республики Саха (Якутия) масштаба 1:500000, 1:1500000, 1:2500000, 1:5000000 по состоянию изученности на 1.01.2005 г. в 2002-2004 г.г.". 2004. № отчета в ТГФ 21263.
5. Курушин Р.А., Демьянович М.Г., Кочетков В.М. Макросейсмические последствия Оймяконского землетрясения // Сейсмичность и глубинное строение Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: СахКНИИ ДВНЦ АН СССР. 1976. С. 50-60.

СРАВНЕНИЕ НАЗЕМНЫХ МНОГОЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С ДАННЫМИ МОДЕЛИ IGRF-13

Лазарева Е.А.

ekaterina.lazareva88@gmail.com

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

В статье рассматриваются результаты сравнения наземных данных магнитного поля Земли с данными международной модели IGRF. В качестве наземных данных были использованы многолетние результаты наблюдений геомагнитного поля на базовой станции Ак-Суу, входящей в состав сети геомагнитного мониторинга Научной станции РАН за период с 1994 по 2021 гг. В качестве модели главного магнитного поля Земли использовалась модель IGRF в 13й редакции, которая актуальна до 2025 года. Рассчитанные по модели IGRF-13 компоненты главного магнитного поля Земли характеризуются непрерывным ростом за рассматриваемый период наблюдений. Увеличение величины геомагнитного поля T определяется в основном его вертикальной составляющей Z , несмотря на уменьшение значений горизонтальной составляющей X . Результаты наземных измерений полного вектора геомагнитного поля T хорошо согласуются с данными, полученными по международным моделям IGRF-13 и EMM.

Ключевые слова: геомагнитное поле, элементы земного магнетизма, магнитное склонение, магнитное наклонение, полный вектор, модель IGRF-13

Введение. Известно, что магнитное поле Земли не постоянно, оно медленно изменяется с течением времени по своей величине и направлению. Эти вековые изменения (или вековой ход) геомагнитного поля можно изучить при помощи многолетних наблюдений над элементами земного магнетизма в различных точках земной поверхности [1]. На рис. 1 представлены элементы земного магнетизма. В прямоугольной системе координат вектор напряженности T раскладывают на горизонтальную H и вертикальную Z составляющие (рис. 1). Горизонтальную составляющую можно разложить на северную X и восточную Y компоненты. Положение вектора T в пространстве характеризуется двумя угловыми составляющими земного магнетизма: магнитным склонением D и наклонением I . Величины H , Z , X , Y , D и I представляют собой координаты конца вектора T в различных системах координат [1].



Рисунок 1 – Элементы земного магнетизма, представленные в прямоугольной системе координат

Измерения элементов земного магнетизма выполняют в стационарных и передвижных магнитных обсерваториях, а также в ходе специальных наземных, морских, воздушных и спутниковых магнитных съемок. На Научной станции РАН одной из основных задач режимных геомагнитных наблюдений является выявление связи вариаций локального магнитного поля с деформационными процессами земной коры и вариациями других геофизических полей. Для этого на 7 стационарных и 9 передвижных пунктах геомагнитного мониторинга проводятся наблюдения за вариациями модуля полного вектора геомагнитного поля [2].

Данные. В качестве данных наземных наблюдений были использованы значения многолетних измерений полного вектора геомагнитного поля по стационарному пункту Ак-Суу, который является базовой станцией геомагнитного мониторинга, проводимого на Научной станции РАН. Для расчетов использовались данные с 1994 по 2021 гг, с дискретизацией измерений 20 секунд и вычислением среднемесячных значений модуля полного вектора геомагнитного поля.

Наряду с наземными измерениями, использовались значения, рассчитанные по международной модели главного магнитного поля Земли IGRF-13 (International Geomagnetic Reference Field). Это последняя версия стандартного математического описания главного магнитного поля Земли, которая широко используется при исследованиях недр Земли, ее коры, ионосферы и магнитосферы [3]. В модель введен набор коэффициентов, описывающих крупномасштабную, изменяющуюся во времени часть внутреннего магнитного поля Земли. Данная версия модели IGRF действительна с 1900 по 2025 год. Каждые 5 лет она усовершенствуется, так например, если модель IGRF-11 насчитывала 120 коэффициентов, то текущая модель IGRF-13 содержит уже 195 коэффициентов [3]. Модель IGRF применима не только на поверхности Земли, но и за ее пределами, где главное магнитное поле может быть описано как градиент скалярного потенциала, $T = -\nabla V$, который представляется как конечное разложение в ряд коэффициентов, также известных как коэффициенты Гаусса:

$$V(r, \theta, \phi, t) = a \sum_{n=1}^N \sum_{m=0}^n \left(\frac{a}{r} \right)^{n+1} \left[g_n^m(t) \cos(m\phi) + h_n^m(t) \sin(m\phi) \right] P_n^m(\cos \theta)$$

Здесь r – радиальное расстояние от центра Земли, θ и ϕ – широта и долгота соответственно, $a = 6371,2$ км – средний радиус Земли. P_n^m – присоединенные полиномы Лежандра. Коэффициенты Гаусса g_n^m, h_n^m выражаются в единицах нанотесла (нТл). Они непрерывно изменяются во времени и в модели IGRF-13 представлены с интервалом в 5 лет.

Результаты и обсуждения. Для сравнения данных, рассчитанных по международной модели IGRF-13 с данными, полученными с помощью наземных наблюдений, были рассчитаны параметры геомагнитного поля по модели IGRF-13 для местоположения станции Ак-Суу за период с 1980 по 2024 гг. В табл. 1 приведен фрагмент результатов этих расчётов.

На рис. 2 изображены временные ряды изменения характеристик магнитного поля Земли, рассчитанные по модели IGRF-13 для координат станции Ак-Суу за 1980-2024 гг.

Вычисление значений элементов земного магнетизма по модели IGRF-13 позволило показать значительное изменение их векового хода (рис. 2). Так, например с 1991 г. значения полного вектора (Total intensity) непрерывно увеличиваются в среднем на величину от 5 до 20 нТл в год, а общее увеличение за рассматриваемый период наблюдений (1980 – 2024 гг.) составляет ~1650 нТл. Как видно из рис. 2, элементы магнитного поля увеличиваются в среднем на 1° для склонения (Declination) и на 2° для наклонения (Inclination). Несмотря на значительное уменьшение X-компоненты (в среднем на 890 нТл) за указанный период, величина результирующего вектора T непрерывно увеличивается, так как это увеличение происходит в основном за счет увеличения вертикальной компоненты магнитного поля Z. Значения Y-компоненты за рассматриваемый период увеличиваются в среднем на 340 нТл, где их непрерывный рост прерывается только в 2000 – 2005 гг.

Таблица 1 – Элементы земного магнетизма, рассчитанные по модели IGRF-13 для местоположения станции Ак-Суу (42.6103 N, 74.0099 E) за период с 1980 по 2024 гг.

Годы	D, °	I, °	H, нТл	T, нТл	X, нТл	Y, нТл	Z, нТл
1980	4.51665	61.51098	25555.5	53576.5	25476.1	2012.5	47088.8
1980.25	4.51985	61.51741	25547.9	53571.8	25468.5	2013.3	47087.5
1980.5	4.52304	61.52383	25540.4	53567.1	25460.9	2014.1	47086.3
1980.75	4.52624	61.53026	25532.9	53562.4	25453.3	2014.9	47085

2024	5.4569	63.38208	24714.3	55161.1	24602.3	2350.3	49314.8
2024.25	5.46136	63.40085	24708.2	55183.6	24596.1	2351.6	49343
2024.5	5.46583	63.41961	24702.1	55206.1	24589.8	2352.9	49371.2
2024.75	5.4703	63.43835	24696	55228.6	24583.6	2354.3	49399.4

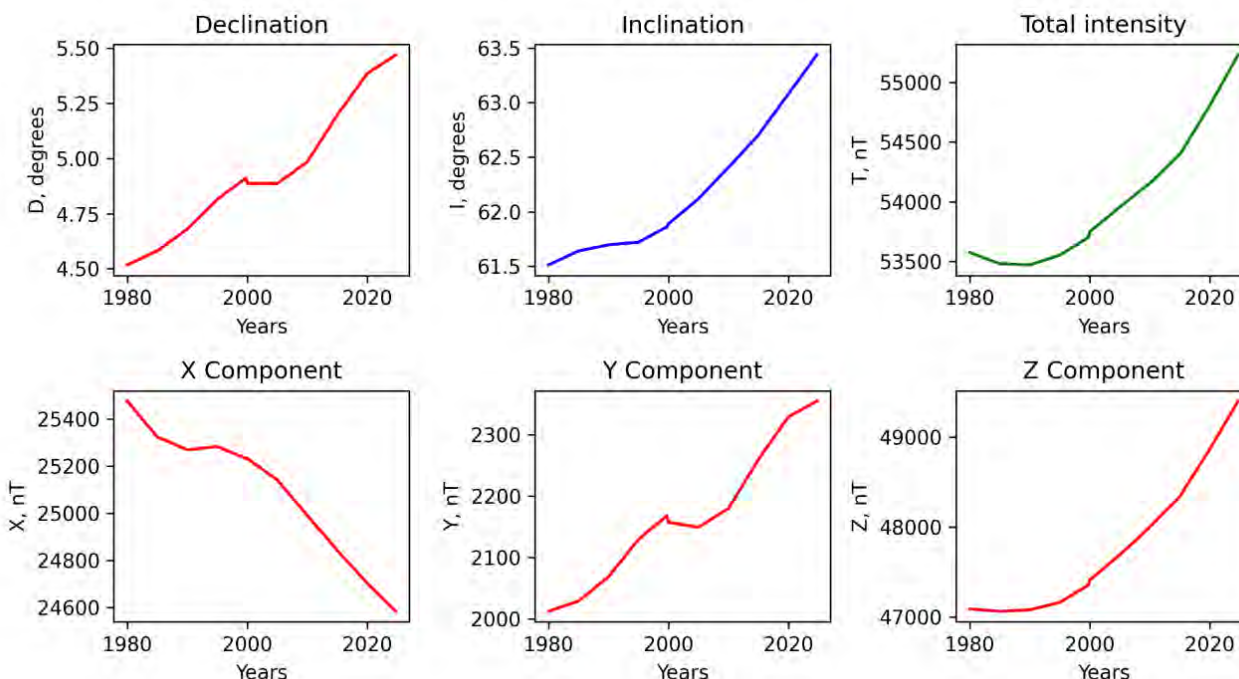


Рисунок 2 – Временные вариации элементов земного магнетизма для местоположения станции Ак-Суу за период с 1980 по 2024 гг.

Как видно из рис. 3, кроме данных, полученных с помощью модели IGRF-13, характер изменения векового хода можно проследить и на модели EMM (Enhanced Magnetic Model) [4]. Для сравнения хода вековых вариаций полного вектора магнитного поля были также выбраны данные по наземной станции Ак-Суу. Результаты сравнения вариаций представлены на рис. 4. Для наглядности сравнения, при построении графиков на станции Ак-Суу была исключена локальная составляющая. Из графиков видно, что наземные измерения хорошо согласуются с данными, полученными по моделям IGRF-13 и EMM, а кривые вековых вариаций магнитного поля Земли выглядят идентичными друг другу. Значительный рост значений полного вектора геомагнитного поля с увеличением скорости нарастания наблюдается с 2015 года. Это отражается как на графике наземных данных измерений, так и на графиках моделей IGRF-13 и EMM.

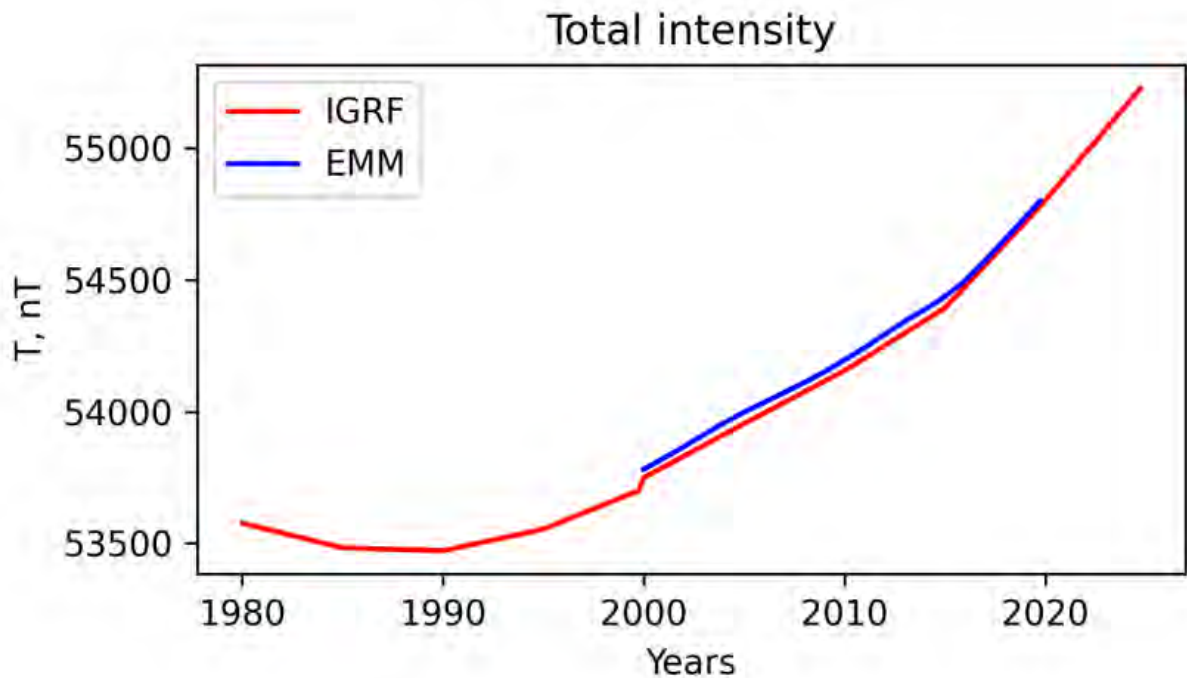


Рисунок 3 – Вариации модуля полного вектора магнитного поля по данным моделей IGRF-13 (красная) и EMM (синяя)

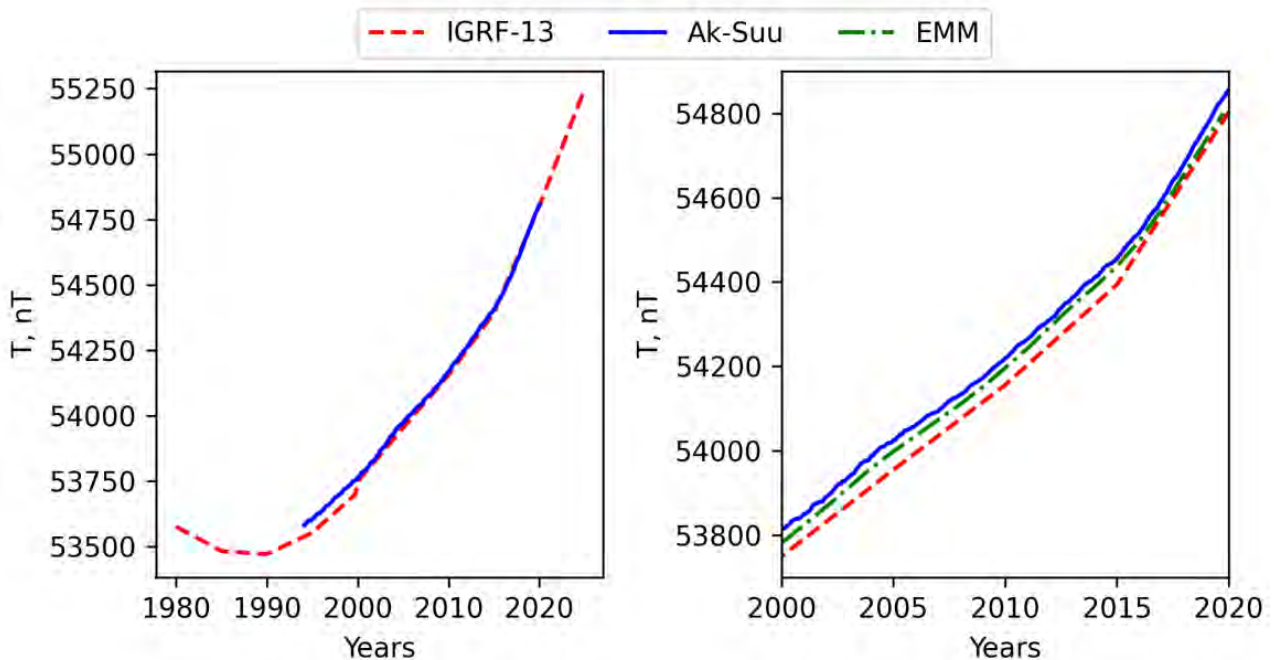


Рисунок 4 – Вековой ход вариаций полного вектора магнитного поля Земли по данным наземной станции Ак-Суу (синяя сплошная), моделей IGRF-13 (красная штриховая) и EMM (зеленая штрихпунктирная)

Выводы. Приведенные результаты расчета характеристик главного магнитного поля Земли по международным моделям IGRF-13 и EMM, хорошо согласуются с данными наземных наблюдений, проводимых на базовой станции геомагнитного мониторинга Ак-Суу за период с 1994 по 2021 гг. Величина результирующего вектора геомагнитного поля, рассчитанная по модели IGRF-13 непрерывно растет за рассматриваемый период времени и определяется в основном его вертикальной составляющей. Данную модель можно

использовать для оценки многолетних вариаций не только полного вектора геомагнитного поля, но и других элементов земного магнетизма.

Результаты, представленные в данной работе, получены в рамках выполнения государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Научной станции Российской академии наук в г. Бишкеке (тема АААА-А19-119020190064-9).

Литература

1. Гвишиани А.Д., Лукьянова Р.Ю., Соловьёв А.А. Геомагнетизм: от ядра Земли до Солнца. М.: РАН. 2019. 186 с. ISBN 978-5-907036-43-7
2. Мухамадеева В.А., Воронцова Е.В., Лазарева Е.А. Опыт проведения геомагнитных наблюдений на Бишкекском геодинамическом полигоне // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2015. Т. 15. № 3. С. 130-133.
3. Alken P., Thébault E., Beggan C.D. et al. International Geomagnetic Reference Field: the 13th generation // Earth Planets Space. 73, 49. 2021. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01288-x>
4. Oehler J.F., Rouxel D., Lequentrec-Lalancette M.F. Comparison of global geomagnetic field models and evaluation using marine datasets in the north-eastern Atlantic Ocean and western Mediterranean Sea // Earth Planets Space 70, 99. 2018. <https://doi.org/10.1186/s40623-018-0872-y>

ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ОЧАГОВЫХ ЗОН РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Лютикова В.С., Литовченко И.Н.

iragal63@mail.ru, litovira@rambler.ru, nikki.valo16@gmail.com

Институт сейсмологии Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан,
г. Алматы, Республика Казахстан

В работе исследовались связи между физическими параметрами очаговых зон роев землетрясений Северного Тянь-Шаня, прилегающих территорий и супервулкана Йеллоустон. Роевые события, распознаны в сейсмичности на указанной территории (на примере 2019 г). В очагах роев рассчитаны реологические и термодинамические параметры, построены графики зависимостей этих параметров, исследованы связи между ними.

Ключевые слова: рои землетрясений, реологические и термодинамические параметры, диаграмма зависимостей параметров в очагах.

Введение. Многие авторы отмечают, 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. Пространственные размеры роев, примерно, равны размерам эпицентральных зон сильных землетрясений. Они возникают, как в зонах континентальной сейсмичности, так и в зонах субдукции. Рои наряду с форшоками образуют прогностические последовательности сейсмических событий [3-5]. Ниже рассмотрены некоторые общие закономерности в изменении термодинамических и реологических характеристик роев землетрясений в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и супервулкана Йеллоустоун. Наряду с рассмотрением роев землетрясений в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, рассматривались так же землетрясения в районе супервулкана Йеллоустон.

Исходными данными исследований являются рои, распознанные в сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий за 2019г. Дополнительно исследовались рои супервулкана Йеллоустон по мировому каталогу землетрясений.

На рисунке 1 представлено пространственное распределение роев землетрясений Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, распознанных в сейсмичности региона. На рисунке 2 представлены землетрясения и рои вокруг супервулкана Йеллоустоун (44°24' N, -110°42' W) и прилегающих территорий.

Необходимо исследовать связи между физическими параметрами очаговых зон роев землетрясений, какие реологические и термодинамические условия в очагах роев имеют место. Для этого, проводилось распознавание роев, и расчет в их очагах термодинамических и реологических параметров с применением известной вычислительной методики [1].

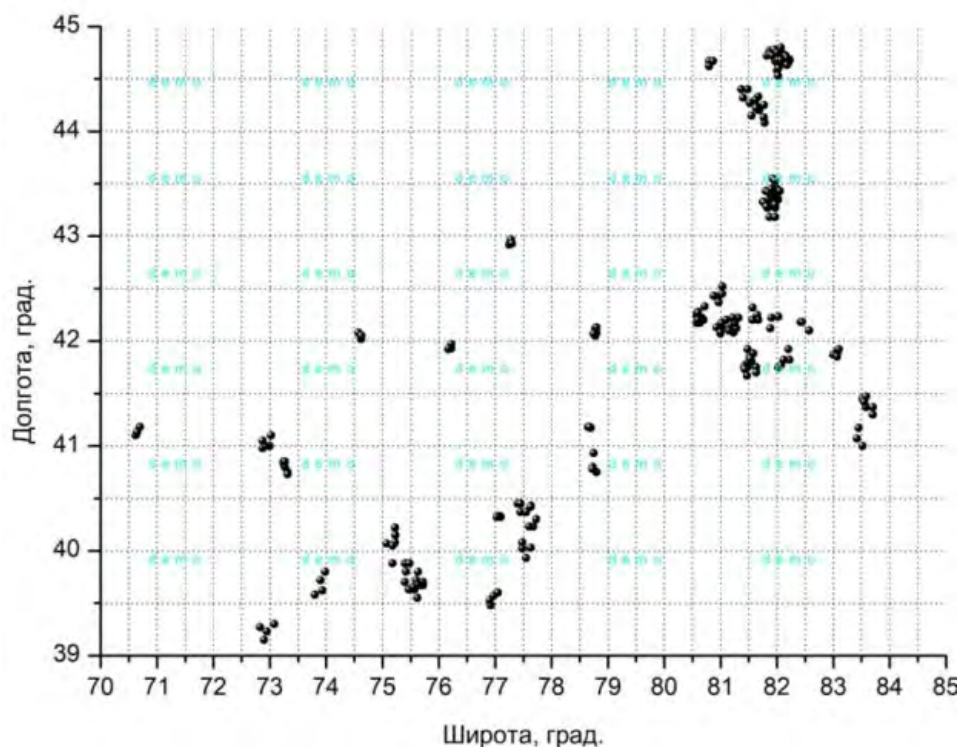


Рисунок 1 – Пространственное распределение роев землетрясений за 2019 г. на территории 39-45°N, 70-85°E

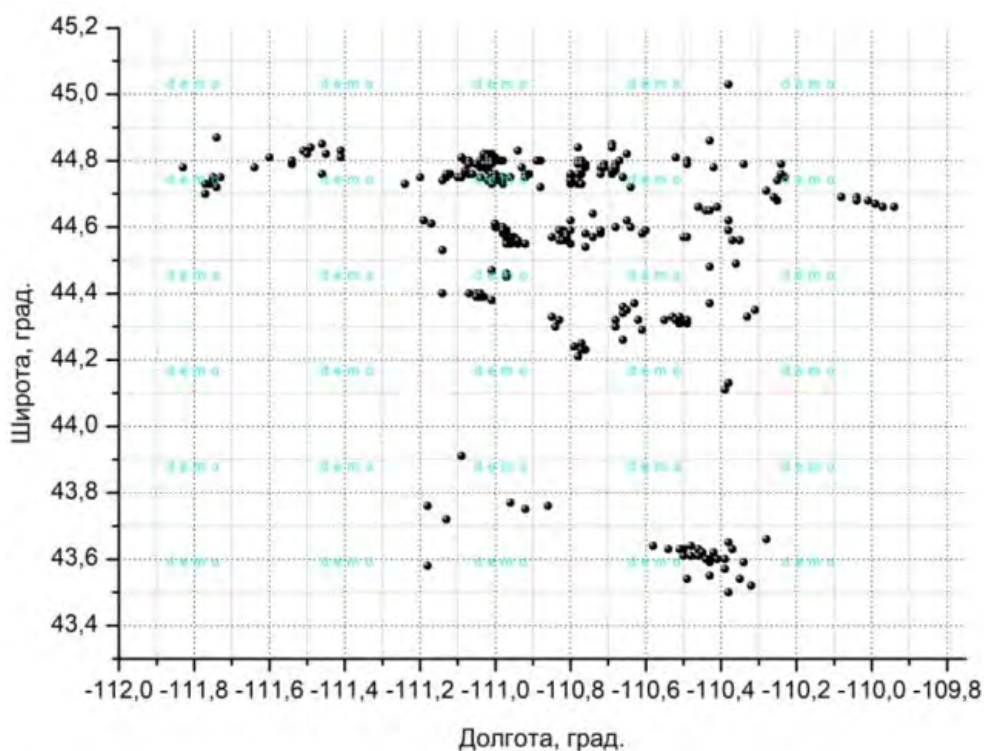


Рисунок 2 – Пространственное распределение землетрясений на территории супервулкана Йеллоустоун и прилегающей территории (43.5-45°N, -111.8-109°W)

Методика расчета физических параметров. По методике [1] рассчитаны физические параметры в очагах землетрясений [2] с $M \geq 2.0$ за 2019 г., энергии сейсмических волн; магнитуды; температуры среды очага; вязкости в очаге. В соответствии с методикой [1] для каждого очага роев вычислены термодинамические и реологические параметры.

Полученные результаты представляются в виде зависимостей их от магнитуды, температуры, вязкости, глубины и других параметров. Графики показаны на рисунках 4-11.

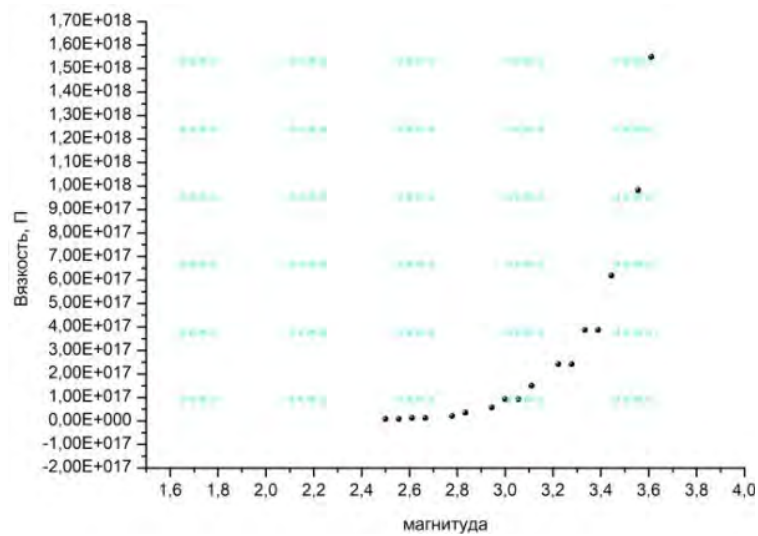


Рисунок 4 – График зависимости вязкости от магнитуды в очагах роев за 2019 г.

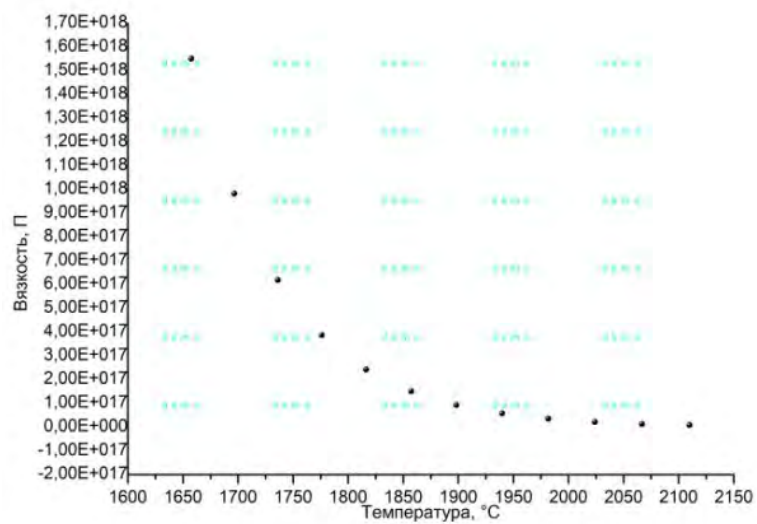


Рисунок 5 – График зависимости вязкости от температуры в очагах роев за 2019 г.

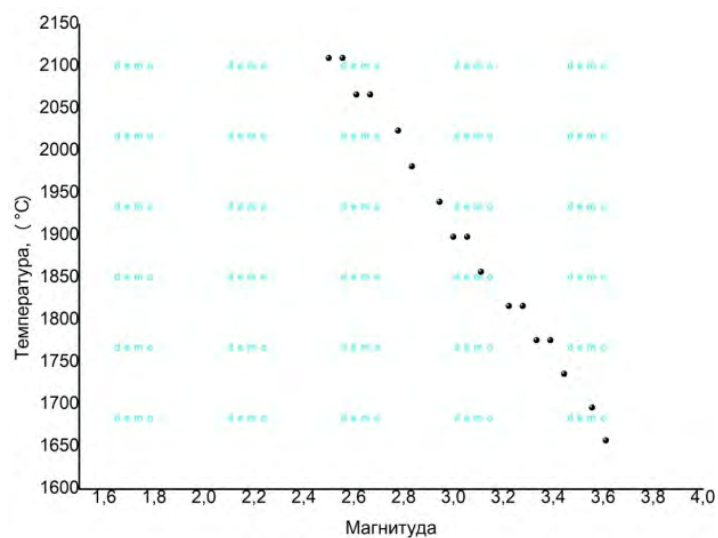


Рисунок 6 – График зависимости температуры от магнитуды в очагах роев за 2019 г.

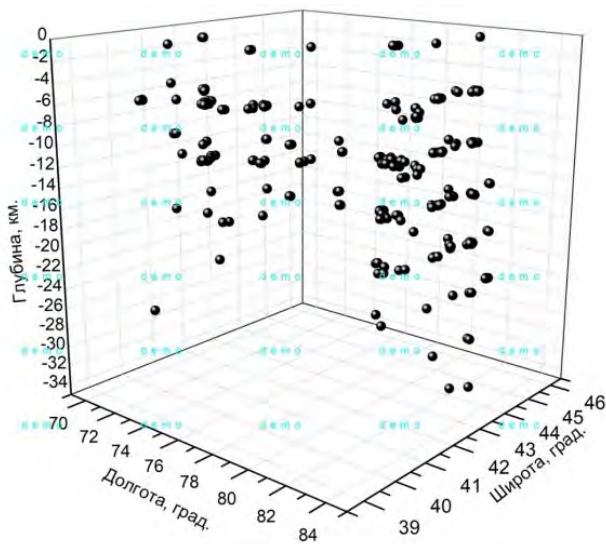


Рисунок 7 – Гипоцентры роев за 2019 г.

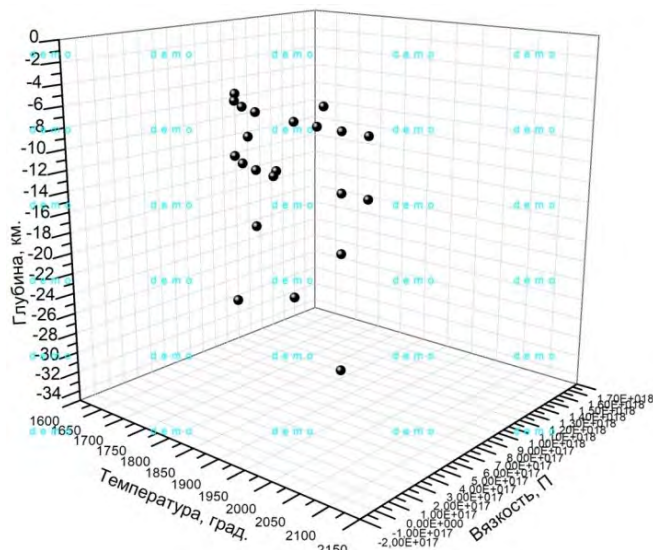


Рисунок 8 – Зависимости температуры и вязкости от глубины на территории 39-45°N, 70-85°E

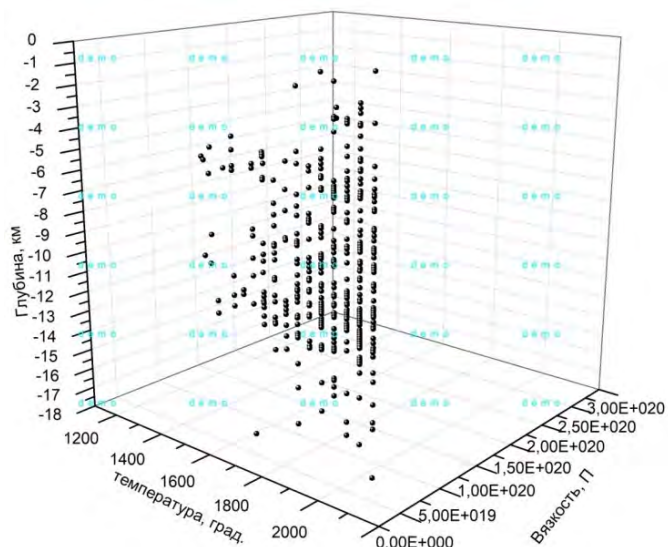


Рисунок 9 – Зависимости температуры и вязкости от глубины в области супервулкана Йеллоустоун и прилегающей территории (43.5-45°N, -111.8-109°W)

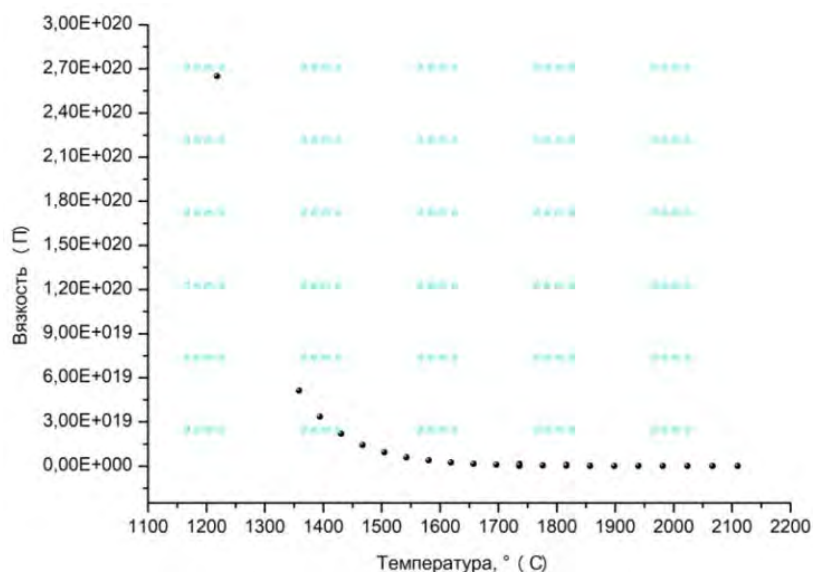


Рисунок 10 – График зависимости вязкости и температуры в очагах землетрясений супервулкана Йеллоустон, рассматриваемых в районе исследования

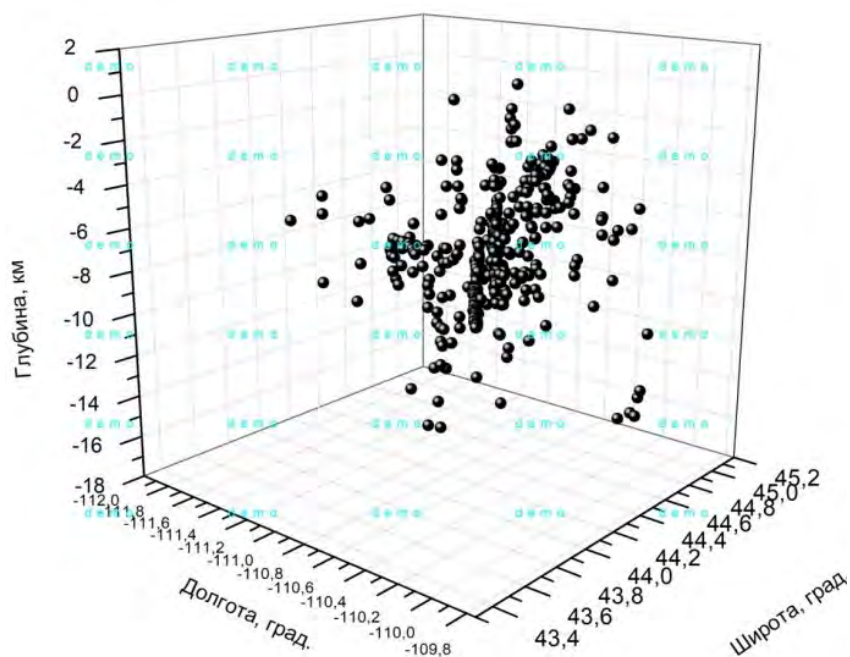


Рисунок 11 – Гипоцентры землетрясений супервулкана Йеллоустон, рассматриваемых в районе исследования

Результаты анализа. Как можно видеть из распределения гипоцентров роев Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий глубина их залегания ограничивается диапазоном от 5 до 30 км. В этом сейсмоактивном регионе рои группируются в определенных участках: 43-45°N,80.5-82.5°E, 41-42.5°N,80.5-83.5°E – это наиболее многочисленные группы. Несколько более мелких участков роев выделены на территории: 39.5-40.5°N, 75-76°E; 39.5-40.5°N,77-78°E.Для территории супервулкана Йеллоустон гипоцентры распределены в диапазоне от 1 км до 18 км. Это в два раза меньше, чем диапазон глубин роев на территории Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий. Далее, распределение очагов вокруг супервулкана показывает неравномерную их рассредоточенность по территории. Толчки землетрясений локализуются вокруг супервулкана, как бы повторяя его контуры. Рои вызваны движением магмы внутри

кальдеры, в разные периоды они активизируются и затихают. Поэтому, сравнение физических условий в очагах будет полезным для дальнейшего исследования. Из графиков видно, что при малых магнитудах - вязкость низкая, а при росте магнитуды – вязкость начинает расти, температура и вязкость в очагах роев имеет гиперболическую зависимость. С ростом температуры вязкость уменьшается. Исследование связи между физическими параметрами очаговых зон роев землетрясений показали, что в регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий глубина роев варьирует от 5 до 30 км, по сравнению с регионом супервулкана Йеллоустоун и прилегающих вокруг территорий, глубины роев располагаются от 1 до 18 км. Температуры в очагах роев супервулкана варьируют от 1250°С до 2150°С, вязкость имеет порядок до 10^{20} П, в отличие от температур в очагах роев Северного Тянь-Шаня: 1650° до 2100°С, где вязкость имеет порядок 10^{18} П.

Выводы. Проведено исследование связи между физическими параметрами очаговых зон роев землетрясений для Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий, а так же сейсмоактивной области супервулкана Йеллоустон. Это позволило выявить физические условия в очагах роев на примере зависимостей магнитуд, температуры и вязкости. Графики этих зависимостей показывают, что рой располагается на небольшой глубине и имеет достаточно высокую расчетную температуру при малых значениях магнитуд.

Работа выполнена в лаборатории физики геодинамических и сейсмических процессов в рамках ПЦФ «Оценка сейсмической опасности территорий областей и городов Казахстана на современной научно-методической основе», шифр программы Ф.0980. Источник финансирования - Министерство образования и науки Республики Казахстан.

Литература

1. Тулиани Л.И. Сейсмичность и сейсмическая опасность: на основе термодинамических и реологических параметров тектоносферы. М.: Научный мир. 1999. 216 с.
2. Мировой каталог землетрясений (NEIC) // Электронный ресурс.- http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic_global.html
3. Лютикова В.С. Рои землетрясений как отклик энергонасыщенных структур земной коры на воздействие астрофизических факторов // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. IX Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек. 2017. С. 92-93.
4. Лютикова В.С. Роевые последовательности землетрясений в современной сейсмичности региона Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. VIII Междунар. конф. молодых ученых и студентов, (г. Бишкек, 24-25 марта 2016 г.). Бишкек. 2016. С. 143-147.
5. Литовченко И.Н., Лютикова В.С. Выявление роев землетрясений в сейсмоактивном регионе Северного Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии. Материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 15-летию со дня образования ЦАИИЗ. Бишкек. 2019. С. 35-38.

МОНИТОРИНГ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА И ПРИГРАНИЧНЫХ РАЙОНОВ СОСЕДНИХ СТРАН ЗА 2020 г.

Мамбетова Г.А., Абдрахматов К.Е., Омуралиев М.

gulnura.890@mail.ru, kanab53@yandex.ru, mederbek@mail.ru

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

Изложены результаты слежения последовательности землетрясений в месячном, квартальном, годовом интервалах и иерархии сейсмических циклов области внутриконтинентального горообразования Тянь-Шань за 2020 г. Отмечено, что мониторинг сейсмических циклов позволяет оценить уровни сейсмической опасности.

Ключевые слова: цифровая сейсмическая станция, иерархия тектонических блоков, последовательность землетрясений, сейсмический цикл, иерархия сейсмических циклов, суммарная сейсмическая энергия.

Введение. С помощью сети цифровых сейсмических станций Кыргызстана, Казахстана, Узбекистана и Китая в квадрате $\varphi=39^{\circ}-44^{\circ}$ с.ш., $\lambda=69^{\circ}-81^{\circ}$ в.д. (рис.1) были зарегистрированы землетрясения и составлен каталог землетрясений Института сейсмологии НАН КР. Представительный класс землетрясений $K=6$. На рисунке 2 приведена карта-схема эпицентров землетрясений за 2020 г.

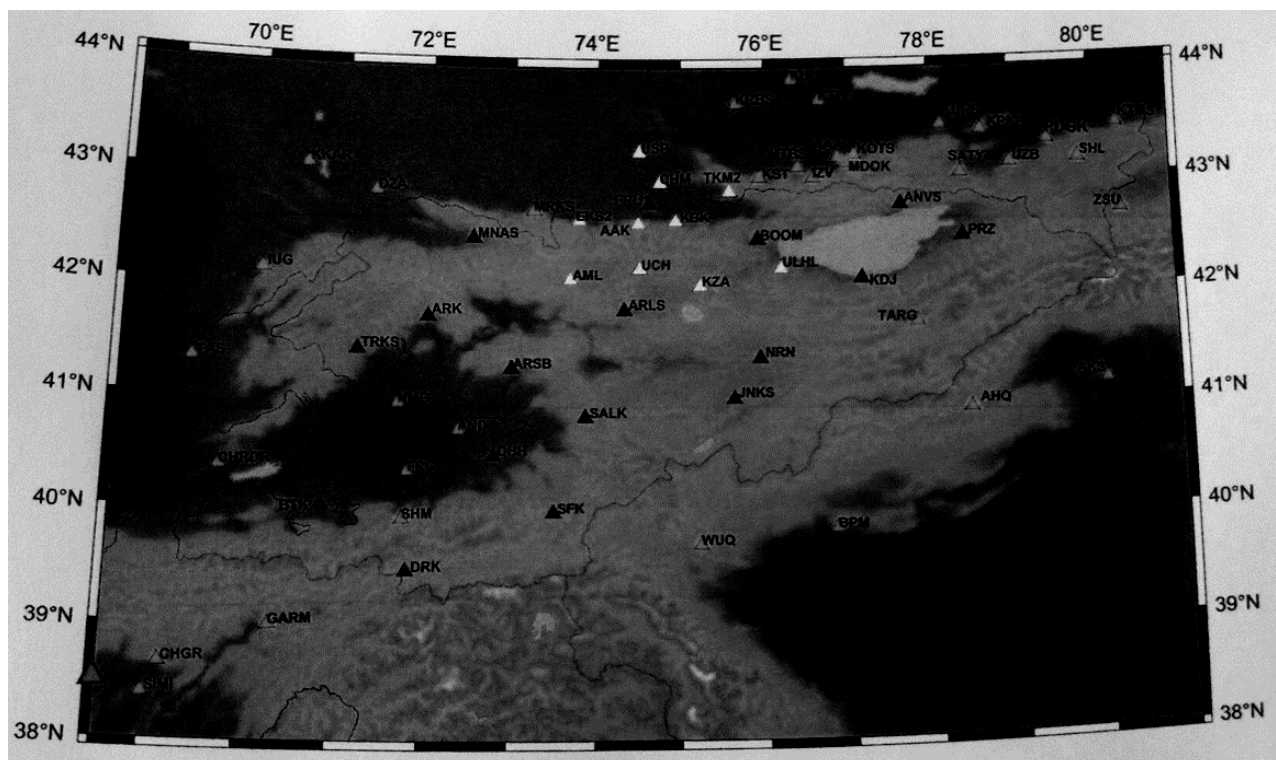


Рисунок 1 – Карта-схема расположения цифровых станций по данным ИС НАН КР. Треугольниками белого цвета обозначены станции сети KNET, треугольниками чёрного цвета - станции сети KRNET Кыргызстана, треугольникам красного цвета - станции Казахстана, Узбекистана, Китая [1]

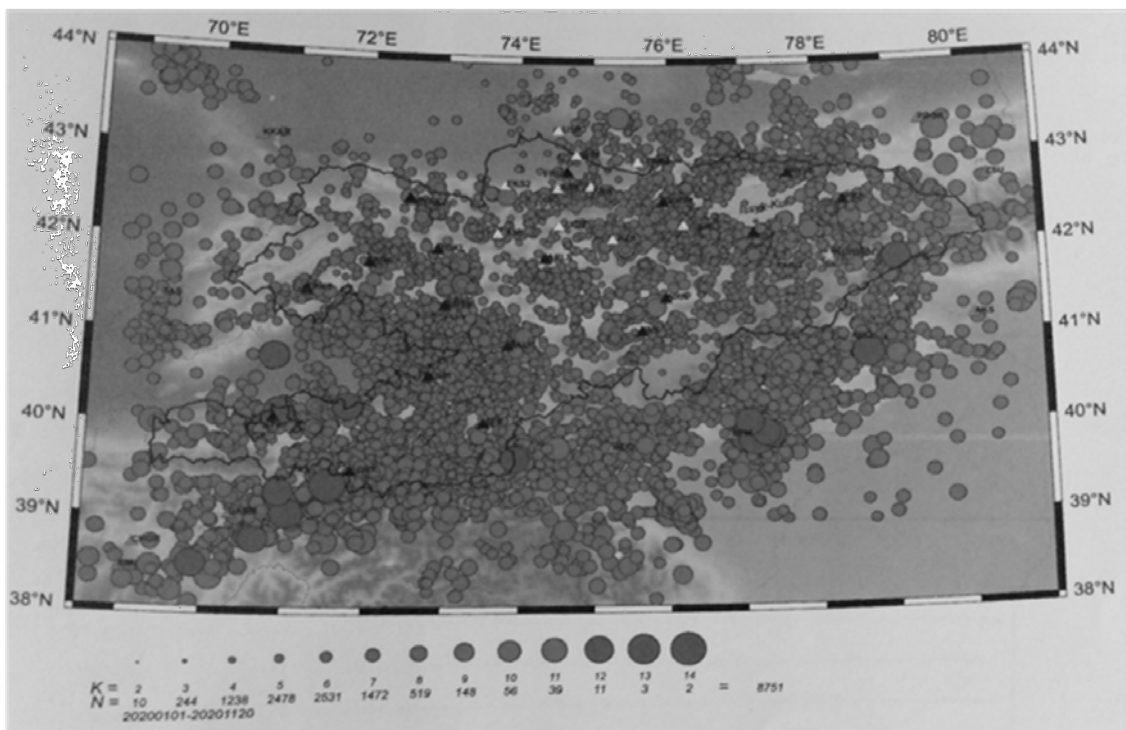


Рисунок 2 – Карта-схема эпицентров землетрясений за 2020 г., составленная Центром данных ИС НАН КР [1]

Тянь-Шань в целом, ограниченный с юга плитой Тарим и областью горообразования Памир, а с севера - Казахским щитом и Туранской плитой (рис.3), является областью горообразования и состоит из иерархия активных блоков, поднятий, впадин и разломов [2, 3]. Тянь-Шань как блок первого порядка разделяется на блоки второго порядка: Центральный, Восточный, Западный зонами разломов: Джунгарской (ДжР) и Таласо-Ферганской (ТФР) северо-западного простирания

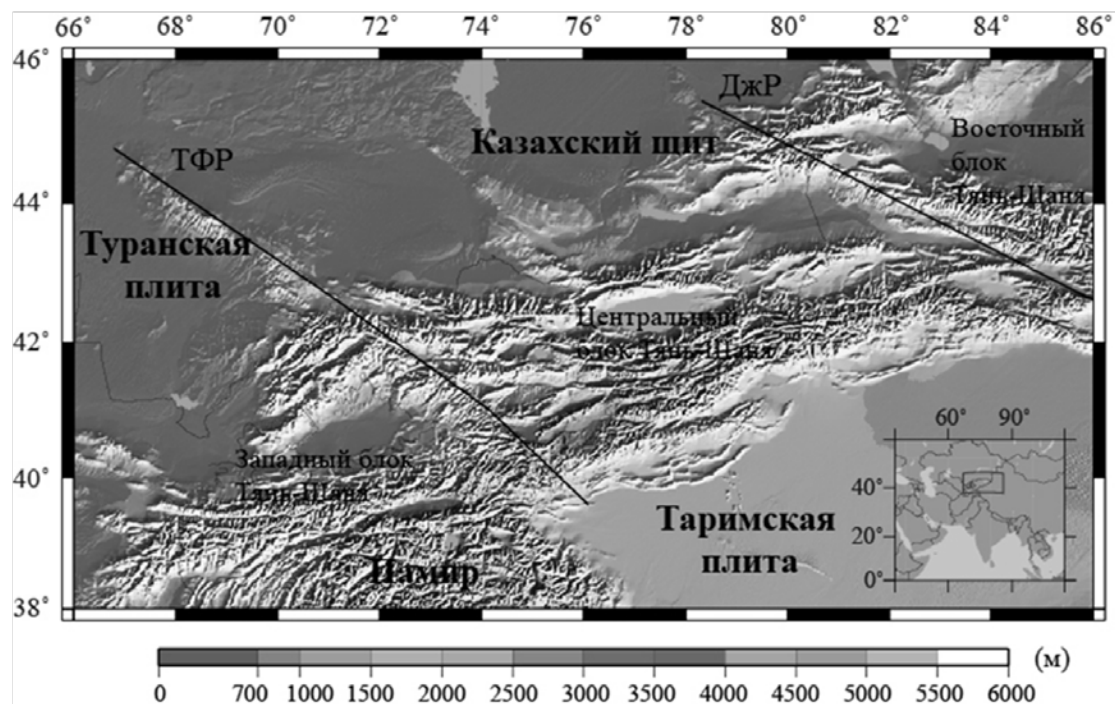


Рисунок 3 – Блоки второго порядка блока первого порядка Тянь-Шаня: Западный, Центральный, Восточный. Линиями обозначены поперечные разломы северо-западного простирания: Таласо-Ферганский (ТФР) и Джунгарский (ДжР) [3]

Методика и результаты исследований. В последовательности землетрясений в месячных, квартальных, годовых интервалах (масштабах) времени поэтапно выделяются относительно максимальные значения, в частности, энергетического класса [4-6]. По ряду этих выбранных значений проводят полиномиальный тренд (нелинейную ПТ-функцию) и выделяется сейсмический цикл, например, третьего порядка, состоящий из пика сейсмической активизации, периода спада сейсмической активизации, периода сейсмического затишья, минимума периода затишья и периода подъёма сейсмической активизации. По пикам сейсмического цикла третьего порядка с различными интервалами времени на основе ПТ-функции выделяются пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации, период сейсмического затишья, минимум периода затишья и период подъёма сейсмической активизации, которые составляют сейсмический цикл второго порядка. Аналогичным образом по пикам сейсмического цикла второго порядка с различными интервалами времени на основе ПТ-функции выделяются пик сейсмической активизации, период спада сейсмической активизации, период сейсмического затишья, минимум периода затишья и период подъёма сейсмической активизации, которые составляют сейсмический цикл первого порядка. Одновременно по ходу проявления землетрясений поэтапно составляется серия графиков кумулятивной сейсмической энергии. На каждом графике кумулятивной сейсмической энергии определяется линейный тренд, проводятся через верхний и нижний пределы флуктуации кумулятивной сейсмической энергии верхняя и нижняя линии графика, параллельные линии тренда. Угловым коэффициентом уравнения линейного тренда в отдельно взятом интервале времени выражает скорость высвобождения сейсмической энергии. Измеряется интервал от конечной точки графика кумулятивной сейсмической энергии горизонтально до его нижней линии и определяется вероятная продолжительность затишья.

Нами сначала осуществлено слежение последовательности землетрясений по месяцам с января по декабрь. На рис.4 в качестве примера приведена последовательность проявления землетрясений за январь 2020 г. На графике выделяются циклы второго порядка при $K \geq 7,5$. Далее по пикам циклов второго порядка выделяется цикл второго порядка.

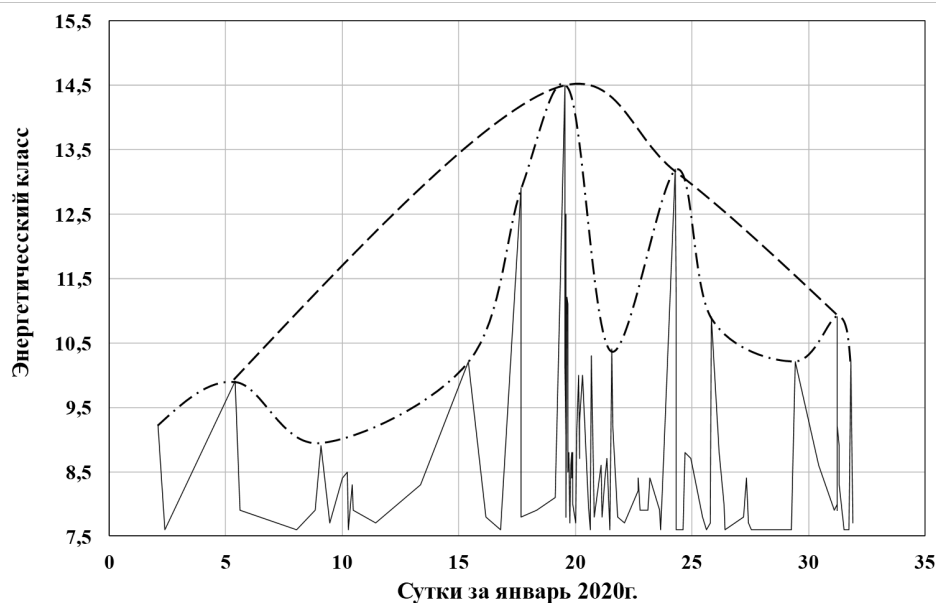


Рисунок 4 – График последовательности проявления землетрясений с $K \geq 7,5$ Тянь-Шаня за январь 2020 г. Линией пунктирной с точками обозначены циклы третьего порядка, пунктирной линией – цикл второго порядка

В цикле второго порядка после 5 января отмечался спад сейсмической активизации, 9 января - период затишья, 15 и 17 января наступил период сейсмической активизации, который завершился 19.01.2020 пиком сейсмической активизации – землетрясением с $K=14.5$

($\varphi=39.85^\circ$, $\lambda=77.17^\circ$). Данный цикл второго порядка выражается формулой- полиномом четвертой степени:

$$K=-0,0017t^4+0.0468t^3-0.3151t^2+0.2713t+9.9 R^2=1,$$

где t - время- сутки, R^2 - достоверность аппроксимации.

В таблице 1 приведены пики циклов третьего порядка в январе 2020 г. с периодами 4-14 суток.

Таблица 1 – Пики циклов третьего порядка в январе 2020 г.

№ п.п.	Число	Время, сутки	Энергетический класс lgE (Дж)	Период повторения, сутки
1	5	5,416	9,9	
2	19	19,561	14,5	14,145
3	24	24,298	13,2	4,737
4	31	31,239	10,9	6,941

Изменение кумулятивной сейсмической энергии E_k в январе приведено на рис.5. График её неровный, ступенчатый, и выражает характер сейсмических циклов. Линейный тренд выражается формулой:

$$E_k=(14.1637t- 0.8462) \times E + 14, \text{ Дж},$$

где коэффициент $14,1637 \times E + 14$ имеет размерность Дж/сутки, и представляет собой скорость высвобождения энергии.

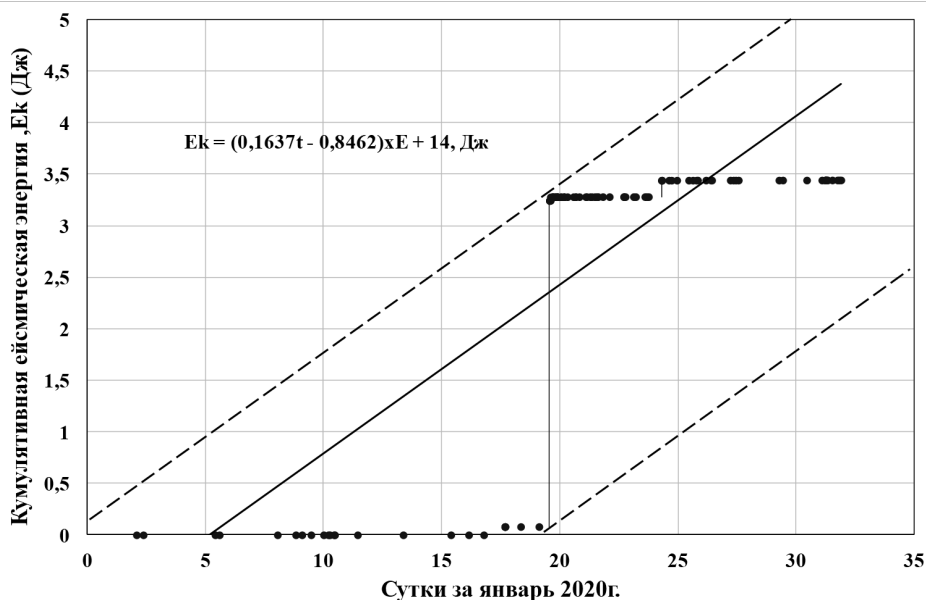


Рисунок 5 – Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях Тянь-Шаня и его окрестности в январе 2020 г.

Пример слежения последовательности землетрясений в течение квартала с января по март 2020 г. приведён на рис.6. На графике поэтапно выделяются циклы третьего, второго порядков.

В таблице 2 приведены пики циклов второго порядка в первом квартале 2020 г., выделенные по пикам циклов третьего порядка с периодом около 33 суток.

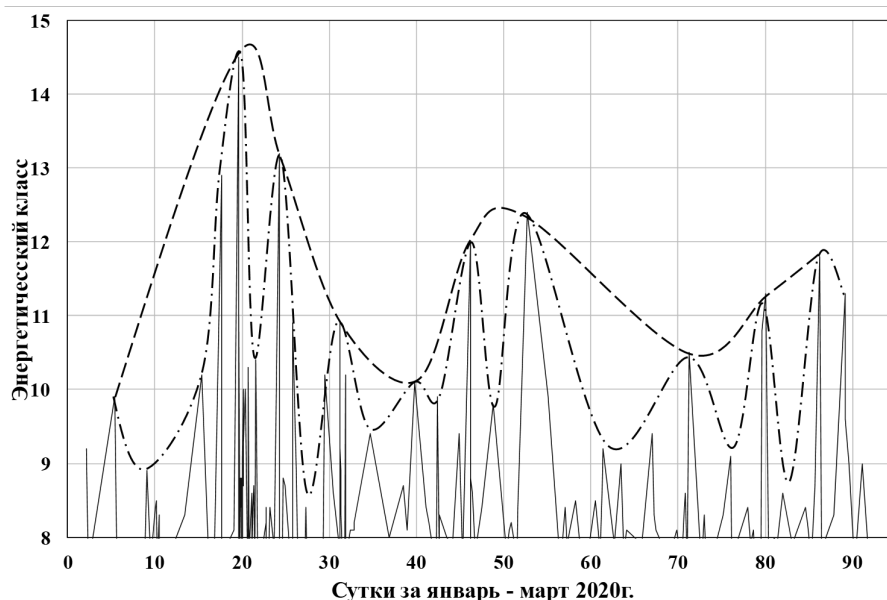


Рисунок 6 – Последовательность землетрясений в течение квартала с января по март 2020 г. Циклы третьего порядка обозначены линией с точками, циклы второго порядка - пунктирной линией.

Таблица 2 – Пики циклов второго порядка в первом квартале 2020 г.

№ п.п.	Месяц	Число	Время, сутки	Энергетический класс lgE (Дж)	Период повторения, сутки
1	январь	19	19,561	14,5	
2	февраль	21	52,652	12,4	33.0
3	март	26	86,197	11,8	33.5

Кумулятивная сейсмическая энергия за январь- март выражается формулой:

$$E_k = (0.022t - 2.0982) \times E + 14, \text{ Дж.}$$

Результаты слежения последовательности землетрясений в течение 2020 г. с января по декабрь приведены на рис.7.

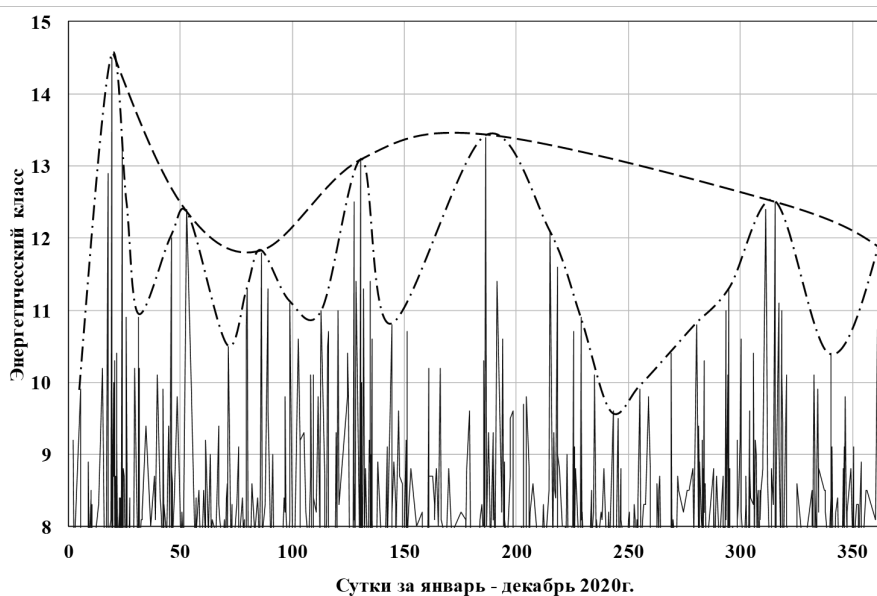


Рисунок 7 – Последовательность землетрясений в течение 2020 г. Циклы третьего порядка обозначены линией с точками, циклы второго порядка - пунктирной линией.

В таблице 3 приведены пики третьего порядка в 2020 г. с периодами 33-129 суток.

Таблица 3 – Пики циклов третьего порядка в течение 2020 г.

№ п.п.	Месяц	число	Время, сутки	Энергетический класс lgE, Дж	Период повторения, сутки
1	январь	19	19,561	14,5	
2	февраль	21	52,652	12,4	33,091
3	май	9	130,649	13,1	77,997
4	июль	4	186,411	13,4	55,762
5	октябрь	10	315,609	12,5	129,198

В таблице 4 приведены пики второго порядка в 2020 г., выделенные по пикам циклов третьего порядка с периодом повторения около 166 суток

Таблица 4 – Пики циклов второго порядка в течение 2020 г.

№ п.п.	Месяц	число	Время, сутки	Энергетический класс lgE, Дж	Период повторения, сутки
1	январь	19	19,561	14,5	
4	июль	4	186,411	13,4	166.8

Изменение кумулятивной сейсмической энергии E_k за 2020 г приведён на рис.8. График её неровный, ступенчатый, выражает характер сейсмических циклов. Линейный тренд выражается формулой:

$$E_k = (0.0038t - 2.9267) \times E + 14, \text{ Дж},$$

где коэффициент $0.0038 \times E + 14$ имеет размерность Дж/сутки, и представляет собой скорость высвобождения энергии Тянь-Шаня и приграничных районов соседних блоков литосферы.

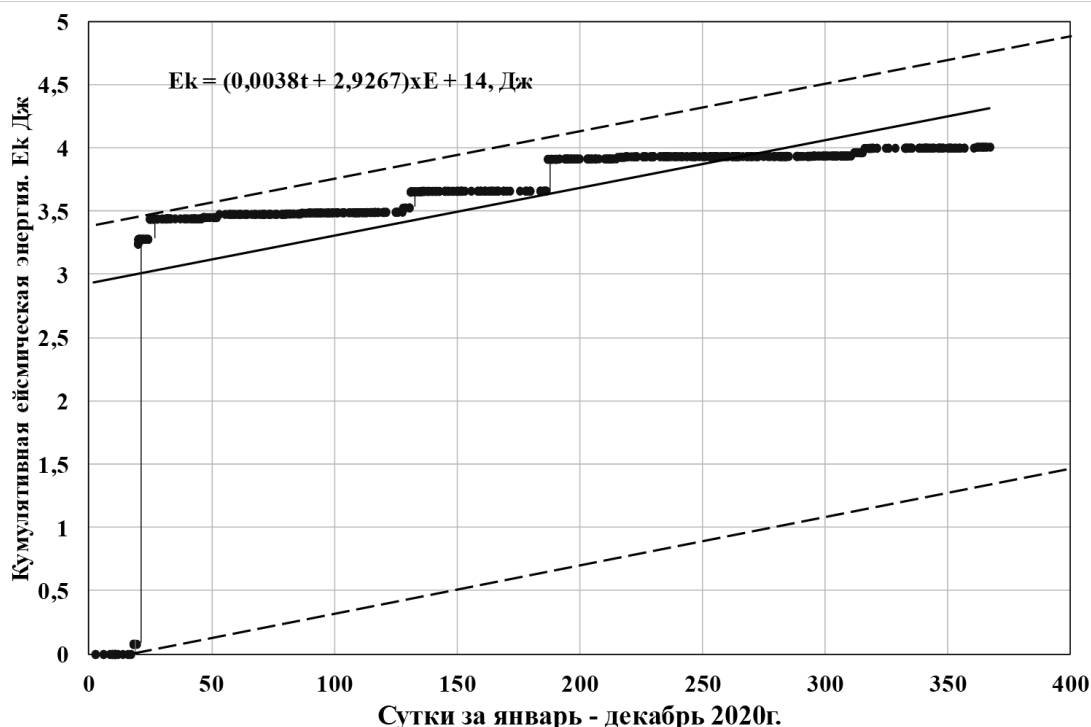


Рисунок 8 – Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях Тянь-Шаня и его окрестности в течение 2020 г.

Заключение

1. Осуществлён мониторинг последовательности землетрясений и кумулятивной сейсмической энергии в месячном, квартальном, годовом масштабах за 2020 г.
2. Выделены иерархии сейсмических циклов области внутриконтинентального горообразования Тянь-Шань, которая состоит из иерархии тектонических блоков.
3. Отмечено, что поэтапное слежение сейсмических циклов разного порядка в месячном, квартальном, годовом масштабах позволяет оценить уровни сейсмической опасности: периода спада сейсмической активизации, периода затишья, периода наступления сейсмической активизации и пика сейсмической активизации на территории Кыргызстана.

Литература

1. Заключительный отчёт о научно-производственной деятельности Центра обработки данных Института сейсмологии НАН КР за 2018-2020 гг. 2020. 84 с.
2. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Central Asia. Bishkek: Ilim. 2004. 166 p.
3. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населённых пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. Бишкек: ОСОО «ТРИАДА Принт». 2019. 98 с.
4. 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.
5. Мамбетова Г.А., Омуралиев М. Сейсмические циклы Тянь-Шаня на территории Кыргызстана и землетрясение Каркыра–Сарыджаз 28 января 2013 г. К=15 // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2019. № 1 (13). С. 60-69.
6. Мамбетова Г., Омуралиева А., Омуралиев М. нелинейная динамика последовательности проявления землетрясений // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2020. № 1 (15). С. 50-80.

СОВРЕМЕННЫЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ НА АКВАТОРИЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА И КРУПНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ

Михайлов П.С.^{1,2}, Конешов В.Н.^{1,2} Соловьев В.Н.¹
paulmikh@mail.ru

¹ Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, Россия

² Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир, Россия

Работа посвящена оценкам современных моделей гравитационного поля Земли (ГПЗ) в различных регионах Мирового океана и над различными геоморфологическими структурами. На примерах Индийского океана и Каспийского моря исследованы глобальные высокостепенные модели ГПЗ разных лет. Показан реальный рост достоверности и точности модельных данных, главным образом обусловленный растущими возможностями спутниковой альтиметрии. Кроме того, предложен эффективный способ районирования и предварительной оценки модельного поля, предполагающий вычисление полного горизонтального градиента аномалий этого же поля с последующим выделением участков, содержащих повышенную погрешность. Отдельно рассмотрены характерные особенности моделей над абиссальными и градиентными участками акваторий.

Ключевые слова: гравитационное поле Земли, модель, сферические гармоники, аномалия силы тяжести, сравнительный анализ.

Введение. Гравитационное поле Земли (ГПЗ) Мирового океана традиционно считается наиболее изученным. Морские гравиметрические съемки, использующие новейшие гравиметры и высокоточную навигационную аппаратуру, обеспечивают точность определения аномалий в 0.5 мГал и выше, с разрешением, ограниченным только расстоянием между съемочными профилями. Это позволяет с достаточно высокой точностью картировать как отдельные структуры, так и целые области в океане: основные задачи морской гравиметрии связаны с поиском и картированием месторождений углеводородов. Однако в масштабах всего Мирового океана объем измерений, выполненных современными гравиметрами и с высокоточным навигационным обеспечением, остается незначительным. Измерения выполняются разными исполнителями, для различных задач и как следствие не создают единого и равнозначного покрытия. Поэтому в настоящее время все большее распространение получают ультравысокостепенные глобальные модели гравитационного поля, предоставляющие данные об аномалиях поля на все акватории Мирового океана и даже крупных внутренних водоемов в виде наборов сферических коэффициентов или регулярных сеток (гридов).

Источники данных и структура современной модели ГПЗ. За последние 12 лет с 2008 года по 2020 пространственное разрешение глобальных моделей ГПЗ выросло в 5 раз: с 5' в первой ультравысокостепенной модели EGM2008 до 1' в последней модели семейства Sandwell and Smith, представленной осенью 2020 года [Михайлов и др., 2020]. С ростом разрешающей способности и общей достоверности новых моделей расширяется и области их практического использования.

Так как современная глобальная модель представляет собой сложную комбинацию данных разноточных источников, одной из особенностей таких моделей является разная пространственная достоверность данных. Как правило, современная модель включает данные орбитальных траекторных определений и градиентометрии, аномалий, вычисленных из цифровых моделей рельефа, результаты спутниковой альтиметрии и прямых

инструментальных съемок. Наиболее производительным и эффективным методом определения аномалий в средних и коротких частотах (в пределах 60 км) в глобальном масштабе является спутниковая альтиметрия, которая позволяет получать надежные данные, но только над акваториями [Sandwell, Smith, 2009]. Следовательно, точность модельного гравитационного поля в Мировом океане на порядок выше. При этом с развитием технологии радиозондирования, ростом количества альтиметрических спутников, общего объема получаемых альтиметрических данных возможности метода применительно к задачам гравиметрии расширяются и на акватории крупных внутренних водоемов (Каспийское море, Иссык-Куль, Байкал и т.д.).

Погрешность определения аномалий силы тяжести методом альтиметрии можно разделить на суммарную погрешность единичного измерения и погрешности их последующей обработки. Погрешность одного альтиметрического измерения включает следующие ошибки [Andersen, 2013]:

$$e = e_{orbit} + e_{tides} + e_{range} + e_{retrack} + e_{environment} + e_{noise}, \text{ ГДЕ}$$

e_{orbit} – ошибка определения эфемерид спутников; e_{range} – ошибка дальности; e_{retrak} – ошибка схождения повторных измерений; e_{tides} – ошибка приливного эффекта; $e_{environment}$ – ошибка из-за наличия морского льда или берега; e_{noise} – дополнительный шум измерений.

Первая группа ошибок (e_{orbit} , e_{range} , e_{retrak}) определяет глобальную точность метода, а вторая группа (e_{tides} , $e_{environment}$, e_{noise}) обуславливает его региональную неравноточность и пространственные ограничения. Одной из основных источников погрешностей, возникающих в процессе обработки альтиметрии, являются параметры фильтрации. В альтиметрических измерениях присутствует шум, обусловленный рядом факторов. Для его сглаживания используется специальный адаптивный фильтр. Этот фильтр использует эмпирический параметр, настраиваемый по локальным характеристикам поля. Глобально этот параметр варьируется по ширине окна от 5 до 16 км и определяет разрешение получаемых в итоге данных. При этом повышение инструментальной точности альтиметрического метода, а также рост количества повторных измерений способствует уменьшению амплитуды белого шума и, как следствие, увеличению точности последующих моделей ГПЗ, вычисленных по альтиметрическим данным.

Практические оценки точности моделей гравитационного поля в разных регионах Мирового океана. Так как над акваториями погрешности метода альтиметрии являются основными источниками погрешностей в моделях, их пространственное расположение определяет географию и возможности их применимости. Наиболее эффективный и простой способ оценки модельного поля заключается в сравнении модельных данных с высокоточными прямыми площадными съемками, например морскими [Конешов и др., 2021].

Такие сравнения показали, что наибольшие погрешности моделей локализованы в наиболее градиентных участках поля. Это еще раз показывает, как ошибки метода спутниковой альтиметрии зависят от градиента самого поля и переходят в модельные данные. По результатам взаимных сравнений глобальных моделей гравитационного поля Земли разных лет (EGM2008, WGM2012, Sandwell and Smith v29.1 (2020) и др.), а также с площадными съемками, было показано, что максимальные межмодельные различия пространственно соответствуют расположению максимальных погрешностей самих этих моделей, в том числе самых достоверных, и расположены вдоль наиболее градиентных структур. Результаты региональных оценок относительно площадных съемок показаны в таблице 1.

Полученные оценки демонстрируют, что над абиссальными участками Мирового океана модели показывают одинаковую достоверность, а над градиентными морфологическими структурами точность каждой новой модели улучшается на 20-25% относительно моделей предыдущих поколений. Определено, что наиболее точной и достоверной глобальной моделью гравитационного поля в настоящее время является модель

Sandwell and Smith v29.1 (2020). По нашим оценкам ее статистические погрешности примерно в 1.5 раза меньше, чем у предыдущих моделей, например, EGM2008.

Таблица 1 – Региональные оценки глобальных моделей, СКО, мГал

Модель	EGM2008	WGM2012	SSv29.1
Тип участка сравнения в океане			
Равнина	1.333	1.335	1.167
Хребет	5.462	4.272	3.180

На основании этих исследований очевидным кажется подход, предполагающий на стадии планирования использовать градиент поля определенной величины, для эффективного районирования самой модели на предположительно более достоверную и градиентную, требующую уточнения, части. Определение порогового значения можно выполнить эмпирически, в зависимости от региона, самой модели или решаемой задачи. В соответствии с исследованиями ИФЗ РАН в первом приближении целесообразно использовать величину градиента 2 мГал/км.

Так был выполнен априорный анализ моделей ГПЗ в акватории Каспийского моря. Данные альтиметрии успешно применяются в задачах изучения режимов Каспийского моря [Троицкая и др., 2012] и должны быть эффективным средством получения данных об аномалиях силы тяжести. Сравнение моделей 2008 года (EGM2008) и 2020 года (Sandwell and Smith), а также анализ вторых производных поля показали, что максимальные межмодельные отклонения в более чем ± 50 мГал соответствуют наибольшему градиенту (рисунок 1), при этом общее СКО всех отклонений составляет 3.79 мГал.

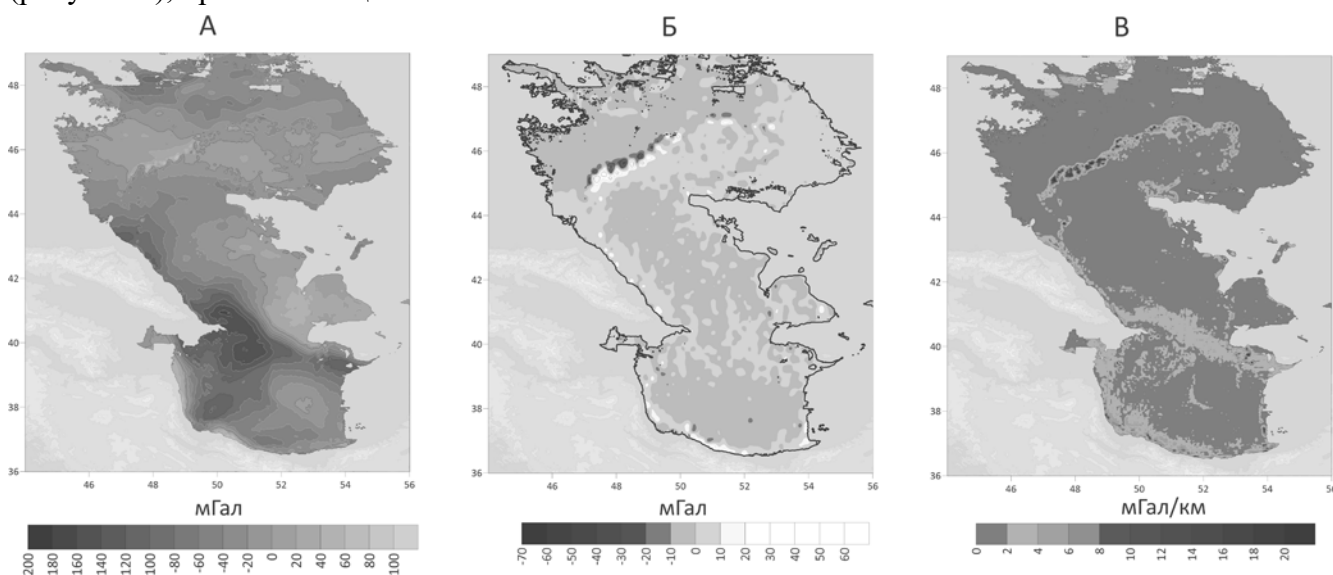


Рисунок 1 – Модельные гравитационные поля Каспийского моря. Модельное поле Sandwell and Smith v29.1 (А), разница между моделями EGM2008 и Sandwell and Smith v29.1 (Б), градиент модельного поля Sandwell and Smith v29.1 (В)

Таким образом, на основании предыдущих сравнений и оценок, можно полагать, что качественное улучшение альтиметрических данных характерно на данной акватории именно для участка градиента в 2 - 6 мГал/км. Относительно всей площади Каспийского моря в 370 тыс. км² площадь районов со значениями полного горизонтального градиента по данным модели Sandwell and Smith v29.1, превышающего 2 мГал/км (включая участки вблизи

береговой линии, которые мы в данной работе не рассматриваем) составляет 35 тыс. км² что соответствует 9.46% площади.

На большем масштабе описанный подход был также использован для экспериментального районирования поля акватории Индийского океана. Из всей площади акватории в границах Индийского океана в 74 330 тыс. км² площадь районов со значениями полного горизонтального градиента по данным модели EGM2008, превышающего 2 мГал/км, составляет только 8 000 тыс. км² или 10.76%.

Особенности модельного гравитационного поля в зависимости от геоморфологии Мирового океана. Так как в районах, с разной геоморфологией, глобальные модели содержат ошибки разных величин и характеров, необходимо отдельно рассмотреть структуры аномального поля современных моделей, именно для этих отдельных районов.

В результате выполненных сравнений измеренных и модельных аномалий выявлено, что в абиссальных областях с относительно спокойным полем, в модельных значениях присутствует высокочастотный шум с амплитудой от 1 до 3 мГал и периодом около 20 км. Данная помеха с периодом около 15 км присутствует в более новых моделях (Sandwell and Smith v29.1), что может быть обусловлено повышенным разрешением альтиметрических данных. На рисунке 2 показаны графики съемочных и модельных данных в абиссальной области.

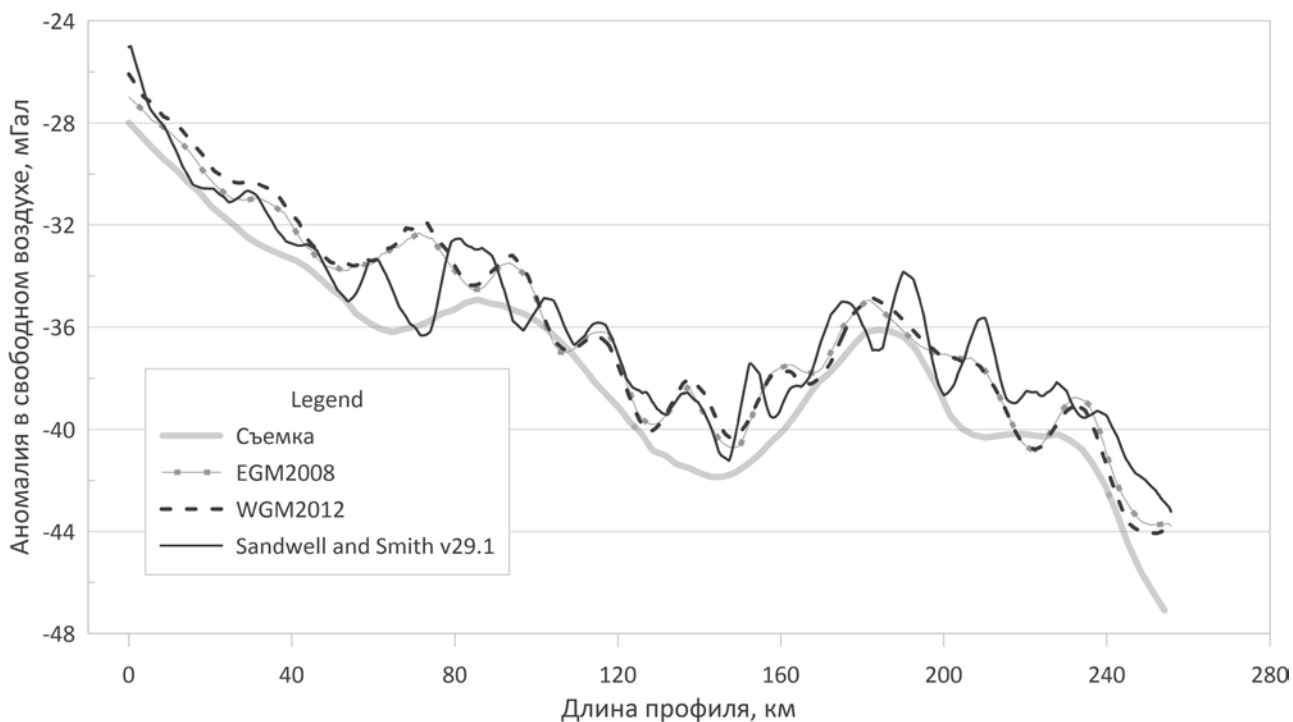


Рисунок 2 – Профили морской гравиметрической съемки и глобальных моделей на абиссальной области Индийского океана

Иначе выглядит проблематика использования модельных аномалий в градиентных районах: самые высокие частоты реальных аномалий в моделях подавлены. Несмотря на то, что каждая последующая модель содержит больший набор входящих альтиметрических данных и, соответственно лучше описывает наиболее амплитудные вариации аномального поля, для эффективного практического использования значений модельных аномалий в этих областях, необходимо дополнительное восстановление их амплитуд и высоких частот. На рисунке 3 показаны графики съемочных и модельных данных в градиентной области срединно-океанического хребта.

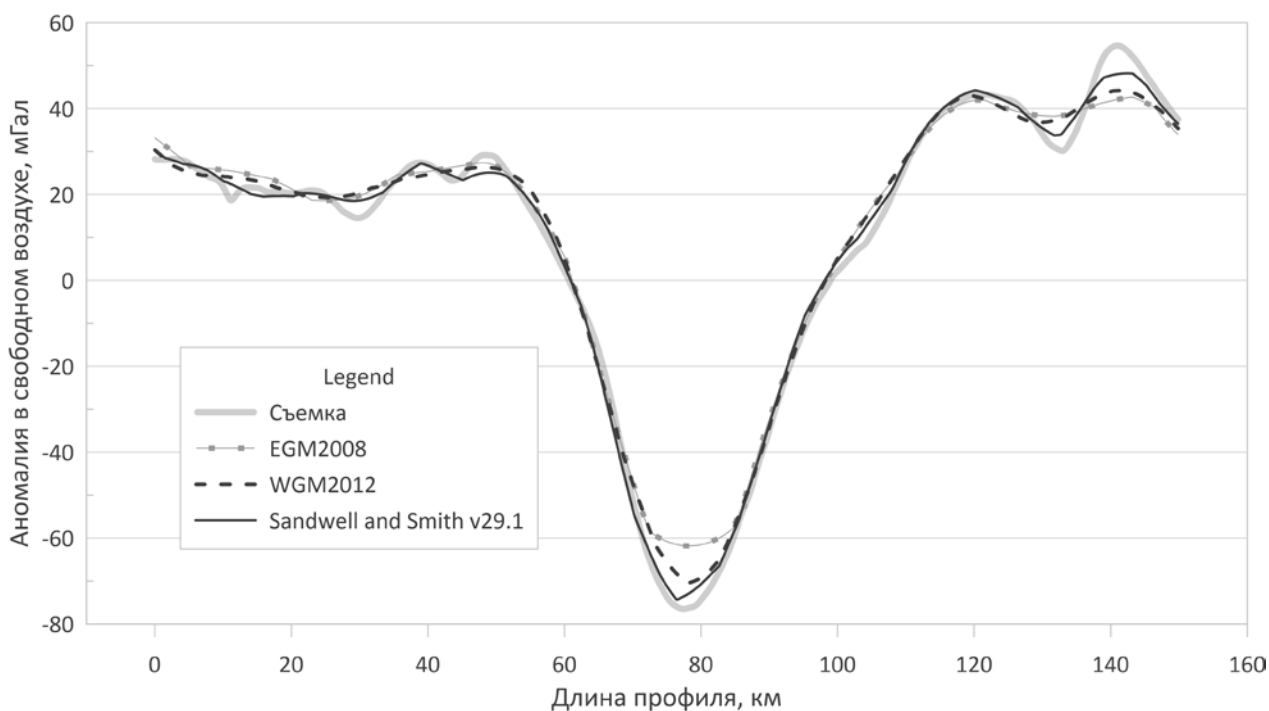


Рисунок 3 - Профили морской гравиметрической съемки и глобальных моделей на градиентной области Индийского океана

Выводы. Современная глобальная модель гравитационного поля Земли - это важный и уже хорошо известный пользователям источник данных об аномалиях.

Именно на акваториях, благодаря спутниковой альтиметрии имеющиеся модели наиболее достоверны и перспективны. Показанный рост точности глобальных моделей позволяет в теории применять их для решения многих практических задач, при этом экономическая целесообразность использования моделей вместо инструментальных съемок не вызывает сомнений. Однако, большое значение приобретают методически правильные оценки, при дальнейшем использовании модельных данных, в зависимости от характера решаемых задач и структуры гравитационного поля на исследуемой площади.

Работа выполнена в рамках Госзадания ИФЗ РАН, а также при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-17-20035).

Литература

1. Andersen, O.B. Marine Gravity and Geoid from Satellite Altimetry. Geoid Determination – Theory and Methods. Springer, 2013. pp. 401-451 (Lecture Notes in Earth Science, Vol. 110).
2. Sandwell D.T., Smith W.H.F. Global marine gravity from retracked Geosat and ERS-1 altimetry: ridge segmentation versus spreading rate // Journal of Geophysical Research. 2009. Vol. 114. Issue B1. B0141. P. 1-18.
3. Конешов В.Н., Михайлов П.С., Железняк Л.К., Соловьев В.Н. Оценка перспективности и разрешающей способности ультравысокостепенных моделей гравитационного поля Земли // Геофизические исследования. 2021. Т. 22. № 1. С. 40-53.
4. Троицкая Ю.И., Рыбушкина Г.В., Соустова И.А., Баландина Г.Н., Лебедев С.А., Костяной А.Г., Панютин А.А., Филина Л.В. Спутниковая альтиметрия внутренних водоемов // Водные ресурсы. 2012. Т. 39. № 2. С. 169-185.
5. Михайлов П.С., Конешов В.Н., Погорелов В.В., Спесивцев А.А., Соловьев В.Н., Железняк Л.К. Высокостепенные модели гравитационного поля Земли: история развития, оценка перспективности и разрешающей способности // Наука и технологические разработки. 2020. Т. 99. № 4. С. 5-33.

О СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВОКРУГ ГОРОДОВ БАЛЫКЧИ И ТОКМОК, КЫРГЫЗСТАН

Мураталиев Н.М.², Камчыбеков Ы.П.¹

nurlanmurataliev@gmail.com, yrysmendi@rambler.ru

¹ Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики,
г. Бишкек, Кыргызская Республика

² Кыргызский государственный университет строительства, транспорта и архитектуры, г.
Бишкек, Кыргызская Республика

В работе приведена количественная оценка сейсмичности территории городов Токмок и Балыкчи на площади, ограниченной размерами 200X200 км. Дана сейсмическая характеристика с учетом всех наиболее опасных сейсмических очагов для расчетного параметра движения грунта при вероятном ожидаемом сильном землетрясении.

Ключевые слова: сейсмичность, эпицентр землетрясения, график повторяемости землетрясения.

Введение. В последнее время в высоко сейсмических регионах проводятся исследования сейсмичности территорий городов для оценки сейсмической опасности. В данной работе рассмотрены сейсмичность городов Токмок и Балыкчы, которые расположены в пределах Северного Тянь-Шаня, с которым связаны проявления сильных сейсмособытий. Наиболее систематические и подробные сведения о сильных землетрясениях в этом регионе имеются с 1885г. – времени, произошедшем девятибалльного Беловодского землетрясения. На карту эпицентров нанесены также сильные землетрясения, данные о которых в работе характеризуются как «ненадежные». Со временем также менялась точность определения координат эпицентров и глубины очага: в период 1929-1950 гг. координаты эпицентров определялись с точностью 15-20 км, а глубины не определялись вообще. С 1951 г., с увеличением числа сейсмических станций, координаты определялись с точностью 10-15 км, а глубины – 5-10 км, с 1967 г. – соответственно: $\pm 1-3$ км и $\pm 2,5$ км. Более полное детальное изучение сейсмичности Северного Тянь-Шаня начато с 1962г. и окончательно сформировалось к 1976г., т.к. и после организации ряда сейсмических станций первого и второго классов и региональных высокочувствительных станций. На Северном Тянь-Шане с 1991г. работают сеть цифровых телеметрических сейсмических станции Kyrgyz Seismic Telemetry Network (КНЕТ). С 2007г. на территории Кыргызстана стали работать цифровые региональные сейсмические станции. На сегодня достигнуты успехи в изучении пространственно-временных распределений как слабых, так и сильных землетрясений, более детально изучены динамические характеристики сейсмических колебаний, повысилась точность определения эпицентров, увеличилось число регистрируемых землетрясений.

Район исследования. В данной работе рассматривался территория размером 200x200км вокруг городов (рис.1).

Город Токмок расположен в восточной части Чуйской впадины. Сейсмичность этого района является одной из наиболее изученной на Северном Тянь-Шане и относится к высоко сейсмически балльной зоне по карте интенсивности сотрясений земной поверхности на территории Кыргызстана [1]. Как показано на рисунке 2 на исследуемой территории произошли сильные землетрясения, в том числе и катастрофические: Беловодское 1885г., Верненское 1887г., Кемино-Чуйское 1938г. и др. с интенсивностью 8-9 и более баллов. Есть также разрозненная информация о 9 балльном разрушительном землетрясении 1500г. в районе с.Бурана, о 8 балльном землетрясении 1770г. в с.Беловодское, 8-9 балльном 1865 г. в с.Мерке (рис.2) [2-6].

Город Балыкчы расположен западной части Иссык-Кульской впадины, на побережье озера Иссык-Куль. Сейсмичность западной части Иссык-Кульской впадины, особенно ее северная часть, относится к области, наиболее подверженным катастрофическим и сильным землетрясениям [1-5,8]. Известны сильные землетрясения прошлого, как Чиликское 1889г, Кемино-Чуйское 1938г., Чолпон-Атинское 1982г., Чолпон-Атинское 1988г. Для более позднего времени имеются сведения о землетрясениях силой 7 баллов и выше в 500 лет н.э., 1868г., 1880г., 1889г., 1893г., 1911г., 1932г. (рис. 2).

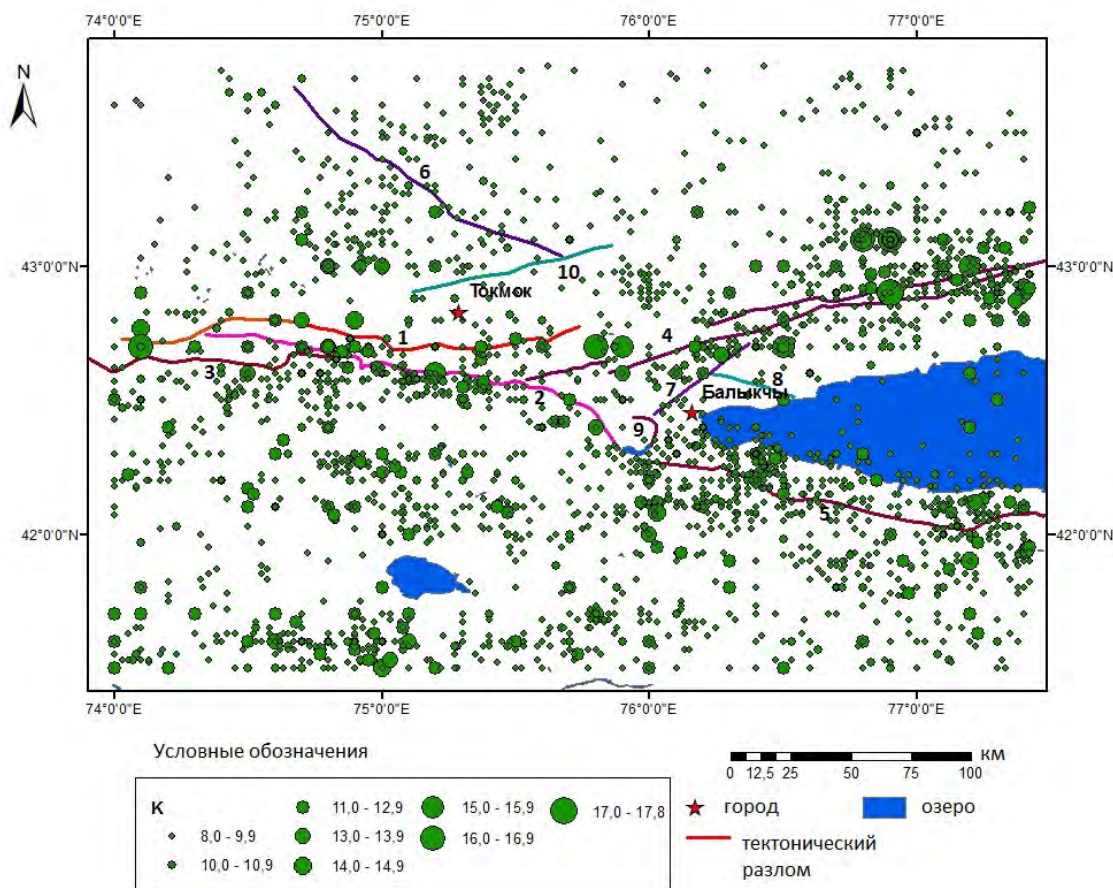


Рисунок 1 – Карта-схема расположения эпицентров землетрясений с энергетическим классом $K \geq 8$ и близлежащих активных тектонических разломов [6-12] на территории исследования. 1 – Иссык-Атинский; 2 – Шамсы-Тюндукский; 3- Чонкурчакский; 4 – Чон-Кеминский; 5 - Предтерсейский; 6 – Джалайир-Найманский; 7 – Тогузбулакский; 8 – Торуайгыр-Тасминский; 9 – Разлом; 10- Предзаилийский.

Северо-Иссык-Кульская эпицентральная зона связана с Кунгейским и Заилийским хребтами и простирается с востока на запад вдоль этих хребтов почти широкими направлениями. Она неоднородна по своему сейсмическому строению и в ее пределах выделяется Кеминский и Чиликский, а также Алма-Атинский и Жаланаш-Тюпский высокоактивные участки. Наибольшая плотность эпицентров различных энергетических классов приурочена к зоне сочленения Кунгейского и Заилийского хребтов, а также в восточной части Заилийского хребта. Именно с этими высокоактивными участками связаны эпицентральные области Верненского 1887 г., Чиликского 1889г., Кеминского 1911г. и других землетрясений.

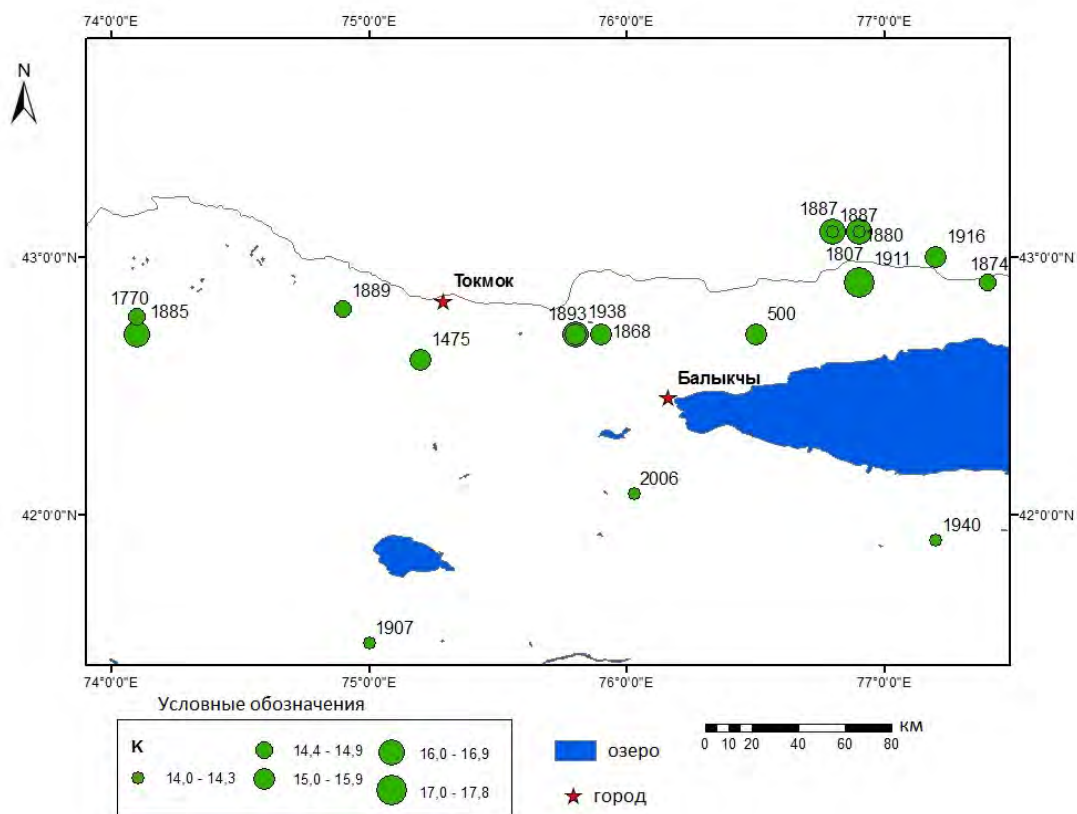


Рисунок 2 – Карта-схема расположения эпицентров землетрясений с энергетическим классом $K \geq 14$ на территории исследования

В основе определения сейсмичности территорий городов Токмок и Балыкчы использованы теоретические разработки Гутенберга-Рихтера, Корнели, Бормана, Эстева-Корнелли, Синга, Рейтера, Уэлса и Копперсмита, Бур и др. [13-16].

Повторяемость землетрясений определено по отношению Гутенберга-Рихтера для всего каталога исследуемого района [14]. Повторяемость землетрясений для неизвестных источников оценивается по «сглаженной» исторической сейсмичности. Колебание грунта, вызванное землетрясением, является случайным событием и определяется из эмпирических регрессионных зависимостей, характеризующих движение грунта как логнормальное распределение.

Территория вокруг городов Токмок и Балыкчы рассматривается на площади, ограниченной размерами 200x200км. Такая размерность обусловлена соображениями наиболее вероятных сейсмических воздействий на здания и сооружения на таком эпицентральной расстоянии. Затем данный квадрат был поделен на три части (или зоны) в соответствии с определенным группированием эпицентров землетрясений в пространстве для сравнения этих локальных областей по проявлениям сейсмичности (рис.3). Первая зона – северо-восточная часть данного квадрата, вторая зона – юго-восточная и третья – западная часть этой ограниченной площади.

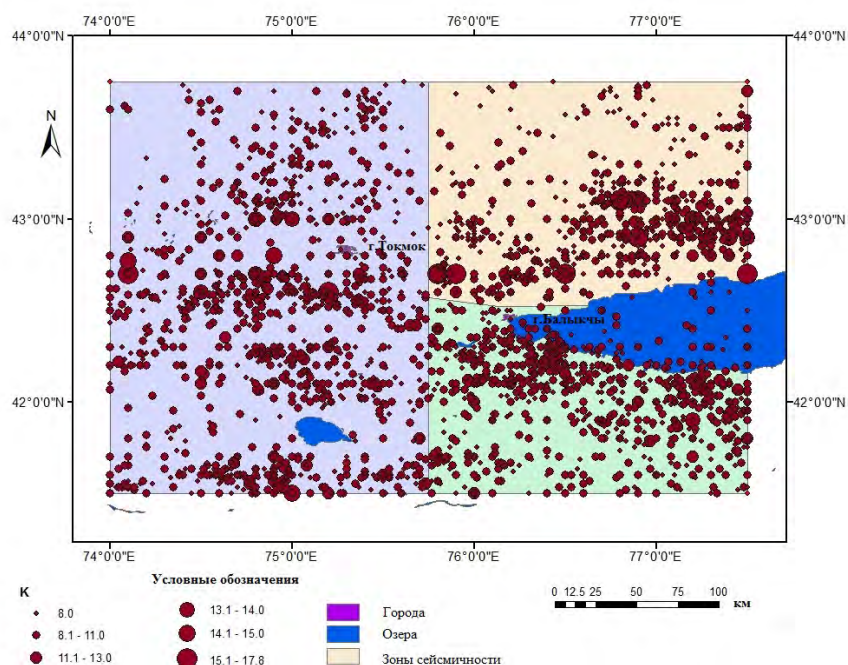


Рисунок 3 – Карта-схема расположения эпицентров землетрясений $K \geq 8$ районе исследования г. Токмок и г. Балькчи

Известно, что сейсмический режим подчиняется закону или графику повторяемости землетрясений $N(M)$ – статистической функции распределения частоты возникновения землетрясений в зависимости от их энергетического класса или магнитуды $lgN(M) = a - bM$, так называемому закону повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера. Для каждого из частей или зон квадрата построены графики повторяемости землетрясений (Рис 4,5,6).

Результаты и обсуждение. Для построения графиков повторяемости землетрясений использован каталог Института сейсмологии НАН КР сейсмических событий с 1955г по 2020г. с энергетическим классом $K \geq 8$, как являющимся представительным с того времени на заданной территории.

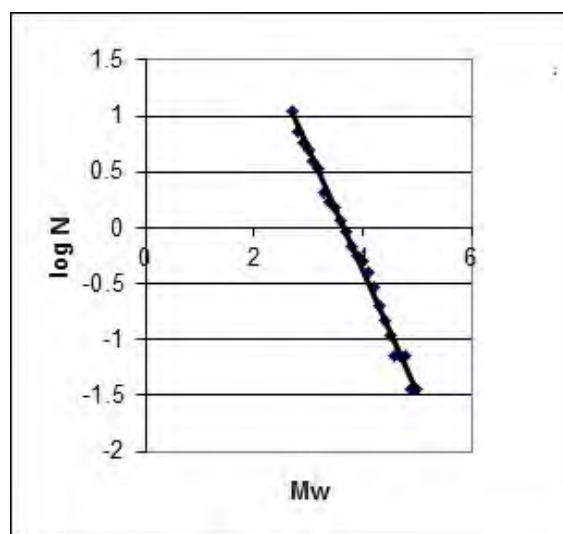


Рисунок 4 – График повторяемости первой зоны

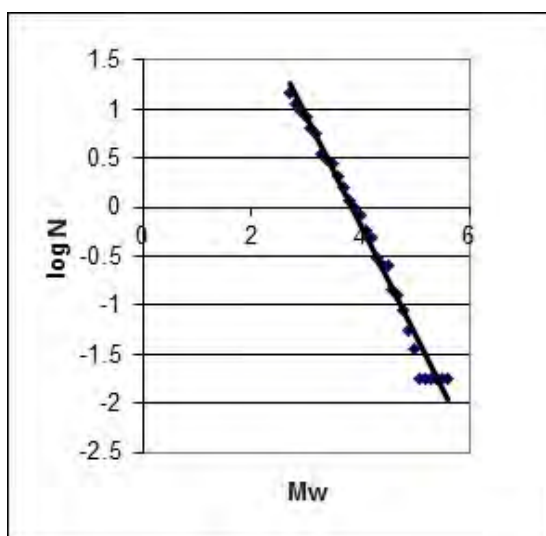


Рисунок 5 – График повторяемости второй зоны

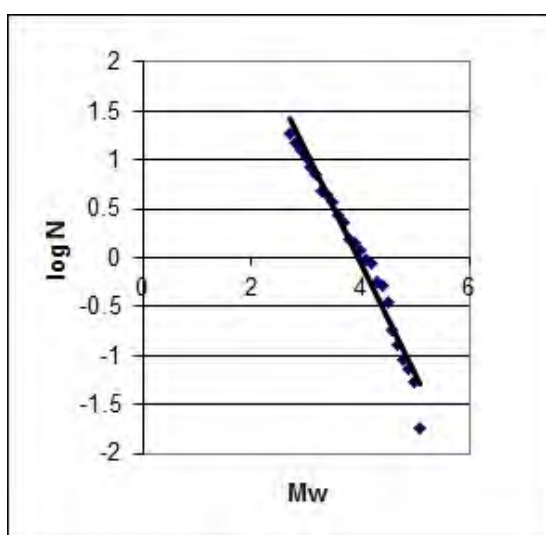


Рисунок 6 – График повторяемости третьей зоны

Сравнение графиков повторяемости по каждой зоне показывает небольшое изменение наклона графика повторяемости с для первой - $LgN=3,9356-1,0757Mw$, $R_c=0,995$, второй - $LgN=4,2695-1,1113Mw$, $R=0,9874$ и третьей - $LgN=4,4669-1,129Mw$, $R=0,972$ зонам, соответственно.

Выводы. В зависимости от группирования землетрясений территория исследования разделена на три зоны. Полученные графики повторяемости землетрясений в трех зонах во всех диапазонах магнитуд в исследованных зонах исследуемой территории.

Литература

1. Карта интенсивности сотрясений земной поверхности в баллах при вероятных максимальных землетрясениях на территории Кыргызстана (масштаб 1:1000000) // СН КР 20-02:2018 Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Бишкек. 2018. С. 81-117.
2. Камчыбеков М.П., Мураталиев Н.М., Камчыбеков Ы.П., Егембердиева К.А. Сейсмичность территории городов Балыкчи и Токмок, Кыргызстан // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2021. № 2 (18). С. 62-66.
3. Джанузакон К.Д. Землетрясения Киргизии и сейсмическое районирование ее территории. Фрунзе: Илим. 1964. 116 с.

4. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975г. / Отв. ред. Н.В. Кондорская и Н.В. Шебалин. М.: Наука. 1977. С. 198-296.
5. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии. Бишкек: Илим. 2003. 216 с.
6. Опыт комплексного сейсмического районирования на примере Чуйской впадины (Северный Тянь-Шань). Фрунзе: Илим. 1975. 190 с.
7. Геология кайнозойских отложений Чуйской впадины и ее горного обрамления. Л.: Наука. 1976. 128 с.
8. Детальное сейсмическое районирование Иссык-Кульской впадины. Бишкек: Илим. 1993. 150 с.
9. Абдрахматов К.Е. Четвертичная тектоника Чуйской впадины. Фрунзе: Илим 1988. 120 с.
10. Корженков А.М. Сейсмогеология Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов). Бишкек: Илим. 2006. 289 с.
11. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1986. 316 с.
12. Лемзин И.Н. Разломы Кыргызской части Тянь-Шаня. Бишкек: Илим. 2005. 60 с.
13. Cornell, A. (1968). Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am., v. 58. P. 1583-1606.
14. Gutenberg B., Richter C.P. Seismicity of the Earth and associated phenomena. and Ed. Princeton Univ. press, Princeton, N. J. 1954, 310 p.
15. Donald L. Wells and Kevin J. Coppersmith (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 84, No 4. P. 974-1002, August 1994.
16. Reiter, L. (2000). Earthquake Hazard Analysis: Issues and Insights, Columbia University Press, New York. 253 p.

ОБЗОР ДОСТУПНЫХ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ И ПОСТРОЕНИЯ 3D РЕЛЬЕФА ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Мучкин А.В.

1995_tem4ik@mail.ru

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

В работе представлены доступные методы картографирования и фотограмметрии с использованием компактных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных видеокамерами и средствами ГНСС (Глобальных Навигационных Спутниковых Систем). В данной работе рассматриваются несколько подходов в фотограмметрии, нацеленных на высокую точность позиционирования.

Ключевые слова: БПЛА (Беспилотный летательный аппарат), аэрофотосъемка, позиционирование, ЦМР (цифровая модель местности), ЦМР (цифровая модель рельефа), ГНСС (Глобальная Навигационная Спутниковая Система).

Введение. Сотрудники Научной станции РАН в г. Бишкеке (НС РАН) уже около 40 лет занимаются вопросами строения и исследования современных движений земной коры в Центральной Азии. Для этого можно использовать традиционные методы наземных геодезических наблюдений: свето-дальномерные (линейно-угловые) и нивелировочные измерения. Но они имеют естественные ограничения по объему трудозатрат и охвату территорий исследования.

При развитии более передовых космогеодезических методов позиционирования в 1990-х годах получила развитие Центрально-Азиатская GPS сеть. На основе многолетних измерений этой сети были получены новые результаты по миллиметровым движениям разных частей Тянь-Шаня, обоснованы предположения о причинах формирования горных областей между Индийской и Азиатской плитами [1]. Дальнейшее развитие этой сети и более широкий территориальный охват позволили более детально изучить внутреннюю структуру современных движений земной коры [2]. При этом следует отметить, что измерения на основе наземных и космических геодезических методов дают информацию о движении только отдельных точек на земной поверхности.

Помимо космогеодезического направления в последнее время получили активное развитие методы картографирования и фотограмметрии с использованием компактных беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), оснащенных видеокамерами и средствами ГНСС (Глобальных Навигационных Спутниковых Систем). Первые оценки точности относительного позиционирования на основе аэрофотограмметрического (АФГМ) метода в пределах Бишкекского геодинамического полигона показали возможность построения 3-мерной цифровой модели исследуемой территории [5]. Но при этом отклонения от эталонных дистанций между реперами многолетних ГНСС измерений составили 100-1300 мм, что не может быть удовлетворительным для геодинамических исследований.

Тем ни менее, дальнейшее развитие технологий и программных обеспечения (ПО) АФГМ дают возможность более точного построения 3-мерной цифровой модели исследуемой территории. В данной работе рассматриваются несколько подходов в фотограмметрии, нацеленных на высокую точность позиционирования. В наши дни быстро развивается как техническая составляющая БПЛА, так и ПО для построения цифровых 2-3D моделей местности (ЦММ) и рельефа (ЦМР). Так же существует возможность производить гиперспектральную съемку, мультиспектральную съемку, создание топографических карт и планов, NDVI карт.

1. Метод опорных точек – опознаков. Этот метод успешно используется на протяжении долгого времени и основным нововведением является определение координат и высот опорных точек с заданной точностью. Координаты таких точек определяются не при помощи линейно-угловых измерений или нивелирования, а с помощью спутниковых методов. На предполагаемой территории, закрепляется не менее трех контрастных по отношению к окружающей среде опознавательных объектов (опознаков) с заранее полученными ГНСС-позициями в плане и высотами в необходимой системе координат.



Рисунок 1– Внешний вид опознаков

Произведя съемку, полученные снимки проходят фотометрическую обработку, а опорные точки принимаются референсными и по ним происходит перевыравнивание. Как контрольные, можно использовать часть опознаков для проверки перевыравнивания. Выравнивание является блочной фото триангуляцией, которая осуществляется специальным программным алгоритмом. На этапе выравнивания используемое ПО находит общие точки снимков и по ним определяет элементы внешнего и внутреннего ориентирования камеры: координаты, ориентацию и внутреннюю геометрию. При этом сравниваются координаты, полученные с ортофотоплана и исходные координаты, вычисляется СКО и делается вывод о полученных результатах аэрофотосъёмки.

2. Метод PPP. Метод PPP (Precise Point Positioning – позиционирование высокой точности) использует поправки к эфемеридам орбит и бортовым часам Искусственного Спутника Земли (ИСЗ) для получения высокоточных координат. Эти поправки предоставляются в сеть наземными сегментами слежения и контроля за ИСЗ. Метод PPP был разработан в 2005 году Канадской компанией NOVATEL, и как заявляют разработчики, он обеспечивает определение точек земной поверхности с точностью ≤ 1 см в системе координат WGS 84.

Пользователь получает файлы, имеющие в себе точные значения эфемерид, информацию о задержке часов спутников, о задержке сигнала в тропосфере и ионосфере с помощью специальных ресурсов SOPAC (The Scripps Orbitand Permanent Array Center) и IGS (International GNSS Service). Файлы поправок к часам и эфемеридам навигационных спутников бывают трёх видов: оперативные – по ним возможна обработка результатов измерений методом PPP в режиме RTK (Real Time Kinematic); точные – могут быть доступны в промежутке от одного часа до нескольких дней; финальные – доступны в течение от одной до нескольких недель.

NOVATEL предоставляет свою технологию на базе ПО NOVATEL Waypoint. Можно скачать необходимые файлы поправок эфемерид на требуемую дату и приступить к обработке GNSS измерений. Метод PPP реализован так же другими компаниями, которые предлагают похожие решения (например, MADOCA или Trimble RTX).

WGS 84 (World Geodetic System 1984) – это всемирная система геодезических параметров Земли 1984 года, в число которых входит система геоцентрических координат. В отличие от локальных систем, является единой системой для всей планеты. WGS 84 определяет координаты относительно центра масс Земли с погрешностью около 2-10 см. За основу взят эллипсоид с большим радиусом – 6 378 137 м (экваториальный) и меньшим – 6 356 752,3142 м (полярный). Практическая реализация WGS 84 идентична отсчётной основе ITRF2014.

На основе WGS84 сотрудники лаборатории GPS (Научная станция РАН) осуществляют измерения в режиме статики на ГНСС-пунктах и геодезических площадках. Статические измерения с последующей пост обработкой научными сотрудниками лаборатории GPS, дают возможность получить высокоточную усредненную координату за (сутки, неделю, месяц, год), которую необходимо использовать как эталонную для Базовой Станции (БС).

3. Метод RTK совместно с базовой станцией. При более масштабных и сложных задачах предпочтительней использовать БПЛА с высокоточным ГНСС приемником на борту и с применением наземной БС. В качестве примера можно рассмотреть беспилотный комплект для аэрофотосъемки DJI Phantom 4 RTK (БПЛА) и D-RTK 2 Mobile Station Combo (ГНСС приемник). Такой БПЛА с геодезическим **RTK** приемником отражен на рисунке 2.



Рисунок 2– Внешний вид DJI Phantom 4 RTK + D-RTK 2 Mobile Station Combo

При использовании такого комплекта геодезической аппаратуры, на дистанциях до 30 км от базовой станции, ошибка определения координат центра фотографирования не превышает 3-5 см. При благоприятных условиях аэрофотосъемки и качественной обработке исходных данных, точность позиционирования может достигать ≤ 1 см в системе координат WGS84.

Практически для всех указанных выше методов за день до работы предлагается воспользоваться сервисом Trimble GNSS Planning, который используется в качестве получения информации о состоянии созвездия спутников по заданным координатам в

момент измерения. Другими словами, имеется возможность подобрать подходящее количество необходимых ИСЗ на околоземной орбите в определенный промежуток времени.

На сегодняшний день многие ГНСС-приемники работают со всеми глобальными навигационными системами: NAVSTAR GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo, QZSS. Такие мультисистемные приемники в принципе не нуждаются в планировании ГНСС-измерений, так как практически в любое время суток на околоземной орбите будет представлен положительный небесный сюжет. Но если рассматривать БПЛА, то большинство из них принимают сигналы только от двух навигационных систем GPS и ГЛОНАСС. Поэтому, если из рис. 3 исключить все остальные виды спутниковых систем, то остается значительно меньшее количество спутников только GPS и ГЛОНАСС, что показано на рисунке 4. В связи с этим обстоятельством и возникает необходимость подбирать наилучшее расположение ИСЗ на околоземной орбите при работе с БПЛА для построения цифровых моделей исследуемой территории.

Рекомендуемый порядок выполнения геодезических работ с БПЛА:

1. Установка базовой станции, включение, инициализация.
2. Выставление всех необходимых параметров, установка системы координат и указание эталонной координаты для БС (D-RTK 2 Mobile Station Combo) с помощью соответствующего ПО.
3. Включение БПЛА (DJI Phantom 4 RTK).
4. Включение Пульты управления с экраном.
5. Соединение БПЛА с БС через нужный канал связи, с помощью которого БПЛА будет получать поправки от БС в режиме RTK.
6. Выставление всех необходимых параметров для БПЛА, включая заранее полученные координаты ГНСС пунктов в системе координат WGS84 с помощью соответствующего ПО.
7. Проверка функционирования БПЛА.
8. Полет по указанному маршруту с целью сбора данных

Выводы

Точность построения 3D-рельефа зависит: от технического уровня БПЛА (устойчивость в воздухе, точность позиционирования, детальность фотоснимка, продолжительность полета); от методики съемки и алгоритма программной обработки данных. Для геодинамических исследований наиболее перспективным и более точным является «Метод RTK совместно с базовой станцией».

Если 2 года назад оценка точности длин базовых линий на территории НС РАН на основе аэрофотограмметрии и БПЛА достигала в лучшем случае до первых десятков сантиметров, то в настоящее время подобные методы имеют заявленную точность на порядок лучше.

Доступные на сегодняшний день методы построения 3D-рельефа на основе аэрофотограмметрии и БПЛА способны обеспечивать точность до первых сантиметров. А для геодинамических исследований требуется точность до первых миллиметров. Хотя быстрое развитие таких технологий оставляет надежду на достижение требуемой точности в ближайшем будущем.

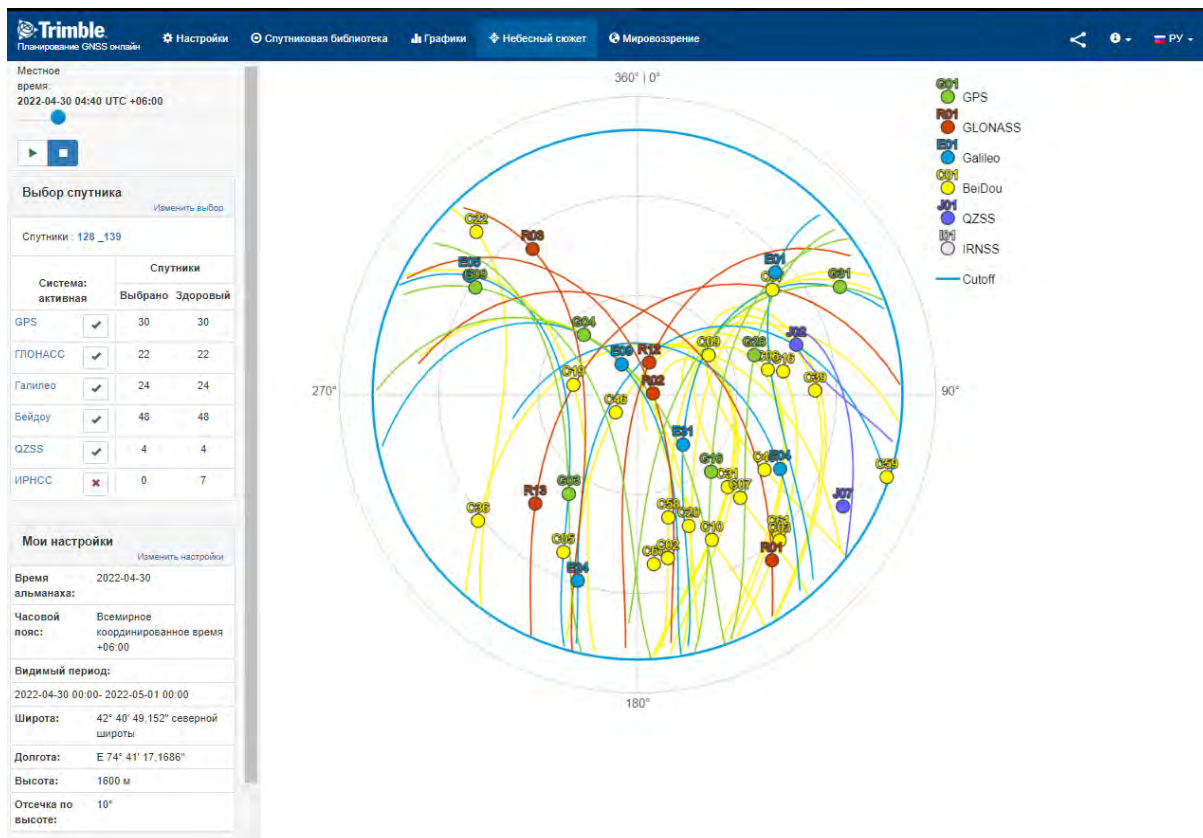


Рисунок 3 – Визуализация треков всех видимых навигационных спутников на 30 апреля 2022 года (<https://www.gnssplanning.com/#/skyplot>).

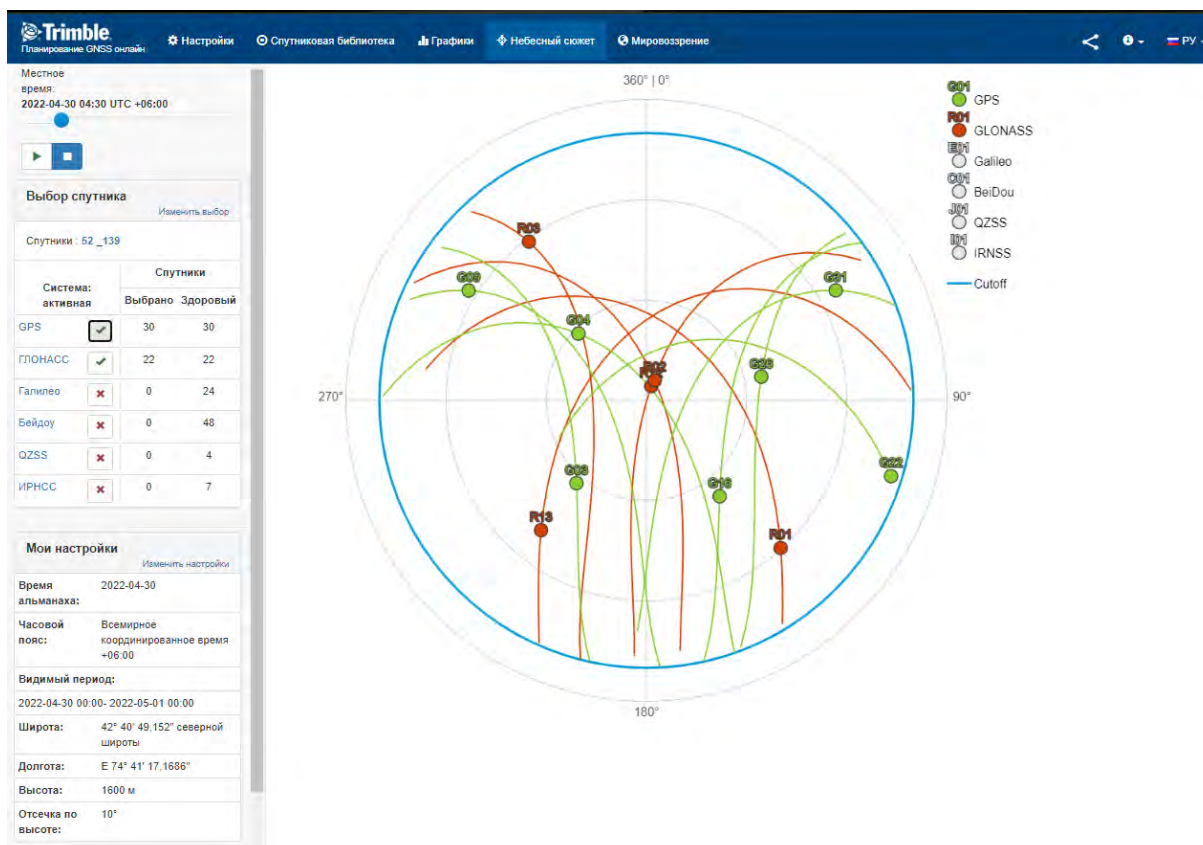


Рисунок 4 – Визуализация треков всех видимых навигационных спутников GPS и ГЛОНАСС на 30 апреля 2022 года (<https://www.gnssplanning.com/#/skyplot>).

Литература

1. Abdrakhmatov K.Ye., Aldazhanov S.A., Hager B.H., Hamburger M.W., Herring T.A., Kalabaev K.B., Makarov V.I., Molnar P., Panasyuk S.V., Prilepin M.T., Reilinger R.E., Sadybakasov I.S., Souter B.J., Trapeznikov Yu.A., Tsurkov V.Ye. Zubovich A.V. Relatively construction of the Tien Shan inferred from GPS measurements of present-day crustal deformation rates // *Nature*. 1996. Vol. 384. P. 450-453.
2. Зубович А.В., Бейсенбаев Р.Т., Сяочан В., Юнфен Д., Кузиков С.И., Мосиенко О.И., Нусипов Е.Н., Щелочков Г.Г., Щерба Ю.Г. Современная кинематика Тарим–Тянь-Шань–Алтайского региона Центральной Азии (по данным GPS измерений) // *Физика земли*. 2004. № 9. С. 31-40.
3. Кузиков С.И., Мухамедиев Ш.А. Структура поля современных скоростей земной коры в районе Центрально-Азиатской GPS сети // *Физика Земли*. 2010. № 7. С. 33–51.
4. Ischuk A., Bendick R., Rybin A., Molnar P., Khan S., Kuzikov S., Mohadjer S., Saydullaev U., Pyasova Z., Schelochkov G. and Zubovich A. Kinematics of the Pamir and Hindu Kush regions from GPS geodesy // *JGR: Solid Earth*. May 2013. Vol. 118. Iss. 5. Pp. 2408–2416.
5. Саламатина Ю.М., Кузиков С.И. Исследование точности позиционирования на основе фотограмметрической съемки // *Вестник КГУСТА*. 2020. № 1 (67). С. 73-79. DOI: 10.35803/1694-5298.2020.1.73-79.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ (НА ПРИМЕРЕ ПРОФИЛЯ МТЗ «СОН-КУЛЬ»)

Непеина К.С.

neks@gdirc.ru

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

В данной работе представлен результат сопоставления региональной геоэлектрической модели по профилю «Сон-Куль» и гипоцентров сейсмических событий для оценки распределения сейсмичности по глубине на примере Центрального Тянь-Шаня. Область исследования находится вдоль 75° в.д. и ограничена 41.5°-42.3° с.ш. Для магнитотеллурического профиля «Сон-Куль» рассмотрены сейсмические события за 2000-2020 гг. и была сделана соответствующая выборка гипоцентров сейсмических событий для сравнения их распределения с геоэлектрическими объектами-проводниками и изоляторами.

Ключевые слова: гипоцентр, землетрясение, геоэлектрическая модель, Тянь-Шань, Сон-Куль.

Введение. Основной целью исследования является построение комплексной геомодели на основе составления геоэлектрических особенностей разреза и распределения гипоцентров землетрясений и сопоставление границ раздела геоэлектрических аномалий. В работе [1] было сделано аналогичное сопоставление для региональной геоэлектрической модели вдоль профиля «NARYN» (76° в.д.) для выявления зон трещиноватости или разуплотнения горных пород. Именно в них могут быть сосредоточены гипоцентры землетрясений, обусловленные флюидонасыщенностью трещиноватых областей. Исследования региональных геоэлектрических моделей продолжились в работах [2-7]. Таким образом, после анализа комплексной глубинной геоэлектрической модели можно получить картину распределения зон деформаций до 25 км по глубине [8].

Методы и способы получения данных. Методика составления комплексной геомодели берет своё начало из работ [1-7]. Основой комплексной глубинной геолого-геофизической модели является глубинный (до 50 км) геоэлектрический разрез, построенный после интерпретации данных магнитотеллурического зондирования (МТЗ). Профильная съемка МТЗ выполнялась в 2019 г. с использованием канадской аппаратуры Phoenix MTU-5 [9] в комплекте с неполяризующимися электродами, электрическими диполями [10] и тремя индукционными датчиками МТС-50, ориентированные по сторонам света по буссоли. Проводились измерения 5 составляющих электромагнитного поля. Наблюдения вдоль профиля проводились на 30 пунктах (рис. 1), заложенных вдоль меридиана 75° в.д., с различным шагом - от 1 до 15 км, в зависимости от полевых условий из-за наличия естественных преград - хребтов (Молдо-Тоо Джумгал-Тоо, Сон-Куль-Тоо, Киргизский). Общая протяженность профиля составила ~95 км. Длительность записи в каждом пункте наблюдения составила в среднем 40 часов. Профиль назван «Сон-Куль», т.к. заложен вблизи озера Сон-Куль (размеры 19×25 км) и пересекает Сокульскую впадину (~29×57 км). После чего проводилась обработка по стандартной методике [11] с помощью соответствующих программ – SSMT-2000 и MT-Corrector [12], затем качественная интерпретация и инверсия – Rodi-Mackie [13], для получения геоэлектрической модели. Итоговая модель и её описание представлено в работе [14].

Для решения поставленной задачи привлекаются каталоги сейсмических событий Международного сейсмологического центра (ISC), зарегистрированных на территории Республики Кыргызстан вблизи профиля МТЗ «Сон-Куль» за 2000-2020 гг. [15]. Поскольку

региональная модель в целом отражаем сопредельные области вблизи заложенного профиля, а координаты эпицентров определяются с некоторой погрешностью, то можно рассмотреть землетрясения, произошедшие на расстоянии ± 50 км от линии профиля. Для этого проводится выборка землетрясений только из области, ограниченной с юга 41.5° , с севера 42.3° с.ш., с запада 74.5° в.д. и с востока 75.5° в.д. Таким образом, к выборке отнесены землетрясения, имеющие горизонтальную проекцию по линии профиля «Сон-Куль» (рис. 1).

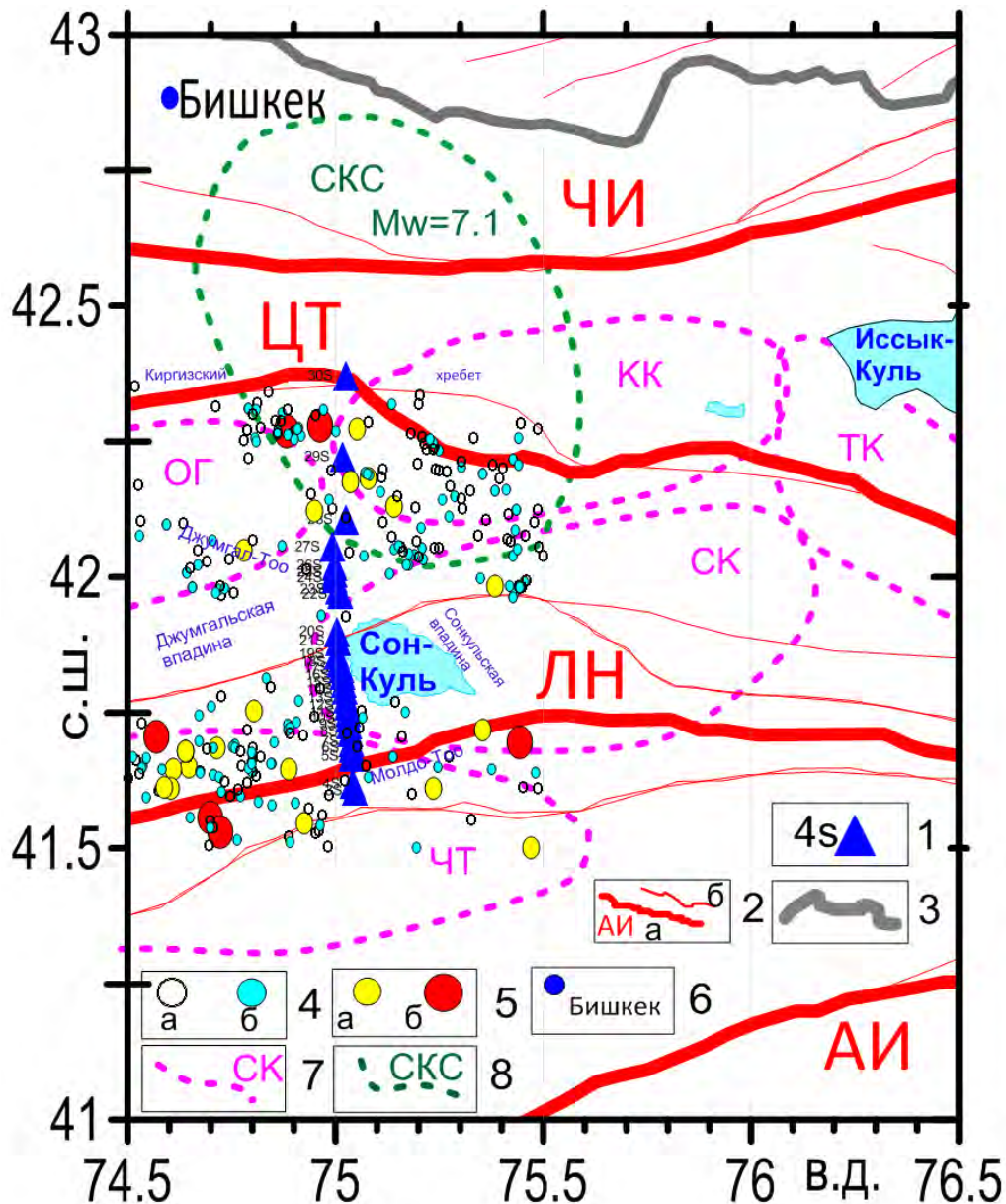


Рисунок 1 – Схема расположения МТ профиля «Сон-Куль» вдоль 75° в.д. и эпицентров землетрясений 2000-2020 гг. для зоны 41.5° - 42.3° с.ш.: 1 – номера пунктов МТЗ; 2 – разломы: а – главные (ЧИ – Чу-Илийский, ЦТ – Центрально-Терскойский, ЛН – Линия Николаева, АИ – Атбаш-Иныльчекский), б – второстепенные; 3 – граница Киргизской Республики, 4 – слабые сейсмические события с магнитудами: а – 0.8-2.5, б – 2.5-3.5; 5 – сильные сейсмические события с магнитудами: а – 3.5-4.5, б – 4.5-5.5; 6 – города 7 – районы ожидаемых землетрясений (РОЗ) силой от 5 до 7 баллов на территории Нарынской области на период 2011-2020 гг. [16, 17] (составили Э. Мамыров, В.А. Маханькова) (КК – Кызарт-Кочкорский, ОГ – Ойгаинский, ЧТ – Чаарташский, СК – Сонкульский, ТК – Терскойский); 8 – кольцевая сейсмическая структура по Ю.Ф. Копничеву, И.Н. Соколовой [18]

Результаты. В выборку попало всего 284 землетрясения за рассматриваемый период. Так всего за период 2000-2020 гг. для выбранной территории произошло 6 сильных землетрясений магнитудой $m_b > 4.5$, два из которых приурочены к северной тектонической структурной линии – Центрально-Терской разлому, а четыре к южной – Линии Николаева. Распределение «сильной» сейсмичности на территории Сонкульской впадины и Джумгальской долины неоднородно. Двадцать событий с магнитудой $3.5 < m_b < 4.5$ также сосредоточены в северной и южной частях профиля. В то же время в центральном сегменте (Сонкульской впадине) сейсмических событий практически не наблюдалось.

Совместный анализ профильного геоэлектрического разреза и распределения поля гипоцентров сейсмических событий показал, что положение землетрясений энергетического класса $K > 6$ находится в соответствии с геолого-геофизическими представлениями. На рис. 2 показано скопление гипоцентров вблизи глубинных зон деформаций и их тяготение к границам разделов между геоэлектрическими аномалиями. «Распределение высокоомных объектов в верхней части разреза (до глубин порядка 25 км) подтверждает существующие представления о блоковой структуре верхней части земной коры на глубину до 50 км. Зона высокого градиента электрического сопротивления в пунктах зондирования 22-23 на геоэлектрическом разрезе соответствует офиолитовому шву, который представляет собой фрагменты древней океанической коры» [14]. Профиль условно можно разделить на 4 фрагмента, которые отличаются между собой: южный – пункты МТЗ 1-14, сонкульский – пункты МТЗ 15-23, джумгальский – пункты МТЗ 24-28, северный – пункты МТЗ 29-30.

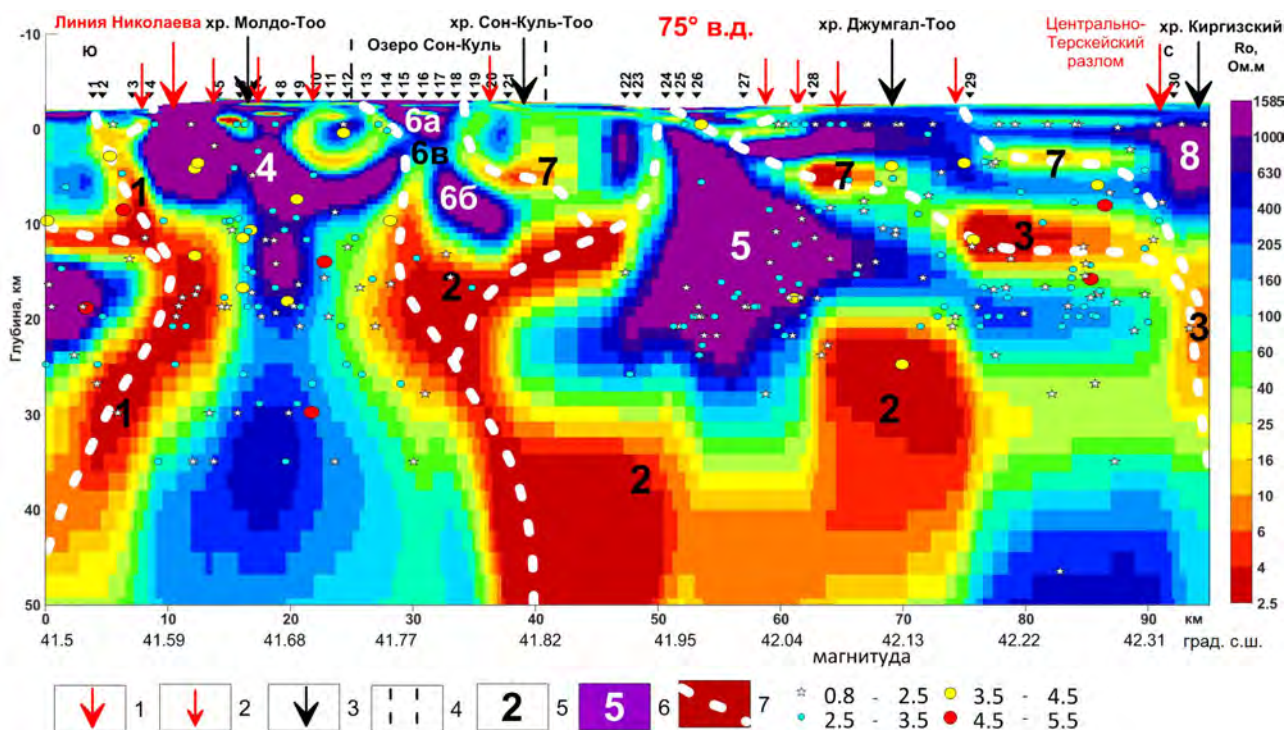


Рисунок 2 – Геоэлектрическая модель вдоль профиля «Сон-Куль» с нанесенными гипоцентрами землетрясений 2000-2020 г. вдоль 75° в.д.: 1 – основные тектонические разломы; 2 – второстепенные разломы; 3 – хребты; 4 – границы оз. Сон-Куль; цифрами обозначены структуры: 5 – проводящие; 6 – высокоомные; 7 – предполагаемые зоны концентрированной деформаций «структуры цветка» по [14]

Выводы. Результат сопоставления относительного расположения гипоцентров землетрясений позволяет выявить взаимосвязь распределения сейсмичности и контуры геоэлектрических аномалий, наблюдаемых в построенной модели. Дальнейший анализ такого сопоставления показывает, что границы геоэлектрических неоднородностей хорошо коррелируют с пространственным распределением гипоцентров землетрясений. Большинство гипоцентров попадает внутрь изоляторов, как в южной зоне пп. 4-14 на

глубине 10-20 км, так и в Джумгальской зоне пп. 24-28. При этом разрядка тектонических напряжений происходит в краевых частях высокоомных тел. Наиболее сильные землетрясения приурочены к зонам концентрированной деформации на глубинах 10-30 км (вблизи белых пунктирных линий на рис. 2). Гипоцентры слабых землетрясений для пп. 28-30 выстроились горизонтально вдоль линии раздела тел с высокими (400-1500 Ом·м) и средними (25-100 Ом·м) значениями кажущегося сопротивления.

Эти выводы свидетельствуют о наличии определенной взаимосвязи: гипоцентры землетрясений попадают на границы объектов и очерчивают геоэлектрические объекты, либо находятся внутри изоляторов. Совместный анализ геоэлектрической модели вдоль 75 меридиана и сейсмичности дополняют существующие региональные модели предыдущих исследований Тянь-Шаня.

Автор признателен коллегам лаборатории глубинных магнитотеллурических исследований ИС РАН г.н.с. Рыбину А.К., в.н.с. Е.А. Баталевой и с.н.с. В.Е. Матюкову за предоставленные материалы и идею для исследования. Алгоритм для оценки распределения землетрясений на геоэлектрических моделях ведется в рамках выполнения государственного задания ИС РАН по темам АААА-А20-120102190009-9 и 1021052806454-2-1.5.1.

Литература

1. 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.
2. Рыбин А.К. Геоэлектрические неоднородности земной коры Северного Тянь-Шаня и распределение сейсмичности // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2010. № 2. С. 225-237.
3. Баталев В.Ю., Баталева Е.А. Взаимосвязь между геоэлектрическими характеристиками литосферы Тянь-Шаня и распределением гипоцентров сейсмических событий // Проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов: Материалы докл. Шестого Междунар. симп.: к 35-летию Научной станции РАН и 15-летию Международного научно-исследовательского центра - геодинамического полигона / Отв. ред.: А.К. Рыбин, В.Ю. Баталев. Бишкек: ИС РАН. 2015. С. 139-142.
4. Баталева Е.А., Баталев В.Ю. К вопросу о зонах динамического влияния разломных структур // Четвертая тектонофизическая конференция в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле: материалы докл. всерос. конф. с междунар. участием. М.: ИФЗ РАН. 2016. С. 350-354.
5. Баталева Е.А., Рыбин А.К. Региональные особенности в распределении глубинной электропроводности Центрального Тянь-Шаня // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ЛII Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2020. С. 60-65.
6. Непейна К. С., Баталева Е. А. Особенности распределения гипоцентров землетрясений на геоэлектрических моделях в сейсмоопасных районах Тянь-Шаня // Проблемы геокосмоса: Материалы 13-ой международной школы-конференции / Отв. ред. Н.Ю. Бобров [и др.]. СПб: ООО "Издательство ВВМ". 2021. С. 270-278.
7. Баталева Е.А. Изучение глубинного строения сейсмоактивных зон методом магнитотеллурического зондирования // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 2. № 1. С. 345-353. <https://doi.org/10.33764/2618-981X-2021-2-1-345-353>.
8. Непейна К.С., Юнусов А.И. Проявление глубинных структур литосферы Тянь-Шаня в современных геодинамических процессах // Фундаментальные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ЛII Тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2020. С. 107-111.
9. Fox L. Satellite-Synchronized 3-D Magnetotelluric System / U.S. Patent № 6 191 587 B1. 2001.
10. Лосихин Л.Н., Матюков Е.К., Пазников В.А., Петров П.П., Тимонин Г.Н. Неполяризуемый электрод для наземной геофизической электроразведки / Патент на полезную модель. RU 123979 U1. 2013.

11. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И., Новиков Д.Б., Пастуцан В.В. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных. М.: Диалог-МГУ. 1997. 161 с.
12. Колосов Н.А. Программа просмотра, редактирования и построения гладких сплайн-аппроксимаций частотных зависимостей компонент тензора импеданса (“MT-Corrector”) / Свидетельство на программу для ЭВМ. RU № 2005612195. 2005.
13. Rodi W.L., Mackie R.L. Nonlinear conjugate gradients algorithm for 2-D magnetotelluric inversion // *Geophysics*. 2001. V. 66. P. 174-187.
14. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Матюков В.Е., Морозов Ю.А., Непейна К.С. Глубинное строение литосферы Центрального Тянь-Шаня по профилю магнитотеллурического зондирования “Сон-Куль” // *ДАН. Науки о Земле*. 2021. Т. 496. № 2. С. 115-121. <https://doi.org/10.31857/S268673972102016X>.
15. Каталог ISC-GEM Global Instrumental Earthquake Catalogue. Version 7.0 - released on 2020-04-09. <http://doi.org/10.31905/D808B825>. Дата обращения 12.05.2020.
16. Рахмединов Э.Э., Тилек Кызы Г., Байкулов С.К. Сейсмическая опасность территории Нарынской области (Кыргызская Республика) // *Научные исследования в Кыргызской Республике*. 2019. № 1. С. 21-27.
17. Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории Кыргызской Республики. Изд. 14-е с изм. и доп. Бишкек: МЧС КР. 2017. 750 с.
18. Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. Кольцевые структуры сейсмичности в районах Центрального Тянь-Шаня и Джунгарии: возможная подготовка сильных землетрясений // *Вулканология и сейсмология*. 2014. № 3. С. 65-73.
19. Rybin A.K., Bataleva E.A., Nepeina K.S., Matyukov V.E. Volumetric and spatial segmentation of the Tien Shan lithosphere according to geophysical data // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2021. 12(3). p. 508-543. (In Russ.) <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-3-0537>.

ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН

Нестерова Л.И.¹, Умаров Ш.А.¹, Хабибуллаев С.С.², Маликов М.Р.¹
Luda_Nest@gmail.com, shakhumarov@gmail.com, saidoas@yandex.com

¹ Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Государственный комитет по геологии и минеральным ресурсам Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

В настоящем исследовании указаны некоторые особенности создания цифровой геологической информации, которая призвана отразить, как текстовое, так и графическое содержание созданных геологических карт, моделей, проектов и комплексных решений. Деятельность по созданию цифровой геологической информации началось с зарождением математического анализа полученных полевых данных. На основе создаваемых моделей были реализованы многочисленные геологические и практические исследования, результатом которых являются кибернетические основы отображения геологической информации. В современном мире комплексное представление накопленной информации представляется как единое целое – т.е. цифровая информация. За последние годы актуальность создания «Электронного фонда геологической информации», а далее «Фонда цифрового комплексного банка геологических данных» приобрело характер национальной программы. В частности, согласно этим инициативам создана Стратегическая Государственная программа «Цифровой Узбекистан – 2030».

Ключевые слова: геологическая информация, картографическая информация, электронный образ, электронная книга, оцифровывание информации, базы данных.

Введение. В настоящее время во всех отраслях экономики Республики Узбекистан придается большое значение развитию цифровой экономики. Цифровая экономика - это деятельность, в которой ключевыми факторами производства являются данные, представленные в цифровом виде, а их обработка и использование в больших объемах, в том числе непосредственно в момент их образования, позволяет по сравнению с традиционными формами хозяйствования существенно повысить эффективность, качество и производительность различных видов производства, технологий, оборудования, при хранении, продаже, доставке и потреблении товаров и услуг. Цифровизация огромного объема информации играет большую роль при проведении научных исследований, в том числе и в геологической отрасли. Поэтому задачи по определению особенностей цифровизации геологической информации, а также созданию, обеспечению и использованию данной информации являются актуальной темой исследования, которое выполнено авторами данной научной работы.

Становление цифровой геологии в Узбекистане начиналось ещё в 70-ые годы XX века. Её истинное и визуально понятное отражение в геологической отрасли начало проявляться в первых десятилетиях независимости Республики Узбекистан. Основой для «цифровой информации» сегодняшнего дня являются кибернетические основы отображения геологической информации, которую создавали первые математики-геологи.

Локальные базы данных (ЛБД) создавались и вели её учёт с того периода, когда математическое моделирование геологических процессов были отдельным направлением. Предложенные варианты БД уже с применением программных пакетов по созданию, переработке и редактированию геологической информации в рамках исследований или же отдельных рабочих, производственных, стратегических программ сопровождалась значениями отображаемой информации.

Особенности цифровизации геологической информации. Перевод геологических карт в цифровую форму представляет собой изображение всех элементов геологической карты в виде набора точек, линий, площадных объектов (полигонов), положение которых в пространстве привязано к определенной системе координат.

Системы координат могут быть, как местные (условные), так и глобальные принятые для отдельных стран и регионов мира или для всего земного шара.

Во-первых, объекты карты привязаны относительно произвольных прямоугольных координат, например, нулевое значение координат выбрано в левом нижнем углу карты.

Во-вторых, все объекты привязаны в глобальных прямоугольных или географических системах координат на поверхности земного шара.

Программы, позволяющие создавать цифровые карты в глобальных системах координат, называются Географическими Информационными Системами (ГИС). Примерами наиболее широко распространенных и используемых геологами ГИС являются ПАРК, Geoshaper, MapInfo, ArcView, ArcGis.

Сегодня в Государственном Комитете Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам (Госкомгеологии РУз) создаётся «Единая система цифровой геологической информации» в виде «ГЕОПОРТАЛА». Стратегической Государственной программой «Цифровой Узбекистан-2030» предусмотрено синхронизация, интеграция геопорталов отраслей экономики стран, как создание единой системы «Цифровой экономики Узбекистана».

Другие программные продукты, которые хотя и позволяют нарисовать образы, макеты, картографические приложения, например, как широко распространенный и используемый многими специалистами различных отраслей CorelDraw и другие подобные программные средства, не являются ГИС продуктами и представляют собой простой, удобный графический редактор изображений. Нарисованная с помощью этого программного обеспечения геологическая карта и её элементы не могут быть позиционированы на поверхности земли без специальной привязки. Поэтому, в дальнейшем цифровыми геологическими картами, целесообразно именовать, только те продукты, которые созданы с применением ГИС программных обеспечений.

Таким образом, первой и наиболее важной особенностью цифровых геологических карт является возможность изображения объектов геологического картографирования и условий пространственного взаимоотношения между ними на основе реальных географических координат, а также возможность прямого использования данных спутниковой привязки, объектов наблюдения и опробования к объектам геологической карты.

Второй особенностью цифровых геологических карт является возможность внесения информации об объектах, изображенных на картах, в специальные (атрибутивные) таблицы, которые являются неотъемлемым элементом каждого картографического объекта. Таблицы содержат, как обязательную служебную информацию о типе картографического объекта, так и любую содержательную геологическую информацию об объектах картографирования по усмотрению авторов. Именно это дает основание называть ГИС информационной системой. Графические редакторы не имеют возможности нести какую-либо информацию об объекте картографирования, кроме изобразительной составляющей.

Третьей особенностью ГИС и цифровых карт является возможность изменения системы координат (перепроецирование данных) и соответственно отображения всей картографической информации в любой из известных картографических проекций мира.

Четвертая особенность цифровых карт - возможность (при наличии заполненных атрибутивных таблиц) использования атрибутивной информации для создания надписей и оформления картографических объектов в автоматическом и интерактивном режимах, а также формирование любых видов выборок и запросов.

Цифровая геологическая карта должна представлять собой логически структурированную цифровую модель (ЦМ) геологического строения отображаемой территории. Суть структурирования заключается в разнесении информации по различным

тематическим цифровым слоям, что облегчает задачу получения информации об объектах и оформление привычной для геолога, который выполняет визуализацию картографируемых объектов.

Сопровождение картографической информации БД является первой ступенью, так как в дальнейшем требуется создание целой структуры разнородных БД, которые могут отображать всецело необходимую информацию. Представляемая информация должна содержать комплексную информацию, т.е. одна точка анализа представляется результатами исследований или уже утвержденными данными по направлениям: геохимия горных пород, литологическое, минеральное, горно-геологическое описание вмещающих пород, геофизические параметры, горно-технологические показатели и многое другое.

Оцифровка свойственной информации к одной точке не является самоцелью, более того, описание территорий исследованного, исследуемого и предусмотренного к будущему изучению площадей даёт возможность площадного изложения полученных результатов.

В совокупности, указанные материалы (данные) и их значения представляют собой часть геологической информации. Геологическая информация, в свою очередь, дополняется текстовыми, табличными и другими видами информации.

Проведение геологоразведочных работ невозможно представить без применения современных геоинформационных технологий, которые позволяют обработать пространственные данные, космо-аэро-фотографические материалы таких, как Global Mapper (программный пакет для географической информационной системы), Erdasimagine (программный пакет для обработки геопрограммных и гиперспектральных изображений, а также векторных данных) и ENVI (программное обеспечение для анализа изображений, используется профессионалами геоинформационных систем, учеными по дистанционному зондированию и аналитиками изображений), ArcGIS (продукт компании ESRI) и других.

В геологической отрасли Узбекистана особое внимание уделяется широкому применению новейших геоинформационных технологий, которые позволяют с высокой точностью отображать информацию о слоях глубокого залегания и охватывать исследованием обширные площади, экономя затраты средств и времени.

В последние годы приняты основополагающие нормативно-правовые акты для укрепления функционального потенциала и расширения направлений деятельности Госкомгеологии РУз. Это особенно важно с учетом необходимости рационального и эффективного использования природных ресурсов страны.

В частности, Постановлением Президента Республики Узбекистан «О мерах по коренному совершенствованию деятельности Государственного комитета Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам» от 1 марта 2018 года на Госкомгеологии РУз возложены следующие основные задачи и направления деятельности:

- реализация единой государственной политики в области геологического изучения, использования и охраны недр;
- опережающее развитие минерально-сырьевой базы республики;
- повышение эффективности и результативности геологоразведочных работ;
- ведение активной инвестиционной политики в сфере геологического изучения и промышленного освоения месторождений полезных ископаемых и создание благоприятного инвестиционного климата;
- диверсификация сырьевых источников действующих отраслей промышленности;
- мониторинг за реализацией государственных программ развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы;
- осуществление государственного надзора в сфере использования и охраны недр при их геологическом изучении, добыче полезных ископаемых, переработке минерального сырья;
- реализация эффективных мер по модернизации геологической отрасли за счет ускоренного внедрения современного высокопроизводительного геологоразведочного оборудования, обеспечения передовой техникой и инновационными технологиями;

- реализация системных мер по подготовке для геологической отрасли высококвалифицированных кадров.

Согласно Постановлению Президента №ПП-4522 от 18 ноября 2019 года «О мерах по совершенствованию системы организации и проведения геологоразведочных работ на нефть и газ» функции по проведению научно-исследовательских, региональных геологосъемочных, геофизических и буровых работ и по организации работ для опережающего развития и воспроизводства запасов углеводородного сырья республики переданы Госкомгеологии РУз [9].

5 октября 2020 года одобрена Стратегия Национальная Программа «Цифровой Узбекистан-2030» [8]. В рамках реализации задач, поставленных этой программой, геологическая отрасль намерена получить единую базу геоинформации, основу которой составляет ArcGIS Enterprise Server Advanced и будет отображено, как «ГЕОПОРТАЛ», синхронизацию и интеграцию которой с другими отраслями экономики предусматривают, как составную часть «Цифровой экономики Узбекистана».

Именно эта стратегия будет единой базой геоинформации, которая объединит результаты многочисленных локальных, специализированных, региональных и территориальных геологических исследований, геологические разработки, геологические материалы, а также разработанные промышленные программные продукты геологической отрасли.

Сегодня успешно создаются основы «Электронного фонда геоинформации» на базе Государственного Геологического Фонда, а также ведомственных организаций, в частности ГУ «ИГИРНИГМ». В дальнейшем, будут реализованы мероприятия по расширению фонда геологической информации путём оцифровывания геологической информации, являющимися результатом деятельности отраслевых организаций, специализированных предприятий, недропользователей.

Геологическая отрасль требует безотлагательного решения унификации и классификации геологической информации, внедрения мировых стандартов и соответственно необходимо развивать собственную базу систематизации, комплексного анализа, стандартизации и отраслевого внедрения достижений.

Особое значение придается приоритетному развитию цифровизации и применению информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) в экономике, в т.ч. в геологической отрасли. Создание цифровой инфраструктуры на базе ИКТ рассматривается в качестве катализатора роста национальной экономики, а также, фактором повышения эффективности управленческих решений и производственных процессов в деятельности государственных органов.

Соответственно, разработка и реализация государственной политики по созданию инфраструктуры цифровой экономики, правильный выбор точек роста являются одной из приоритетных задач Стратегической программы «Цифровой Узбекистан-2030» [8].

Основой по интегрированию отраслевых данных экономики страны является нормативно-правовые акты (НПА), а также Указы, Постановления правительства страны.

В настоящее время изданы нормативно-правовые документы, являющиеся законодательной базой для проведения широкомасштабных работ по инфраструктурному построению цифровой экономики, динамичного и современного развития цифровой геологической отрасли. [1-12].

В частности, основой инфраструктурного построения являются Законы Республики Узбекистан «Об электронном правительстве» и «Об открытости деятельности государственных органов».

Благодаря Стратегической Программе «Цифровой Узбекистан-2030» [8] стартовал новый этап подготовки геологического информационного пространства отраслевой цифровизации. Ярким примером этой деятельности является запуск в системе Госкомгеологии РУз новой редакции создания «Электронного фонда геологической

информации», которая путём совершенствования станет «Единой системой цифровой геологической информации», а также основой «ГЕОПОРТАЛА».

Особенностью создаваемого фундамента является многообразие и многокомпонентность нефтегазогеологических условий, сложноподчиненный характер взаимодействия между компонентами геологической среды, сопровождающихся накоплением большого объема сведений различного характера и содержания (научно-геологические отчеты, научно-методические, руководящие документы и т.д.), которые хранятся в специализированных фондах и библиотеках научных учреждений и предприятий геологической отрасли, в частности ГУ «ИГИРНИГМ».

Проведение исследований в области цифровизации геологической информации начинается с создания электронной библиотеки информационного фонда.

В качестве примера реализации этой системы приведем работы, выполненные в рамках НИР в Государственном Учреждении «Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений» (ГУ «ИГИРНИГМ») в 2021 году.

Этапы выполнения работ по цифровизации ГУ «ИГИРНИГМ» реализованы в рамках данной НИР.

Основанием для проведения исследований по теме НИР №27-21ГКГ и создания электронной библиотеки научно-геологических отчетов геоинформации ГУ «ИГИРНИГМ» являются нормативно-правовые документы [8-12].

В ГУ «ИГИРНИГМ» проведены фундаментальные, прикладные и инновационные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, проектные и научно-технические исследования, обеспечивающие полный цикл нефтегазогеологического производства, которые отражены в научно-геологических отчетах и технических проектах ГУ «ИГИРНИГМ» с 1959 года по 2021 год. В качестве примера приведем научные исследования и отчеты ведущих ученых А.М.Акрамходжаева, А.В.Кирина, В.Я.Синельникова, Х.Х.Авазходжаева М.Эгамбердыева, Х.Х.Миркамалова, О.А.Рыжкова, А.Умарова, М.Х.Арифджанова, Ш.Д.Хикматуллаева, Ш.Д.Давлятова, Г.С.Абдуллаева, А.Р.Ходжаева, А.А.Абидова, Ф.Г.Долгополова, А.Н.Богданова, Т.Х.Шоймуратова, О.А.Зориной, Л.И.Нестеровой, Ш.А.Умарова, С.С.Хабибуллаева и мн. др. [13-23].

В фондах геологической информации ГУ «ИГИРНИГМ» хранятся геологические материалы и отчеты (свыше 7000 отчетов с графическими материалами) эпохи развития геологической отрасли по сегодняшний день. Подготовлена геологическая информация, такие, как уникальные геологические отчеты, а также производственные материалы, опубликованные с использованием разнородной бумаги, машинописных лент, уникальных графических приложений, выполненные чернилами [13-16].

В целях создания электронных образов подобной информации требуется изучение сложных детализированных процессов по обработке подобной информации для достижения матричной основы – белый фон и черные цвета геологической информации, а также для текстовых геологических материалов и сохранения истинного цвета в графических приложениях. Так как, без сохранения их подлинников (оригиналов) нет смысла в создании цифровых основ для будущих поколений.

Среди научных разработок и геологических данных в фонде ГУ «ИГИРНИГМ» хранятся уникальные единичные труды учёных, опубликованные за период 1959-2021гг., на основании которых в большом количестве защищались докторские и кандидатские диссертации, на соискание ученых степеней доктора и кандидата геолого-минералогических наук, например, [15, 20].

Основные положения и методология исследований по созданию электронной библиотеки заключаются в следующем и рассматриваются в следующем порядке:

- изучение и анализ общего состояния бумажных версий (твердых копий) фондовых материалов с целью подготовки электронной базы данных научно-геологических отчетов фондов геоинформации;

- обоснование необходимости создания электронной базы данных научно-геологических отчетов фондов геоинформации;
 - систематизация и обобщение электронной базы данных научно-геологических отчетов фондов геоинформации;
 - методы формирования электронной базы данных научно-геологических отчетов фондов геоинформации;
 - методика поэтапного создания электронной базы данных научно-геологических отчетов фондов геоинформации;
 - анализ основных результатов и эффективности созданной электронной базы данных научно-геологических отчетов фондов геоинформации;
 - представление созданной электронной базы геоинформации для обобщения и привязке к единой информационной базе Госкомгеологии РУз.
- Создание электронного фонда геоинформации, её интегрированное использование отраслевыми хозяйствующими субъектами способствует:
- своевременному исполнению поставленных задач Государственными Программами по реализации геологоразведочной деятельности в Республике Узбекистан;
 - реализации основных этапов Стратегической программы «Цифровой Узбекистан-2030»;
 - обеспечению механизма реализации Постановлений и Указов правительства для реализации полноценной цифровой экономики страны;
 - увеличению доступа к качественному геологическому материалу, как отраслевых предприятий, так и недропользователей [10].

При создании электронного фонда геоинформации научно-геологических отчетов подготовлен список вышеуказанных отчетов с подробной расшифровкой составных частей. Именно эта расшифровка является основным сложным этапом работы при реализации подобных проектов. Так как, исполнители приступают к работе без надлежащей ответственности к анализу имеющегося фонда геологических материалов. Подобные сложные моменты возникают в тех местах, где систематизация самой информации не проводилась с целью упорядочивания поступающей информации. Поэтому необходимо в корне пересмотреть поверхностное отношение при реализации подобных проектов на предприятиях любой отрасли и изменить мировоззрение и подходы специалистов к выполняемым проектам.

Расшифровка подобной информационной базы требует характеристику следующих составных частей геологических отчетов следующих видов:

Отчет - состоящий из одной книги или нескольких книг;

Книга - текстовой или другого вида геоинформации, собранный в один сборник или переплётенный вид продукции;

Том – книга, обозначенная, как отдельные части информационного сборника единого отчёта, работы, проекта и т.д.;

Папка - информационная единица, которая собрала в себе такие наименования, как книги, тома или текстовые, табличные, графические приложения к отчету, работе, проекту;

Часть - встречается реже, но используется в качестве наименования отчета, так как большие геологические исследования проводились в течении многих этапов, годов, времен;

Этап - отчеты подобного вида являются отражением сложности геологического изучения недр, полей, участков, зон и регионов.

Кроме этого, создаваемая база электронного образа, которая в будущем, путём дополнительной обработки станет полноценным электронным фондом геоинформации, требует тщательного ведения подсчёта создаваемых единиц информации, ныне используемых форматов бумажных материалов: А4, А3, А2, А1, А0 и более.

Основным достижением реализованного проекта в ГУ «ИГИРНИГМ» является создание электронного образа более 1,4 миллиона страниц текстовой и более 29 тысяч

единиц графического вида геологической информации. В целом, отсканировано свыше 10 000 единиц отчетов фондов Института.

Следует подчеркнуть, что данная НИР выполнена впервые в геологической отрасли и является образцом для других подразделений Госкомгеологии РУз, определяет научную новизну и практическую ценность исследований авторов научной статьи. Научные разработки и методика исследований по теме №27-21 ГКГ РУз [23] внедрены на смежных предприятиях геологической отрасли Госкомгеологии РУз, отчет по теме зарегистрирован и сдан в Геолфонд Госкомгеологии РУз. В составе Рабочей группы работали ученые, программисты, специалисты – всего 29 человек. Руководителями и ответственными исполнителями НИР являются к.т.н. Умаров Ш.А., Хабибуллаев С.С. и Маликов М.Р.

На последнем этапе цифровизации, в созданные электронные материалы путём дополнительной обработки внесены изменения, которые выявлены на этапе создания «Акта верификации». В дальнейшем, они будут изданы как отдельные электронные книги в соответствии с вышеупомянутыми составными частями каждого геологического отчёта отдельно.

Работа по цифровизации геологической отрасли, в частности, в ГУ «ИГИРНИГМ» продолжается.

Заключение. В заключении следует отметить, что реализация подобных проектов по отраслевым предприятиям, учреждениям и другим видам хозяйствующих субъектов должна опираться на единую политику деятельности, систематическом исполнении всех процессов с целью достижения конечного результата, т.е. создания уникального электронного фонда геологической информации.

В дальнейшем, фонд будет совершенствоваться с целью создания единого отраслевого фонда цифровой геологической информации, требующая интеграции с создаваемыми основами Геопортала.

Литература

1. №ПП-1730 от 21.03.2012г. «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий»;
2. №ПП-1989 от 27.06.2013г. «О мерах по дальнейшему развитию Национальной информационно-коммуникационной системы Республики Узбекистан»;
3. №ПП-2042 от 20.09.2013г. «О мерах по дальнейшему усилению стимулирования отечественных разработчиков программного обеспечения»;
4. №295-ДСП от 16.10.2015г. «Об утверждении Положения о порядке организации и обеспечения безопасности конфиденциальной информации на объектах информатизации Республики Узбекистан»;
5. №184 от 02.06.2016г. «О мерах по совершенствованию порядка оказания электронных государственных услуг»;
6. №ПП-4354 от 07.06.2019г. «О дальнейшем совершенствовании информационно-библиотечного обслуживании населения Республики Узбекистан» (приложения 1, 2, 3 «Программа мер по развитию информационно-библиотечной сферы в Республике Узбекистан на 2019-2024гг.»).
7. №ПП-4401 от 23.07.2019г. «О мерах по дальнейшему совершенствованию геологического изучения недр и реализации Государственной программы развития и воспроизводства минерально-сырьевой базы на 2020-2021 годы».
8. ПП №6079 от 05.10.2020г. «Об утверждении стратегии «Цифровой Узбекистан-2030» и мерах по ее эффективной реализации»;
9. №ПП-4522 от 18.11.2020г. «О мерах по совершенствованию системы организации и проведении геологоразведочных работ на нефть и газ».
10. Поручение Госкомгеологии РУз «Ускоренная подготовка электронных фондов геоинформации» №13-4555 от 10.12.2020г. в рамках совместной Дорожной карты Госкомгеологии РУз и АО «ИГИРНИГМ».

11. Распоряжение Госкомгеологии РУз «О мероприятиях по формированию электронных фондов отчетов Госкомгеологии РУз» №8 от 10.02.2021г. Госкомгеологии РУз.
12. Перечень научно-исследовательских работ по геологическому изучению недр АО «ИГИРНИГМ», финансируемых в 2021 году за счет Государственного бюджета Госкомгеологии РУз.
13. Акрамходжаев А.М. Геологические предпосылки нефтегазоносности Узбекистана. // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. Ташкент. 1960г.
14. Мелькановицкий И.М., Ветчинкина Л.С., Иногамов Х.Х., Канлун В.А., Киршин А.В., Кононова Н.А., Орловский А.С., Синельников В.Я. Основные результаты и методика интерпретации глубинных геофизических исследований нефтегазоносных областей УзССР и сопредельных площадей (Устюрт, Амударьинская впадина, Северо-Кызылкумская синиклиза, Ферганская и Таджикская депрессия) // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. Тема Б.3.1./114 Т.1. Текст. Ташкент. 1960.
15. Авазходжаев Х.Х. Литология и геохимия меловых нефтегазоносных отложений Газлинского поднятия. Дис. ... канд. геол.-мин. наук. // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. Ташкент. 1963.
16. Эгамбердыев М., Минакова Н.Е., Миркамалов Х.Х., Тейянов П.И., Умархаджаев У.С., Мадеиов М., Таджитинов О., Арифджанов М.Х., Камолов Я., Касимов У.Х., Хикматуллаев Б.С. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности мезозой-кайнозойских отложений Южного и Юго-Западного Узбекистана. // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. Т. 1. Ташкент. 1966.
17. Давлятов Ш.Д. Тектонические критерии перспектив нефтегазоносности Узбекистана и прилегающих территорий с целью выработки рекомендации по направлению геолого-поисковых работ на нефть и газ. // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. Ташкент. 1976.
18. Абидов А.А., Ходжаев А.Р., Педдер Ю.Г. Научное обоснование и разработка программы дальнейших геологоразведочных работ на нефть и газ в мезозойских отложениях Ферганской впадины. // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. Ташкент. 1994.
19. Долгополов Ф.Г. Исследования процессов дегазации Земли на преобразование РОВ в связи с прогнозом нефтегазоносности недр Узбекистана. Тема №183-04. // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. В 1 кн. Ташкент. 2006.
20. Богданов А.Н. Перспективы наращивания запасов безсернистого газа в юрских терригенных отложениях в пределах Северо-Западной части Чарджоуской ступени. Дис. ... канд. геол.-мин. наук // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. Ташкент. 2009.
21. Нестерова Л.И., Киршин А.В., Зорина О.А. и др. Подсчет запасов УВ месторождения Ходжадавлат по состоянию на 2011г. Тема №ПД 458-11Т. // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. Ташкент. 2011.
22. Шоймуратов Т.Х. Построение гидродинамических моделей разведываемых месторождений с целью повышения эффективности геологоразведочных работ в пределах Бухаро-Хивинский нефтегазоносного региона. Тема №340-13Б // Фонды ГГФ и труды ИГИРНИГМ. В 2-х кн. Т. 1 - Текст. Т. 2 - Графика. Ташкент. 2013.
23. Умаров Ш.А., Хабибуллаев С.С., Маликов М.Р. Создание электронной библиотеки научно-геологических отчетов геоинформации АО «ИГИРНИГМ». Тема №27-21 ГКГ РУз. // Фонды ГГФ и ГУ «ИГИРНИГМ». Ташкент. 2021.

ПРОЯВЛЕНИЯ ФЛЮИДОВ, ЧАСТИЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ И ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ В 2015-2020 ГГ.

Омуралиева А., Мураталиева Ж.

oturaika@mail.ru, zhazgul0404@mail.ru

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

В работе представлены результаты определения локальных скоростных неоднородностей Северного Тянь-Шаня по данным цифровых станций сетей KNET, KRNET и динамики этих неоднородностей в пределах территории ($\varphi=42^{\circ}-43,5^{\circ}$, $\lambda=76,5^{\circ}-77^{\circ}$) сильных событий - Верненское (1887, $M=7.3$, $K=16.9$, $H=20$ км) и Кеминское (1911, $M=8.2$, $K=17.8$, $H=25$ км) за период 2015-2020 гг. Отмечены последовательные проявления в очагах землетрясений флюидов, выраженные малыми значениями V_P , V_S , V_P/V_S , частичного плавления - малыми значениями V_P , V_S , но большими значениями V_P/V_S и высоких давлений - большими значениями V_P , V_S .

Ключевые слова: землетрясение, активная структура, разлом, сейсмическая волна, скорость волн, флюиды, частичное плавление, высокое давление

Введение. Рассматриваемая территория ($\varphi=42^{\circ}-43.5^{\circ}$, $\lambda=76.5^{\circ}-77^{\circ}$) находится на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита [1, 2]. Литосфера Казахского щита поддвинута под литосферу Тянь-Шаня. Здесь с севера на юг развиваются активные структуры: Илийская впадина, Заилийское поднятие, Кемино-Чиликская впадина, Кунгейское поднятие, Иссыккульская впадина, Кызылчокуйское и Тегерекское инверсионные поднятия, Терскейское поднятие (рис.1). Заилийское поднятие имеет дивергентное строение, надвигается на север на Илийскую впадину и на юг на Кемино-Чиликскую впадину по разломам взбросового типа. Кунгейское поднятие также имеет дивергентное строение, надвигается на север на Кемино-Чиликскую впадину и на юг на Иссыккульскую впадину по разломам взбросового типа. Важно отметить, что Кемино-Чиликская впадина, соответственно имеет конвергентное строение, испытывает сжатие. Кызылчокуйское и Тегерекское поднятия имеют южноасимметричное строение. Терскейское поднятие представлено Западно-Терскейским сегментом, имеющий южно-асимметричное (северное крыло пологое, южное крыло крутое) строение. Сильные события [2], такие как Верненское землетрясение (1887, $M=7.3$, $K=16.9$, $H=20$ км) произошло в зоне Предзаилийского разлома, и Кеминское (1911, $M=8.2$, $K=17.8$, $H=25$ км) землетрясение - между Кунгейским и Заилийским поднятиями. В зоне Западно-Кунгейского разлома [3] имеются следы сильных Актекинских палеоземлетрясений [4]. Следует отметить, что изучение объемных сейсмических волн очагов землетрясений, слежение за проявлением флюидов, частичного плавления и высоких давлений и динамикой локальной скоростной неоднородности являются важными задачами сейсмологии [5, 6, 7].

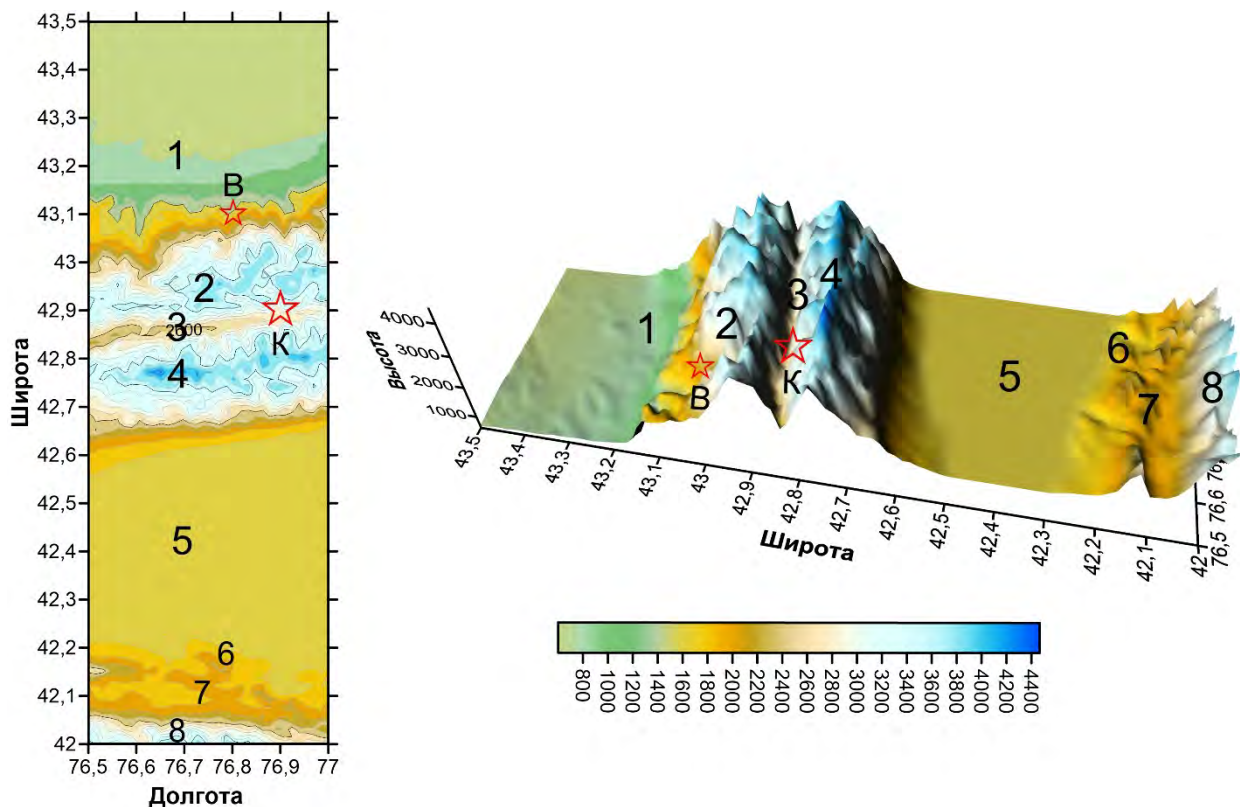


Рисунок 1 – Карта-схема и 3D-модель (по данным SRTM - радиолокационной топографической цифровой модели) активных структур в пределах меридиана сильных событий - Верненское (В) (1887) и Кеминское (К) (1911). Впадины: 1-Илийская, 3- Кеминско-Чиликская, 5-Иссыккульская; поднятия: 2- Заилийское, 4- Кунгей Ала-Тоо, 6- Кызылчокуйское, 7- Тегерекское, 8- Терской Ала-Тоо (сегмент Западный Терскей)

Исходные данные и методика исследований. Исходными данными является бюллетень землетрясений за 2015-2020 гг. Северного Тянь-Шаня, составленные Центром данных ИС НАН КР по записям цифровых станций сетей KNET и KRNET. Параметры продольной волны изучались по записи Z – вертикальной компоненты, а параметры поперечной волны – по записи одного из трёх компонентов, где он чётко виден. Оценивались значения: rms – среднеквадратическое отклонение времени пробега наблюденных и вычисленных (погрешность), se – стандартное отклонение от времени вступления, d – класс точности определения эпицентра, she – 68%-ный доверительный интервал в определении положения эпицентра, глубина очага по заложенным скоростным моделям (depth) и по методикам, заложенным в программе Hypoellipse (HZ), sez – 68%-ный доверительный интервал в определении глубины и т.д. При проведении исследований были выбраны близкие землетрясения, регистрируемые минимум тремя и более цифровыми сейсмическими станциями, среднеквадратическое отклонение времени пробега rms=0.1, стандартное отклонение от времени вступления se=0.1, класс точности определения эпицентра d=1. Представительный класс землетрясений являлся K=6. По имеющим карточкам землетрясений составлялись индивидуальные годографы и определялись скорости объёмных сейсмических волн V_P , V_S , V_P/V_S очагов с достоверностью аппроксимации $R^2 > 0.98$.

Скорости сейсмических волн очага V_P , V_S , V_P/V_S согласно критериям, определённым в работе [8], выражают проявления флюидов, частичного плавления, высокого давления. А именно, малые значения V_P , V_S , V_P/V_S выражают проявления флюидов, малые значения V_P , V_S , но большое значение V_P/V_S – частичное плавление, большие значения V_P , V_S – высокие давления в дискретной среде очага.

Проявление очагов землетрясений вдоль широты $\varphi=42^\circ-43,5^\circ$ (между долготами $\lambda=76,5^\circ-77^\circ$) по суткам с 2015 г. по 2020 г. приведено на рис.2. Они приурочены районам

севернее $\varphi=43,7^\circ$ и южнее $\varphi=42,7^\circ$, т.е. севернее северного крыла и южнее южного крыла Иссykkульской впадины. Скорость продольных V_p сейсмических волн очагов изменялась в пределах 5.8–6.8 км/с. Распределение V_p отражает динамику локальной скоростной неоднородности. Отмечается чередование во времени относительно высокоскоростных и низкоскоростных локальных неоднородностей.

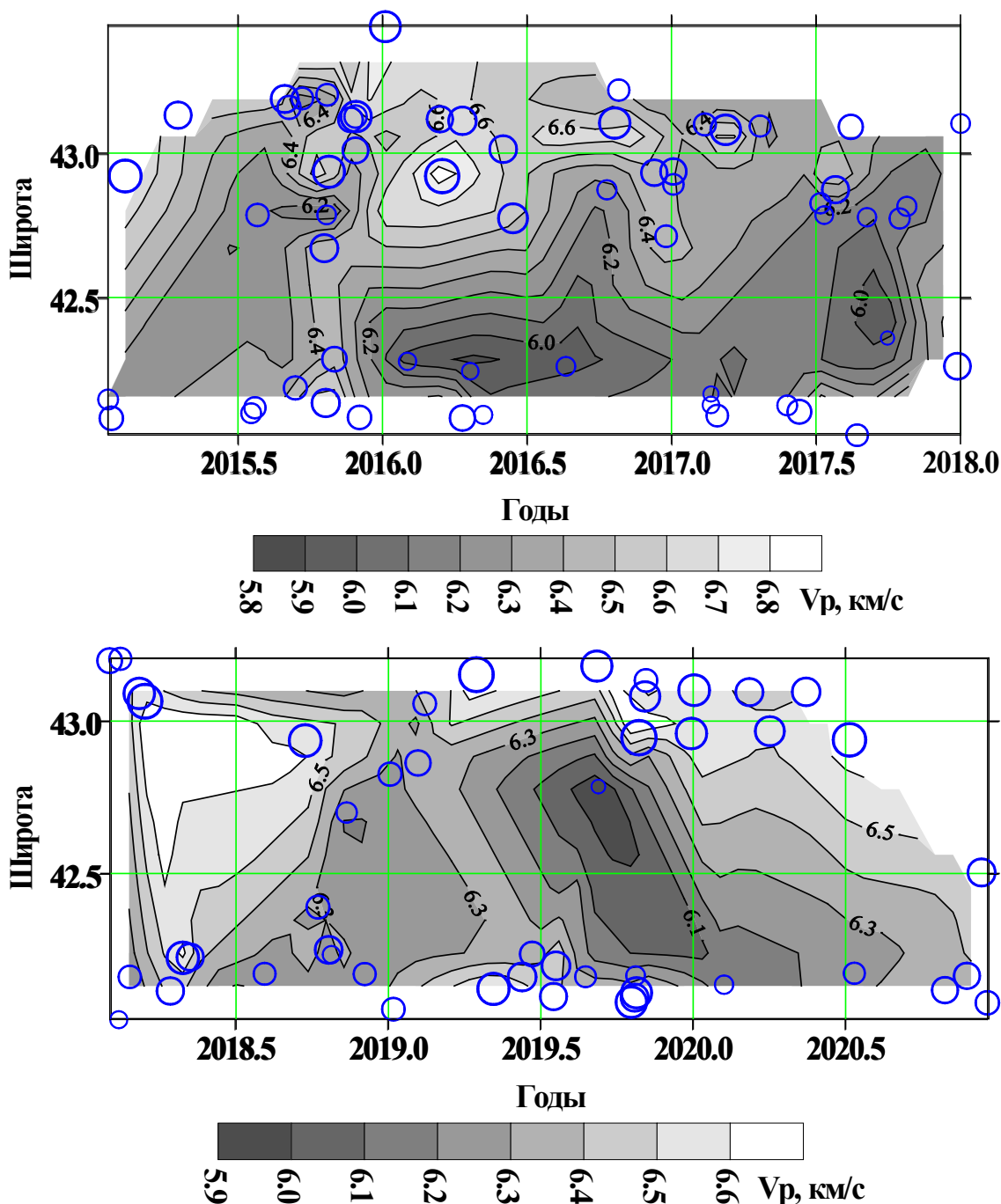


Рисунок 2 – Карта-схема распределения скорости V_p в очагах землетрясений по широте ($\varphi=42^\circ-43,5^\circ$) и во времени за 2015-2020 гг. Кружками обозначены эпицентры событий

Распределение скорости V_s вдоль широты $\varphi=42^\circ-43,5^\circ$ (между долготами $\lambda=76,5^\circ-77^\circ$) во времени с 2015 г. по 2020 г. приведено на рис.3. Скорость поперечных V_s сейсмических волн очагов составляла 3.4–3.9 км/с. На распределении скорости V_s отмечаются чередования во времени относительно высокоскоростных и низкоскоростных локальных неоднородностей.

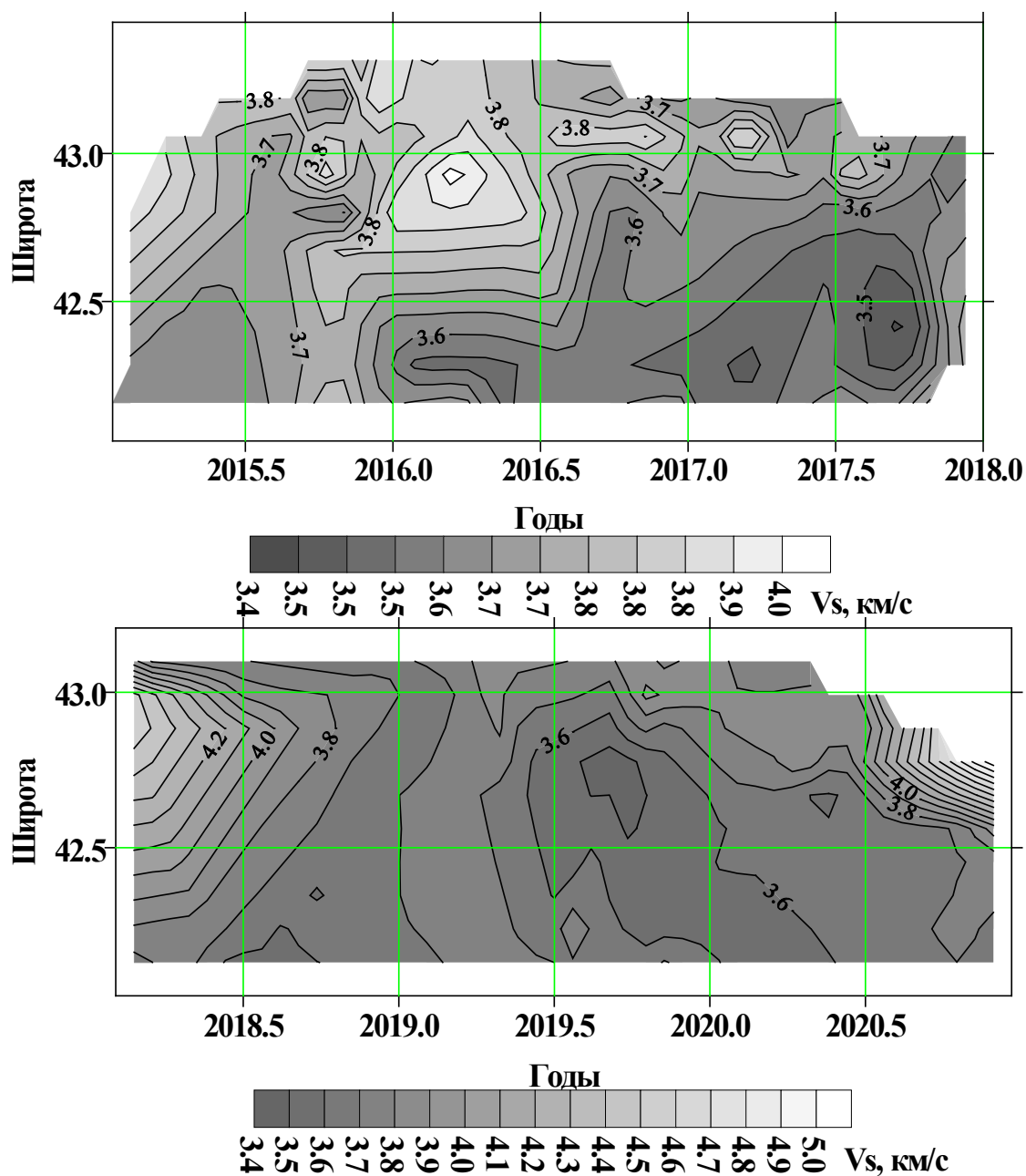


Рисунок 3 – Карта-схема распределения скорости V_s в очагах землетрясений по широте ($\varphi=42^\circ-43,5^\circ$) и во времени за 2015-2020 гг.

На рис.4 приведено распределение отношений скоростей V_p/V_s вдоль широты $\varphi=42^\circ-43,5^\circ$ (между долготами $\lambda=76,5^\circ-77^\circ$) во времени с 2015 г. по 2020 г. В интервалах 2015.8-2015.9, 2016.9-2017.3, 2018.2-2018.3, 2018.5-2018.8, 2019.2-2019.5 гг. отмечались относительно высокие значения $V_p/V_s \geq 1,74$, а между этими периодами - сравнительно малые значения $V_p/V_s < 1,71$.

На основании выше полученных результатов V_p , V_s , V_p/V_s в очагах землетрясений (см. рисунки 2, 3, 4,) и критерий Nakajima et al. определено, что малые значения V_p , V_s , V_p/V_s выражают проявления флюидов, малые значения V_p , V_s , но большое значение V_p/V_s – частичное плавление, большие значения V_p , V_s – высокое давление в среде очага.

На рис.5 приведено распределение глубин очагов землетрясений и места проявления флюидов, частичного плавления, высоких давлений по широте ($\varphi=42^\circ-43,5^\circ$) за 2015-2020 гг. По имеющимся данным можно отметить, что высокие давления проявляются в очагах с глубинами преимущественно 19-21 км, частичное плавление и флюиды – на глубинах 15-17 км.

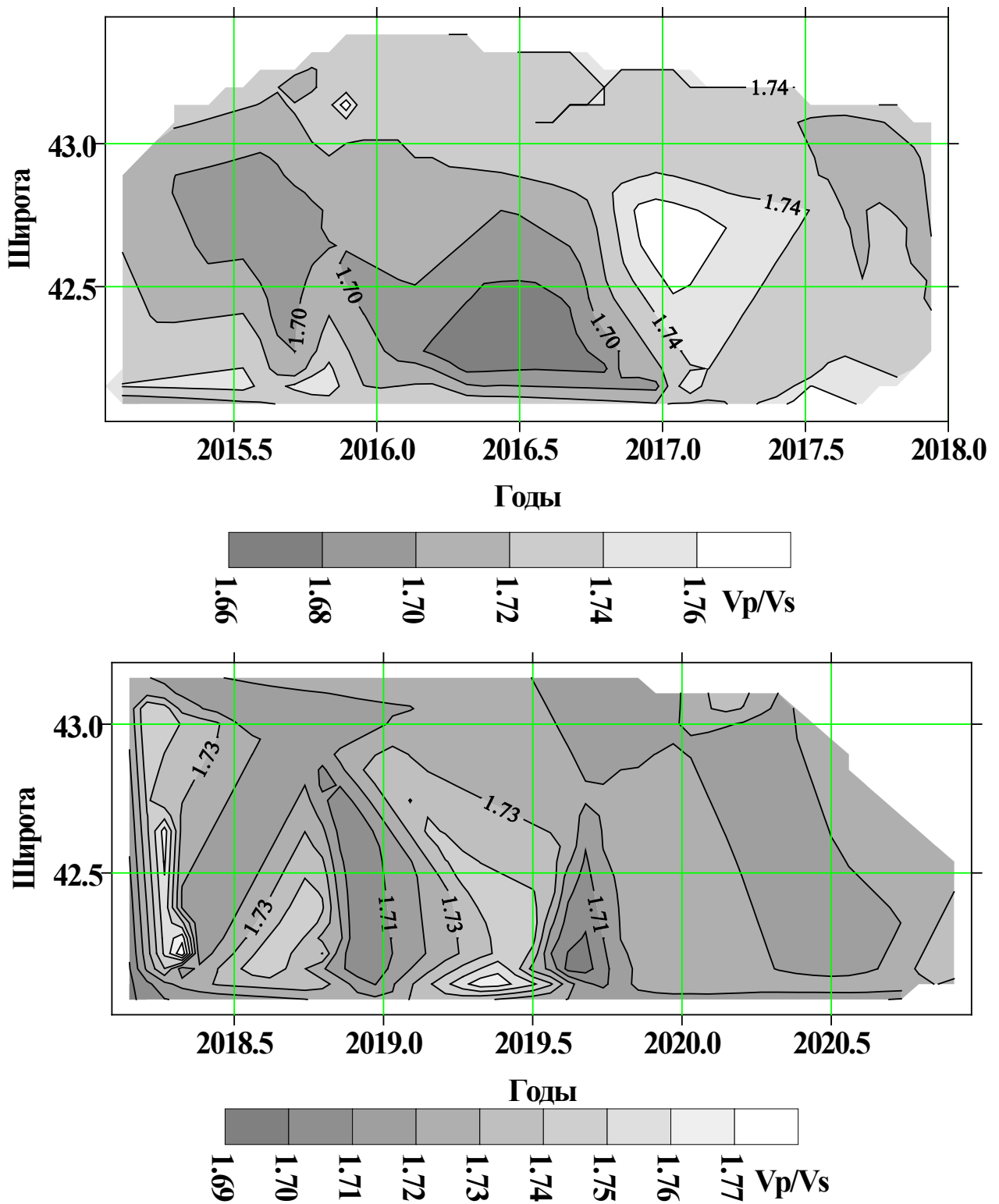


Рисунок 4 – Карта-схема распределения отношений скоростей V_p/V_s в последовательности очагов землетрясений по широте ($\varphi=42^\circ-43,5^\circ$) и во времени за 2015-2020 гг.

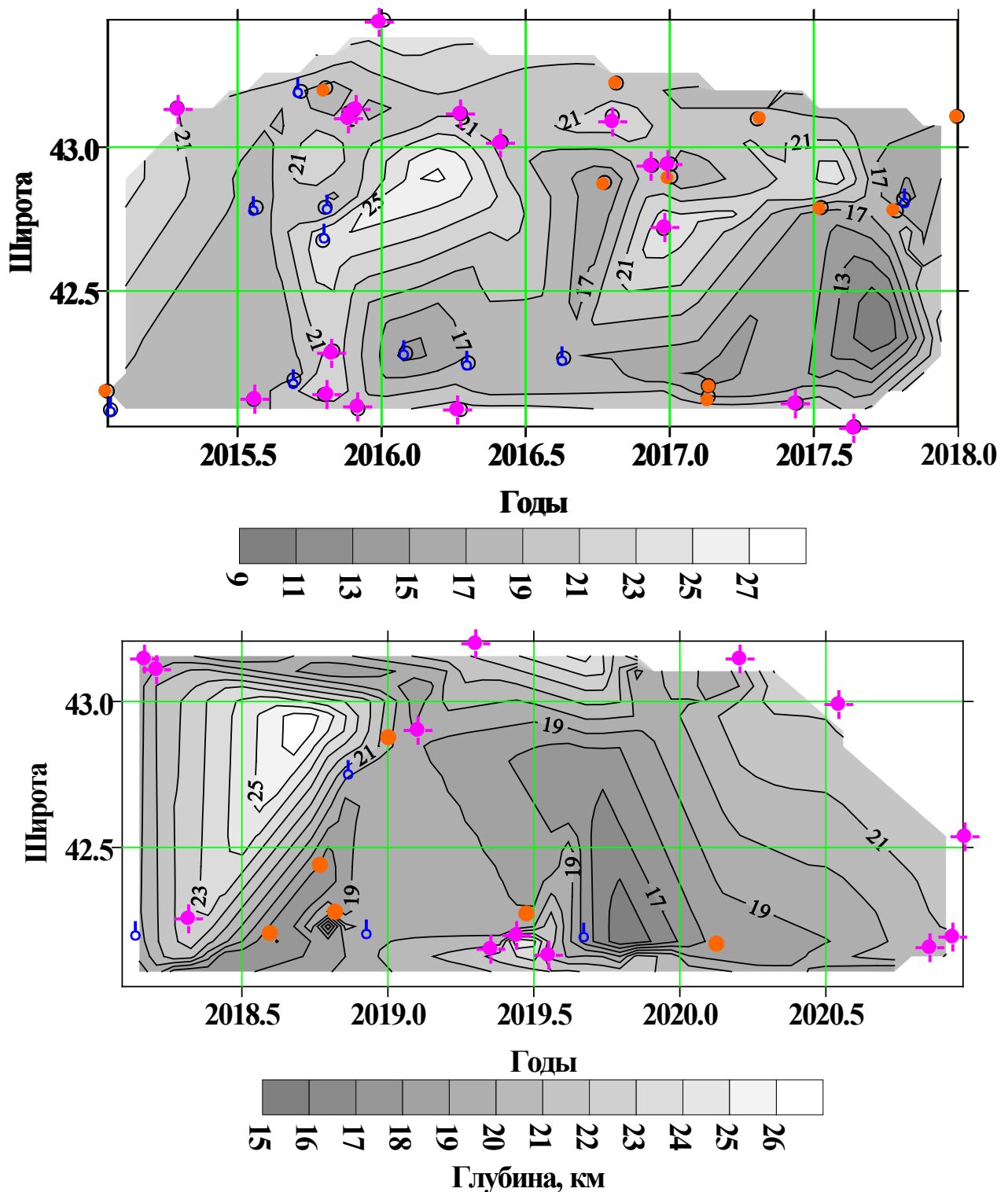


Рисунок 5 – Карта-схема распределения глубин очагов землетрясений и места проявления флюидов, частичного плавления, высоких давлений по широте ($\varphi=42^{\circ}-43,5^{\circ}$) за 2015-2020 гг. Знаком в виде синей капли обозначены флюиды, залитым кругом оранжевого цвета - частичное плавление, фигурой малинового цвета – высокое давление

Заключение

1. Анализированы бюллетени очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня в пределах меридиана сильных событий - Верненское (1887, $M=7.3$, $K=16.9$, $H=20$ км) и Кеминское (1911, $M=8.2$, $K=17.8$, $H=25$ км) за 2015-2020 гг. на территории $\varphi=42-43,5^{\circ}$ $\lambda=76,5-77^{\circ}$.

Отмечены особенности активных структур на сочленении Казахского щита и области горообразования Тянь-Шаня. Определены скорости продольных волн V_p , поперечных волн V_s , величины отношения V_p/V_s в последовательности проявления очагов землетрясений.

2. Составлены карты-схемы распределения скорости V_p , V_s , V_p/V_s объёмных сейсмических волн очагов и выделены локальные скоростные неоднородности. Отмечено чередование локальных скоростных неоднородностей во времени за 2015-2020 гг., что выражает динамику скоростной неоднородности в меридиане крупных землетрясений, например, Верненское, Кеминское и др. на сочленении Казахского щита и Тянь-Шаня.
3. Отмечены проявления флюидов, выраженные малыми значениями V_p , V_s , V_p/V_s , частичного плавления - малыми значениями V_p , V_s , но большими значениями V_p/V_s , высоких давлений - большими значениями V_p , V_s . Сравнительный анализ их места проявления с распределением глубины показал, что высокие давления проявляются в очагах с глубинами преимущественно 19-21 км, частичное плавление и флюиды – на глубинах 15-17 км.

Литература

1. Омуралиева А. Динамика сейсмических процессов на сочленении области горообразования Тянь-Шаня и Казахского щита // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2017. № 2 (10). С. 89-109.
2. Мураталиева Ж., Омуралиева А. Слежение за динамикой сейсмичности в пределах Кеминно-Чиликской зоны, генерирующей землетрясения с $M \geq 8$ // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 3. С. 51-62.
3. Джанузаков К.Д., Омуралиев М., Омуралиева А., Ильясов Б.И., Гребенникова В.В. Сильные землетрясения Тянь-Шаня. Бишкек: Илим. 2003. 216 с.
4. Абдрахматов К.Е., Бегалиев У.Т., Омуралиев М., Омуралиева А. Сейсмическая опасность населённых пунктов и стратегических сооружений Кыргызской Республики. Бишкек: ОСОО «ТРИАДА Принт». 2019. 98 с.
5. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, 2004, Bishkek: Ilim, 166 p.
6. Омуралиев М. Динамика сегментации активного разлома и развития очага землетрясения // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2018. № 2 (12). С. 63-79.
7. Мамбетсадыкова А., Омуралиев М. Мониторинг сейсмических процессов и физических параметров очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 3. С. 97-108.
8. Мамбетсадыкова А., Омуралиева А., Омуралиев М. Мониторинг физических параметров очагов землетрясений зон воз Северного Тянь-Шаня // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2021. № 1 (17). С. 42-71.
9. Nakajima, J., T. Matsuzawa, A. Hasegawa, and D. Zhao. Three-dimensional structure of V_p , V_s , and V_p/V_s beneath northeastern Japan: implications for arc magmatism and fluids // J. Geophys. Res. 2001. Vol.106. №B10. P.21843–21857.

АНАЛИЗ БЮЛЛЕТЕНЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В 2020 Г. НА ЦЕНТРАЛЬНОМ КАРЬЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ “КУМТОР”, КЫРГЫЗСТАН

Омурбек кызы К., Абдрахматов К.Е., Омуралиев М.
kanyshaj.omurbekkyzy@bk.ru, kanab53@yandex.ru, mederbek@mail.ru
 Институт сейсмологии Национальной академии наук Кыргызской Республики,
 г. Бишкек, Кыргызская Республика

Изучены сейсмические волны повторных промышленных взрывов Кумторского месторождения за январь - декабрь 2020 г. по данным цифровых сейсмических станций. Были определены скорости сейсмических продольных и поперечных волн, их отношение (V_P , V_S , V_P/V_S), а также установлены соотношения величин V_P , V_S , V_P/V_S , которые выражают состояние геодинамической среды в пределах Акшыйракского и Терскейского поднятий. Именно малые значения V_P , V_S , V_P/V_S выражают проявление флюидов, малые значения V_P , V_S , но большие значения отношения V_P/V_S - частичное плавления, большие значения V_P , V_S - относительно высокие давления в земной коре.

Ключевые слова: повторные промышленные взрывы, продольные и поперечные волны, скорость сейсмических волн, цикл вариаций сейсмических волн, проявление флюидов, частичного плавления, высоких давлений

Введение. Временная изменчивость скоростных свойств литосферы изучена по данным ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне, а также крупномасштабного Камбаратинского взрыва, регистрируемых, в частности, сетью сейсмических станций Кыргызстана [1-4]. Изучены сейсмические волны ряда Кумторских взрывов за 2012 г., 2016 г., 2017 г., 2018 г., 2019 г. [5-8].

Уникальное золоторудное месторождение «Кумтор», расположенное на северном склоне Акшыйракского хребта, разрабатывается открытым взрывным способом. Сейсмические волны от взрывов регистрируются тремя цифровыми сейсмическими станциями (рис.1): «Каракол» (PRZ), «Каджисай» (KDJ) и «Тарагай» (TARG).

Методика, исходные данные и результаты исследований. Исходными данными исследований являются бюллетени взрывов, составленные Институтом сейсмологии НАН КР за январь – декабрь 2020 года. Сейсмическая энергия взрывов колеблется от $2.4 \cdot 10^4$ Дж до $1.9 \cdot 10^6$ Дж, $K=4,4-6,3$ (рис.2). Магнитуда их составляет $M_{PV}=1.6-2.8$.

Основными параметрами взрывов являются: скорость сейсмических продольных и поперечных волн, их отношение (V_P , V_S , V_P/V_S); максимальные амплитуды и их отношения (A_P , A_S , A_S/A_P) и соответствующие периоды волн. Скорость сейсмических волн определялась составлением годографов для каждого взрыва. Годографы имели достаточную точность, достоверность аппроксимации составляла около $R^2=0.99$. На рис. 3 в качестве примера приведены годографы P- и S-волн от взрыва 10 февраля 2020 г. в 08:02:22.77 на эпицентральной расстоянии 39.5–93.2 км по данным станций «Тарагай», «Каракол» и «Каджисай». Достоверность аппроксимации поперечных и продольных волн составляет $R^2=1.0-0.99$.

Сейсмические волны, направленные в сторону станций «Каракол» и «Каджисай», распространяются через метаморфические породы протерозоя и гранодиориты ордовика, а в сторону станции «Тарагай» волны распространяются через метаморфические породы протерозоя.

Временная вариация значений V_P , V_S , V_P/V_S участков земной коры вблизи Кумторских взрывов изучена за январь - декабрь 2020 г. (рис. 4). В изменении значений V_P , V_S , V_P/V_S скоростей во времени выделяются иерархии циклов (ритмов) вариации. Длительность циклов вариации, например, V_P , V_S второго порядка составляет 112–116 суток, V_P/V_S -276 суток.

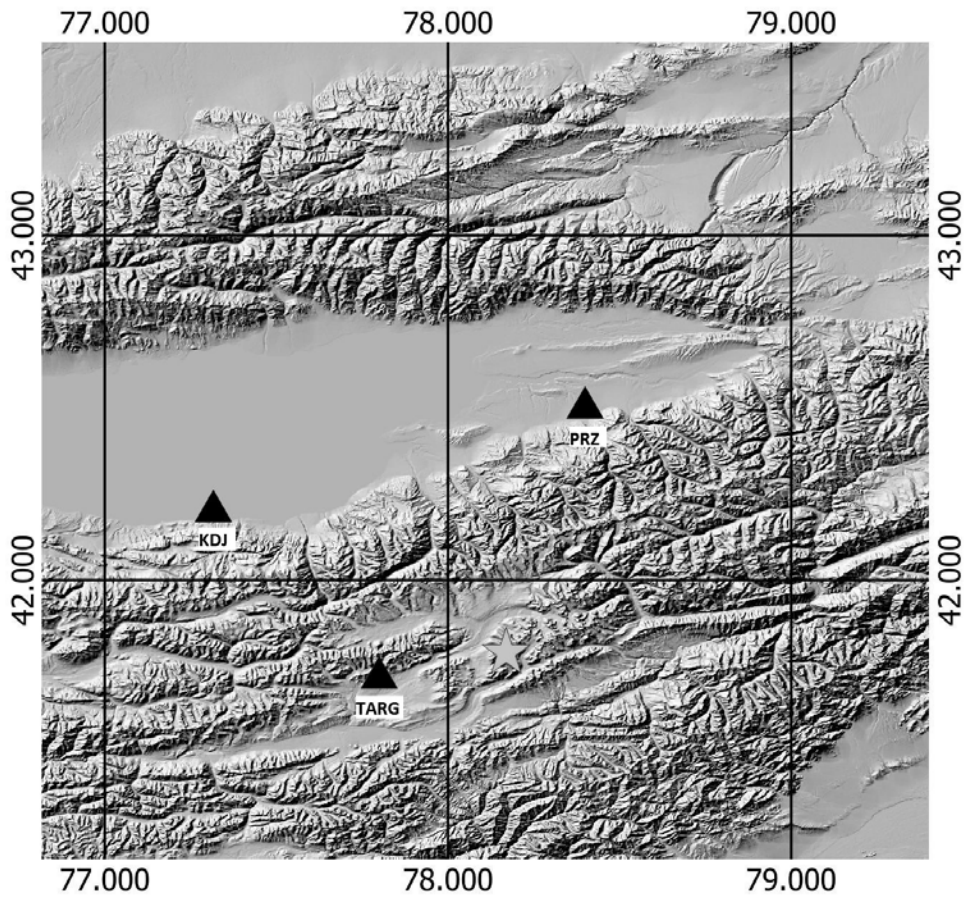


Рисунок 1 – Схема расположения места повторных взрывов и цифровых сейсмических станций за январь - декабрь 2020 г. Место промышленного взрыва обозначено звёздочкой, цифровые сейсмостанции: Каджисай (KDJ), Каракол (PRZ), Тарагай (TARG) – треугольниками

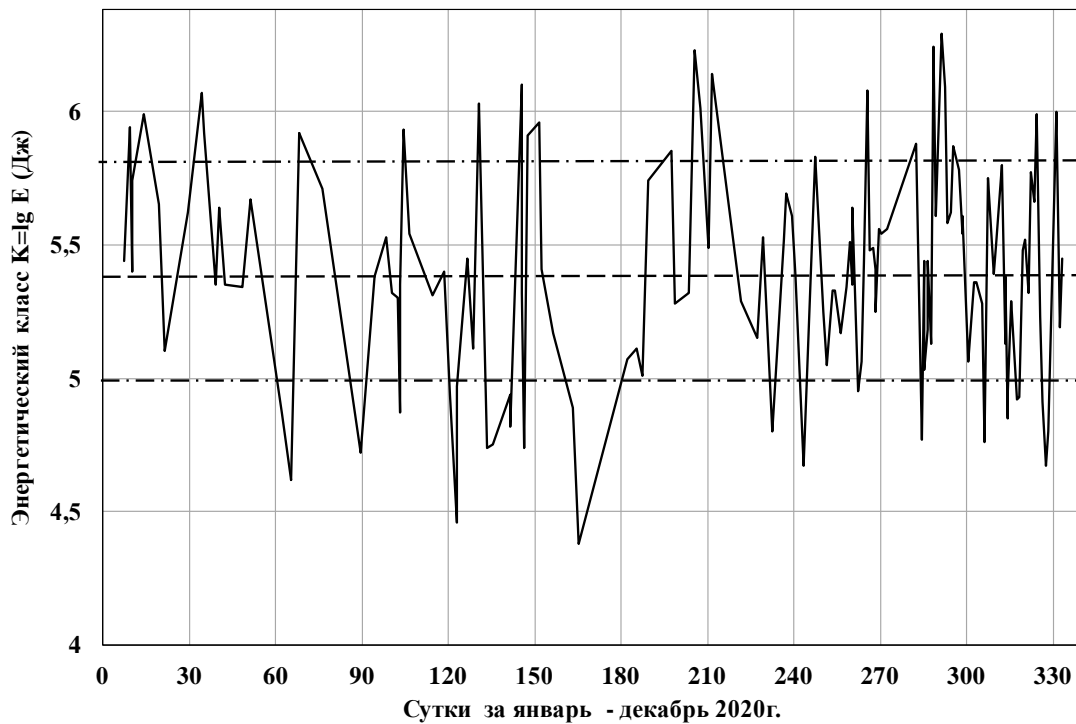


Рисунок 2 – Последовательность взрывов с $K=4,4-6,3$ за январь –декабрь 2020 г. в районе исследования

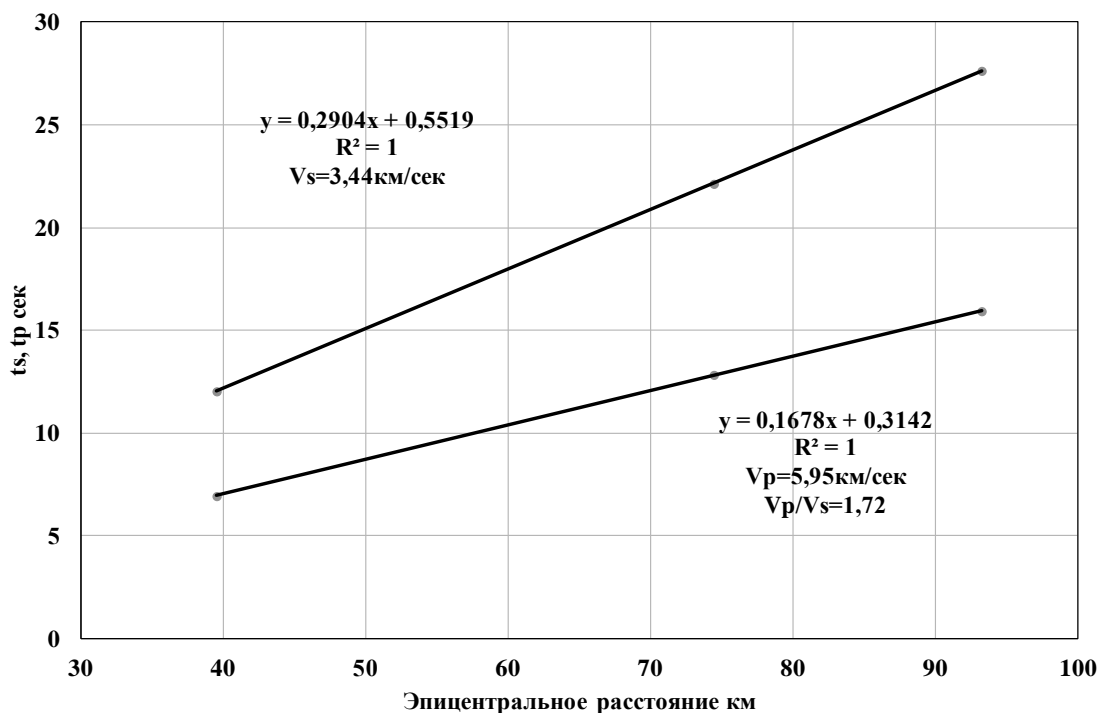


Рисунок 3 – Годографы P- и S-волн от взрыва 10 февраля 2020 г. в 08:02:22.77 на расстоянии 39.5–93.2 км

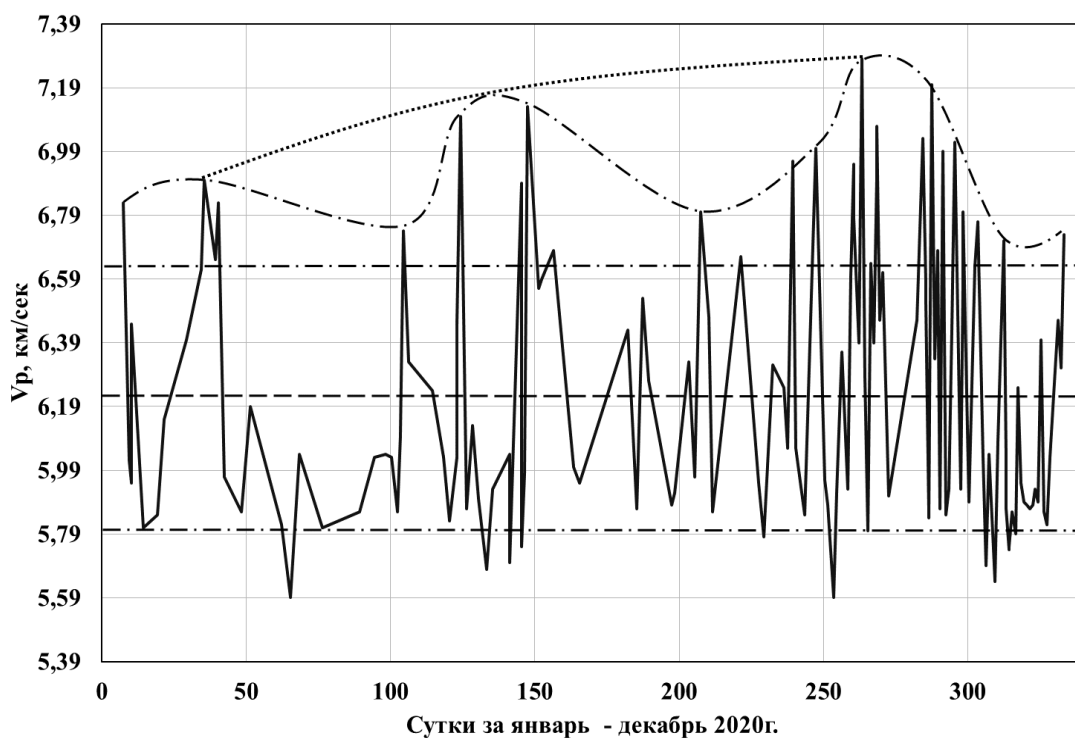


Рисунок 4 – Вариация скорости продольных сейсмических волн V_p взрывов Кумторского месторождения за январь – декабрь 2020 г. Горизонтальной штриховкой обозначено среднее значение. Горизонтальной штриховкой с точками обозначено стандартное отклонение. Криволинейной штриховкой с точечками обозначен цикл (ритмика) вариации третьего порядка, точечной линией - цикл вариации второго порядка

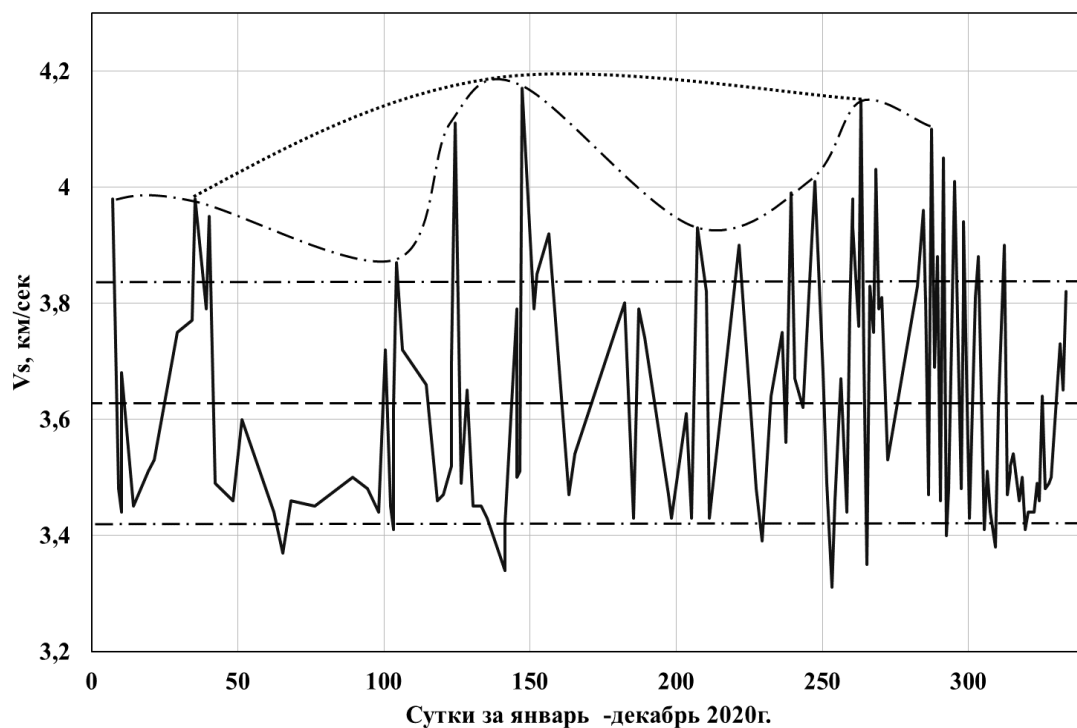


Рисунок 5 – Вариация скорости поперечных сейсмических волн V_s взрывов Кумторского месторождения за январь - декабрь 2020 г. Горизонтальной штриховкой обозначено среднее значение. Горизонтальной штриховкой с точками обозначено стандартное отклонение. Криволинейной штриховкой с точечками обозначен цикл (ритмика) третьего порядка, точечной линией - цикл вариации второго первого порядка

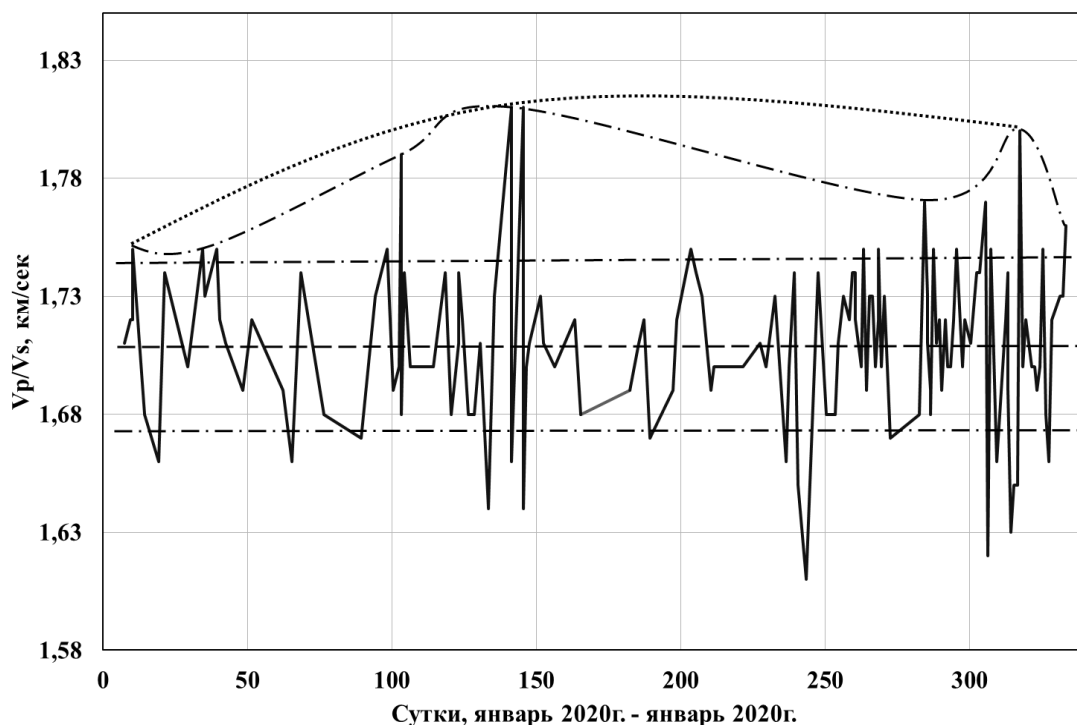


Рисунок 6 – Вариации отношения скоростей продольных и поперечных сейсмических волн V_p/V_s взрывов Кумторского месторождения за январь – декабрь 2020 г. Горизонтальной штриховкой обозначено среднее значение. Горизонтальной штриховкой с точечками обозначено стандартное отклонение. Криволинейной штриховкой с точечками обозначен цикл (ритмика) вариации третьего порядка, точечной линией- цикл вариации второго порядка

Соотношение величин V_P , V_S , V_P/V_S выражает состояние среды [9-13], 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. На рис.7 приведена последовательность проявления флюидов, частичного плавления и высоких давлений в течение 2020 г.

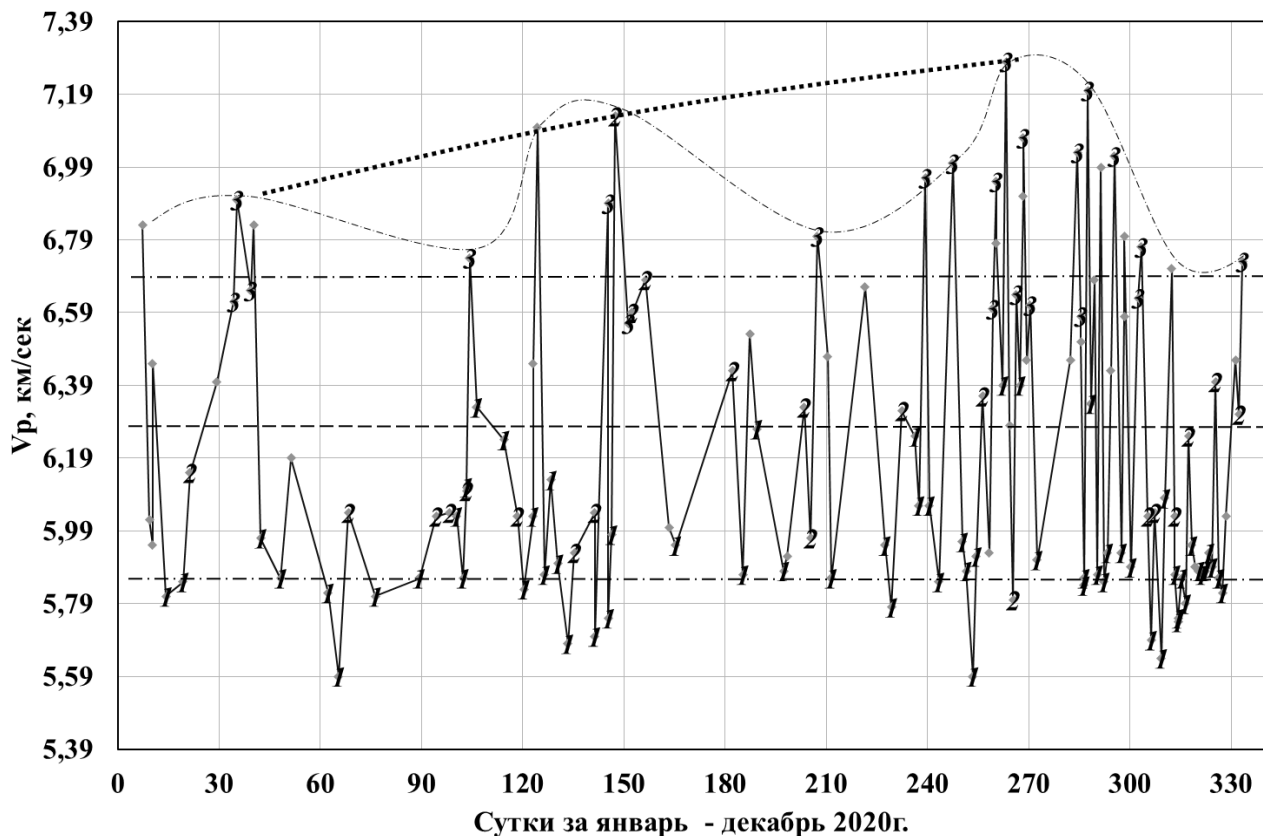


Рисунок 7 – Проявления флюидов, частичного плавления и высоких давлений, а также изменения значений V_p в последовательности повторных промышленных взрывов в 2020 г. в Центральном карьере Кумторского месторождения. Цифрами обозначены проявления 1 - флюидов, 2 – частичного плавления, 3 – высоких давлений.

Заключение

- Сейсмические волны повторных промышленных взрывов Кумторского месторождения позволяют проследить динамику среды земной коры Тянь-Шаня.
- Значения скорости распространения сейсмических продольных и поперечных волн взрывов V_p , V_s и отношения V_p/V_s изменяются во времени. Установлена иерархия циклов вариации V_p , V_s , V_p/V_s .
- Осуществлено ежесуточное слежение за последовательностью проявления флюидов, частичного плавления и условий высоких давлений в геодинамической дискретной среде в пределах Акшыйракской и Терской поднятий в течение 2020 г.

Литература

1. 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.

2. Гамбурцева Н.Г., Люкэ Е.И., Николаевский В.Н. и др. Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами // ДАН СССР. 1982. Т. 266. С. 1349–1353.
3. 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.
4. 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.
5. Омуралиева А., Омуралиев М. Кумторские взрывы и изменение состояния среды земной коры и верхней мантии в реальное время // Известия ВУЗов. 2012. № 6. С. 70–77.
6. 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. URL: <http://www.journal.seismo.kg/index.php/arkhiv/zhurnal-2016-1-7>.
7. Омурбек кызы Канышай, Омуралиев М. Анализ бюллетеней промышленных взрывов на месторождении «Кумтор», Кыргызстан // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 3. С. 83-99. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.4.08>
8. Омурбек кызы Канышай, Омуралиева А., Омуралиев М. Мониторинг сейсмических волн взрывов на месторождении Кумтор за 2019 г. // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2020. № 1 (15). С. 33-49.
9. Nakajima J., Matsuzawa T., Hasegawa A., Zhao D. Three-dimensional structure of V_P , V_S and V_P/V_S beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids // J. Geophys. Res. 2001. V. 106. P. 21843–21857.
10. Omuraliev M., Omuraleva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek: Ilim. 2004. 166 p.
11. 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.
12. Омуралиева А., Омуралиев М. Вероятные участки проявления флюидов и частичного плавления в земной коре Центральной части Тянь-Шаня по данным сетей "GHENGIS" и "KNET" // Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов. Материалы V Междунар. симп. Бишкек. 2011. С. 73–76.
13. Омуралиев М., Омуралиева А. Явление скачкообразного изменения строения литосферы во время и после крупномасштабного взрыва. Авторское свидетельство. Бишкек: Кыргызпатент. 2011. № 1616.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ БЕШКЕНТСКОГО ПРОГИБА ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ С ЦЕЛЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕГО НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НОВЫЕ ПЛОЩАДИ

Парпиев М.В.¹, Шоймуратов Т.Х.¹, Жураев Ф.Ф.¹, Имомкориев Б.М.²
farruxgeolog@mail.ru

¹ Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Государственный комитет по геологии и минеральным ресурсам,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассматривается оценка перспектив нефтегазоносности верхнеюрских отложений Бешкентского прогиба на основе интерпретации геолого-геохимических материалов, включая данных вновь открытых месторождений. В результате проведенного анализа глубоководной части исследуемой территории прогнозируется обнаружение преимущественно газовых и газоконденсатных залежей, а в бортовых частях барьерно-рифтовой системы и зарифтовой лагуны – нефтегазоконденсатных и газоконденсатных с нефтяной оторочкой.

Ключевые слова: нефть, газ, конденсат, месторождения, площадь, углеводород, залежь, оторочка, тип, флюид, пластовая вода, водонапорный комплекс, зона, гидравлический напор, горизонт, миграция.

Введение. Бешкентский прогиб является одной из региональных нефтегазоперспективных структур Бухаро-Хивинского региона (БХР), где в настоящее время активно ведутся поисково-разведочные работы. Здесь обнаружены углеводородные (УВ) залежи различного фазового состава (нефтяные, газонефтяные, нефтегазовые, нефтегазоконденсатные, газоконденсатные и газоконденсатные с нефтяной оторочкой) в интервале глубин 2751-3900 м. Причем, как общее число газовых залежей, так и сумма их запасов превосходит число нефтяных залежей и сумму их запасов. В связи с этим, для комплексного прогноза качества УВ-сырья исследуемой территории были проанализированы и обобщены результаты физико-химического, газохроматографического, гидрогеологического и химико-битуминологического анализов конденсатов, нефтей, газов и керна.

Результаты работ. Результаты газохроматографического и физико-химического анализа газов, нефтей и конденсатов с учетом ранее полученных данных (Д. Сираждинов, А.Г. Кульбаева) показали определенное разнообразие в изменении геохимических показателей флюидов, как по вертикали, так и по латерали [1].

Конденсаты в месторождениях Бешкентского прогиба по физико-химическим свойствам отличаются между собой. По классификации Д. Сираждинова (1983) они в основном среднетяжелые ($\rho_{4}^{20}=0,747-0,791$ г/см³) и сернистые (0,1-0,36%) и лишь Ойдина бессернистый (0,03%). Более тяжелыми ($\rho_{4}^{20}=0,817-0,841$ г/см³), сернистыми и смолистыми являются конденсаты месторождений скв.1 Чунагар и скв.№1 Намазбай. Для конденсатов свойственно наличие в составе парафинов (0,1-2,2 %), смол (0,54-2,3 %) и асфальтенов (0,13-0,94 %). В групповом составе бензиновой фракции (до 200 °С) количество нафтеновых УВ колеблется от 31 до 72,2 %, метановых – 14,9-55 % и ароматических – 9-17 %. Конденсаты месторождений Ойдин и Намазбай обогащены нафтеновыми УВ (69,7-72,2 %). В целом по неуглеводородному составу (содержание серы, смол, асфальтенов, парафинов) конденсаты близки к легким нефтям.

Нефти оторочек газоконденсатного месторождения Сев. Гузар (инт. 3091-3088 м) и Туртсари (инт. 3465-3459 м) залегающие на разных глубинах отличаются между собой. Нефть месторождения Туртсари легкая ($\rho_4^{20} - 0,832 \text{ г/см}^3$), сернистая (1,7 %), смолистая (6,5 %), беспарафиновые (0,01 %) и высокобензиновая (37 %). Бензиновая фракция состоит главным образом из нафтеновых УВ (68 %) и обеднен ароматическими УВ (6 %). Нефть месторождения Северный Гузар нафтенометанового типа тяжелая ($\rho_4^{20} - 0,910 \text{ г/см}^3$), высокосернистая (2,2 %), парафинистая (7,9 %), смолистая (12,1 %) с заметным количеством асфальтенов (4,8 %). Приблизительно такой же состав имеет нефти нефтяного месторождения Гармистон залегающие на глубинах 3375-3436 м. Нефти с плотностью $\rho_4^{20} - 0,908-0,944 \text{ г/см}^3$, высокосернистые (2,3-2,7 %), смолистые (7,6-11,4 %) и парафинистые (5,5-5,8 %). По групповому УВ составу относятся к метаноафтеноароматическому типу.

Газы газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений рифовых фаций (барьерно-рифовая система) с глубины 2751-3760 м отличаются между собой по химическому составу. Количество метана в отличие от лагунной фации изменяется в более широких пределах от 75,4 до 96,0 %, его гомологи от 1,5 до 16,5 %. Газы газоконденсатных залежей относятся к сухим, низкоуглекислым и низкоазотным (месторождения Шуртан, Ахирбулак), нефтегазоконденсатных (месторождения Мирмирон, Ханабад, Каратепе, Шакарбулак) - полужирным. Конденсаты среднетяжелые ($\rho_4^{20} - 0,765-0,790 \text{ г/см}^3$) и тяжелые ($\rho_4^{20} - 0,800-0,833 \text{ г/см}^3$), сернистые (0,1-1,25%) и содержат 50-66% бензина. Для конденсатов нефтегазоконденсатных залежей Мирмирона и Каратепе характерно наличие смолистоасфальтеновых компонентов. В групповом УВ составе количество нафтеновых УВ колеблется в широких пределах от 11 до 72 % и метановых от 8,4 до 65 %. Конденсаты газоконденсатных месторождений Шуртан, Ахирбулак и Бузахур более обогащены ароматическими УВ (27-37 %), а нефтегазоконденсатных (Мирмирон, Каратепе) нафтеновыми УВ (более 60 %). Плотность нефтей изменяется от $0,863 \text{ г/см}^3$ до $0,993 \text{ г/см}^3$, содержание серы - 0,6-3,6 %, смол - 4,5-17,0 %. Более тяжелыми, сернистыми и высокосернистыми, смолистыми, парафинистыми и низкобензиновыми являются нефти месторождений Мирмирон, Ханабад, Каратепе и Шакарбулак. В составе содержание ароматических УВ составляет 11-39 %, нафтеновых - 15-77 %, метановых - 7-65 %. Следует отметить, что нефти месторождений Сев. Шуртан и Шакарбулак относятся метаноафтеновому; Мирмирон и Ханабад - нафтеновому, Шуртана (скв.8) - метаноароматическому типам.

Газы из глубокопогруженной депрессионной фации (глубина 3003-3750 м), находящиеся в зоне АВПД (Чилькувар, Сев. Нишан, Гирсан, Бешкент, Илим, Зафар и Янги Каратепе) характеризуются таким же углеводородным составом и геохимическими показателями как газы рифовой фации. В составе газов обнаружено водород (2,0-14,7 %). Аномально высокое (10,0-14,7 %) его количество зафиксирована в газах гаммаактивной пачки месторождения Янги Каратепе. По составу газы из ложи депрессионной фации газоконденсатных месторождений Чилькувар, Сев. Нишан, Гирсан, Бешкент сухие, низкоуглекислые и углекислые, низкоазотные, а из склона нефтегазоконденсатных залежей Зафар, Шеркент, Янги Каратепе более жирные, низкоазотные и азотные. Конденсаты среднетяжелые и тяжелые ($\rho_4^{20} - 0,750-0,820 \text{ г/см}^3$) и сернистые (0,1-0,59 %) и содержат незначительное количество смол (0,39-4,0 %), асфальтенов (0,09-0,5 %) и парафина (0,69-2,7 %). По групповому УВ составу (по содержанию метановых, ароматических, нафтеновых УВ) конденсаты месторождений Бешкент и Камаша относятся метановому; Шеркент, Зафар, Чилькувар - метаноафтеновому; Гирсан, Северный Нишан - метаноароматическому; Янги Каратепе, Илим, Киркулоч - нафтенометановому типам. Нефти XV и XVa горизонтов нефтяных (Феруза), нефтегазоконденсатных (Илим, Янги Каратепе) и газоконденсатных залежей с нефтяной оторочкой (Бешкент, Зафар, Северный Камаша) среднетяжелые и тяжелые, среднесернистые и сернистые. Содержание бензина колеблется от 3,8 до 47,8%. По групповому УВ составу нефти из отложений склона депрессии (глубина 3387-3654м) месторождений Шеркент, Феруза и Янги Каратепе характеризуются более высоким содержанием нафтеновых УВ (60-79 %), а из ложи (гл. 2826-3502 м) депрессии месторождений

Северный Камаши, Шимолий Акназар, Капали метановых (62-66 %). В нефтях Бешкента и Чилькувара метановые (37-49 %) и нефтяные (36-44 %) УВ содержится почти в равных количествах. По типу нефти залежи депрессии классифицируются как метаноароматические; склона – нефтяные и метаноафтяные.

Таким образом, для газов УВ-залежей Бешкентского прогиба в региональном плане с изменением типа залежей (газоконденсатных, газонефтяных и газоконденсатнонефтяных) в газах возрастает доля гомологов метана (до 16 %). Изменение газовых показателей в газах в разнофациальных зонах возможно связано с физико-химическими свойствами конденсатов и нефтей.

Например, на отдельных месторождениях метановому типу конденсата соответствуют более жирные газы (Шакарбулак, Северный Шуртан). Это связано с растворением жидких метановых УВ в газообразных УВ. Конденсаты, обогащенные ароматическими (Шуртан) и нефтяными УВ (Намазбай), обычно растворены в газах, в которых концентрация гомологов метана не превышает 7 %. Однако, эта тенденция осложняется наличием нефтяных оторочек (жидких УВ), выпадением части конденсата в пласте, например при снижении давления и вторичного обогащения газов тяжелыми углеводородами благодаря уже прямому процессу испарения, геолого-геохимическими условиями залегания. Так, большинство конденсатов отдельных месторождений (Бешкент, Камаши, Чилькувар) относятся к метаноафтяному типу вне зависимости от содержания гомологов метана в газе.

Это связано с влиянием метанового типа нефти, характерного для зоны распространения конденсатов. В большинстве случаев конденсаты и легкие фракции нефтей имеют близкий УВ состав и относятся к одному и тому же типу (Мирмирон, Северный Гузар, Шакарбулак). В ряде случаев наблюдается закономерное отличие конденсатов и нефтей одних и тех же пластов (Бешкент, Чилькувар): конденсаты содержат обычно меньше нефтяных и больше метановых по сравнению с нефтями, что связано с различной растворимостью отдельных классов УВ в сжатых газах и термодинамическими факторами.

Для выявления геохимических особенностей исследованных нефтей и конденсатов и пространственных (региональных) изменений параметров их состава составлена корреляционная схема по отдельным месторождениям Бешкентского прогиба, где изучено параметров нефтей и конденсатов проведено по нефтям и конденсатов отдельных месторождений – Мирмирон скв. №1, Ханабат скв. №1, Каратепа скв. №3, Совлигар скв. №3, 1, Туртсари скв. №1, Кумчук скв. №2, Сев Шуртан скв. №11, 2, 9.

На профиле по отложениям рифовой фации проведенным в северо-западной и юго-восточной части прогиба плотность нефти уменьшается в пределах $0,910 \text{ г/см}^3$ до $0,827 \text{ г/см}^3$. Картина изменения плотности рассмотренных нефтей отдельных месторождений очень хорошо коррелируется с уменьшением серы (3,0-0,30 %) и с увеличением количество бензиновых фракций (4,41-36,0 %). В этом направлении аналогичным образом изменяется состав и свойства конденсатов, то есть улучшается качество конденсатов выше рассмотренных месторождений.

Таким образом, детальное изучение состава и свойства нефтей и конденсатов от северо-запада до юго-востока на изучаемой территории в отложениях рифовой фации показывает неразрывную связь с особенностями геологического строения, а также зонального и регионального изменения состава нефтей и конденсатов.

На основе геохимических показателей прогноза качественного состава и свойств нефтей и конденсатов, составлены карты с выделенными зонами, характеризующиеся определенными значениями плотности, содержанием бензиновых фракций, типом группового углеводородного состава, содержанием метана и его гомологов в газах и т.д., что позволяет допускать условную аналогию геолого-геохимических условий формирования залежей и особенностей качества УВ флюидов в залежах, и ориентировочно оценить вероятность обнаружения на перспективных структурах по качеству схожих с составом нефтей и конденсатов с близрасположенными месторождениями Бешкентского прогиба.

С использованием более информативных критериев на Бешкентском прогибе выделены три зоны распространения конденсатов (рис. 1):

- I зона преимущественно газоконденсатных залежей XV и XV-а горизонтов, залегающих на глубине 2674-3300 м при Рпл 28,42-34,20 МПа, лагунной (зарифовой фации) месторождений Ойдин, Намазбай, Марварид, Чунагар, Топичаксай и др. По физико-химической классификации они, в основном, среднетяжелые (0,762-0,798 г/см³), сернистые (0,036-0,5 %), бензиновые. Также присутствуют и тяжелые конденсаты плотностью от 0,809 до 0,817 г/см³, с содержанием серы от 0,16 до 0,39 % и низким выходом бензиновых фракций 25-44 %.

- II зона газоконденсатных и нефтегазоконденсатных залежей XV-Р и XV-ПР горизонтов рифовой фации (барьерно-рифовая система), залегающие на глубине 2751-3787 м. Конденсаты месторождений Шуртан, Северный Шуртан, Шакарбулак, Туртсари, Мирмирон, Каратепе, Ахирбулак, в основном, среднетяжелые (0,765-0,799 г/см³) и тяжелые (0,803-0,844 г/см³). По содержанию легких фракций, выкипающих до 200⁰С, относятся к бензиновому типу (50-66 %). Высокий выход бензиновых фракций установлен в скв. №4 месторождения Туртсари- 94 %, с содержанием смол 0,5 %, асфальтенов 0,13 % и парафина. Групповой УВ состав бензиновых фракций большинства конденсатов рифовой фации относится к метаноароматическому (МА) типу (скв. №1 конденсат Мирмирон).

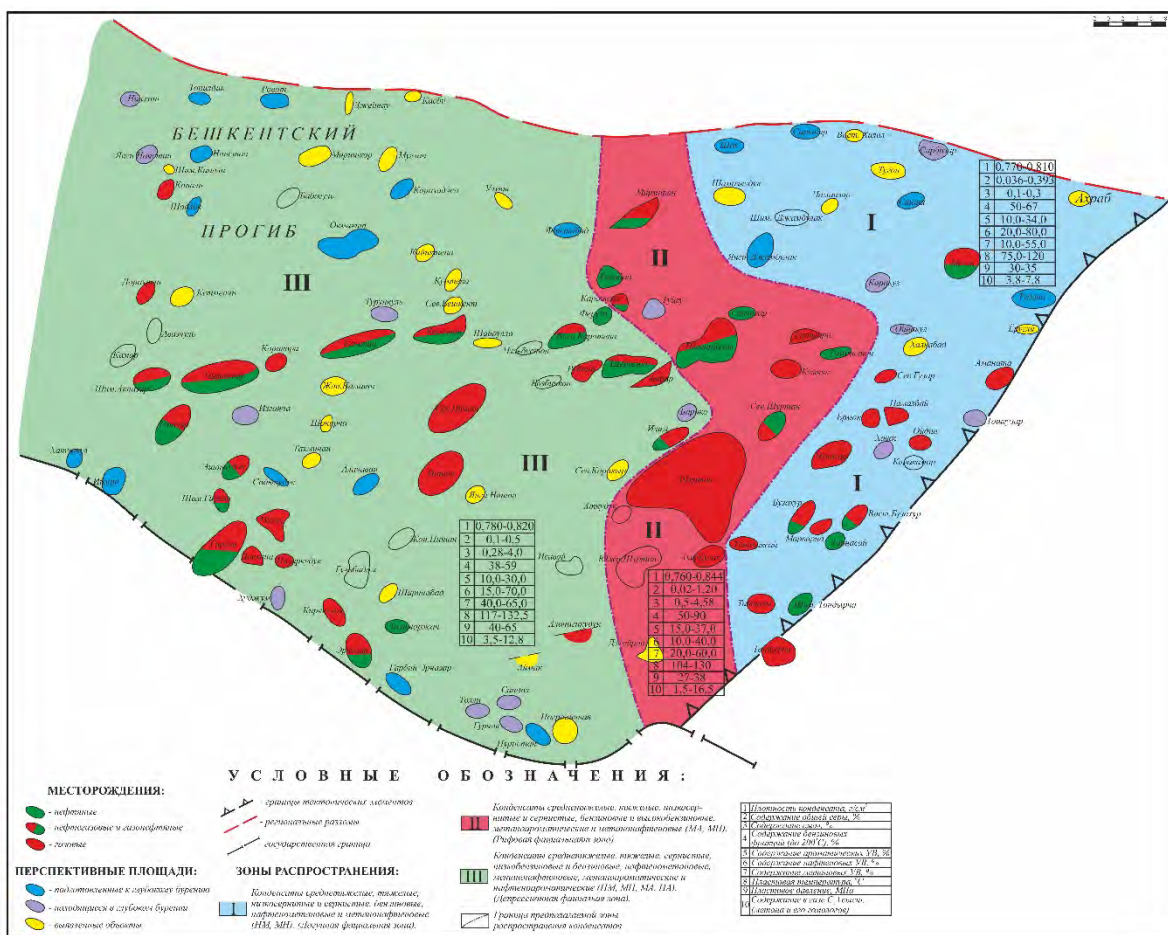


Рисунок 1 – Карта прогноза свойств и состава конденсатов перспективных зон юрских карбонатных отложений Бешкентского прогиба

- III зона расположена в пределах глубокопогруженной депрессионной фации, находящейся в зоне АВПД (Чилькувар, Северный Нишан, Гирсан, Илим, Зафар, Бешкент, Янги Каратепе). Конденсаты этой зоны среднетяжелые и тяжелые (0,750-0,820 г/см³), сернистые (0,1-0,59 %) и содержат незначительное количество смол (0,39-4,0 %), асфальтенов (0,09-0,5 %) и парафина (0,69-2,7 %). Конденсаты по групповому УВ составу относятся к

различным типам: метановые (М), метанонафтеновые (МН), метано-ароматические (МА) и нафтенно-метановые (НМ), а также две зоны распространения нефтей (рис. 2):

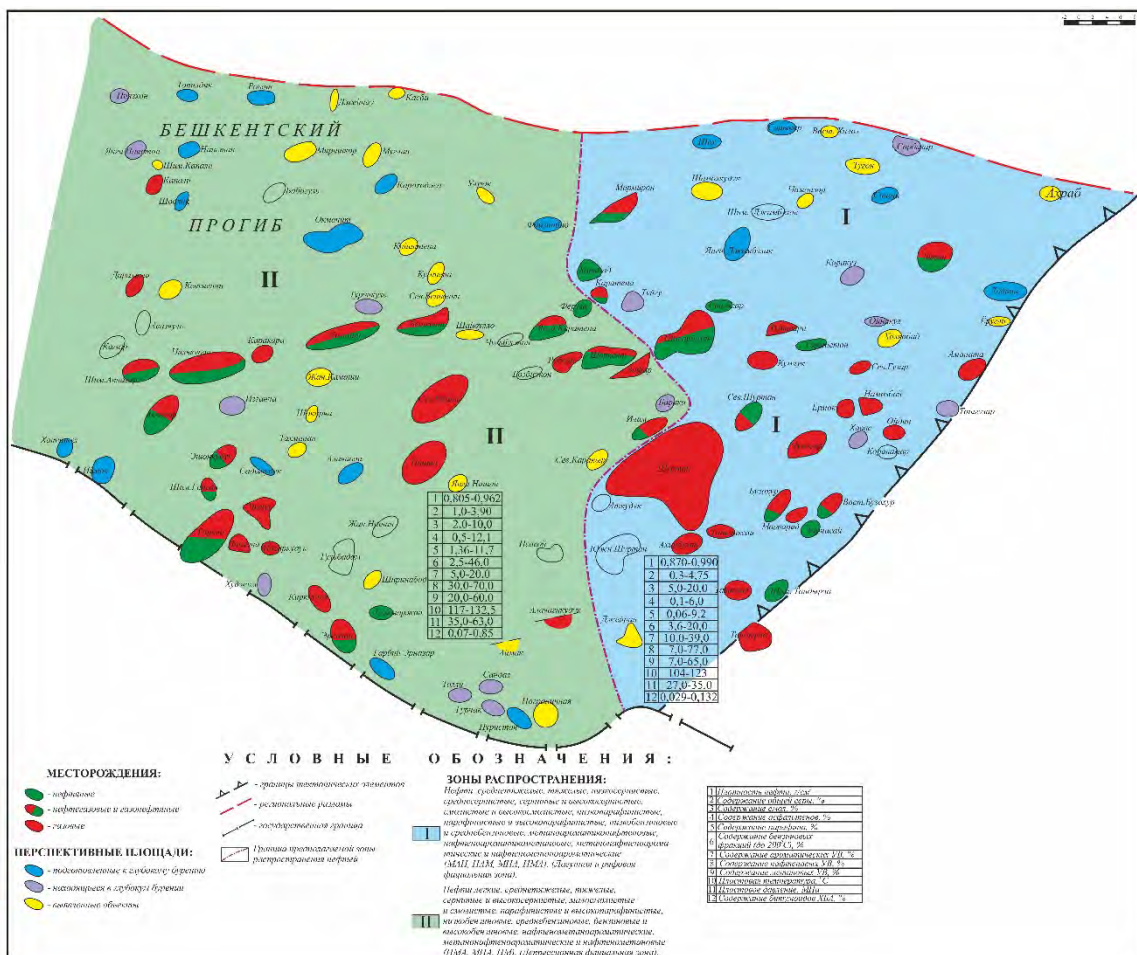


Рисунок 2 – Карта прогноза свойств и состава нефтей перспективных зон юрских карбонатных отложений Бешкентского прогиба

1. Первая зона расположена в пределах зарифовой (лагунной) и рифовой (барьерно-рифовая система) фации. В этой зоне нефти обнаружены на месторождениях Ханабад, Мирмирон, Шакарбулак, Северный Шуртан, Гармистон, Северный Гузар, Шимолий Джамбулак. Плотность нефтей изменяется от 0,863 до 0,993 г/см³, содержание серы – 2,2-3,6 %, смол- 4,5-17,0 %. По групповому УВ составу бензиновых фракций нефти, в основном, относятся к нафтенно-метаново-ароматическому (НМА) и метано-нафтенно-ароматическому (МНА) типам.

2. Вторая зона глубокопогруженной депрессионной фации, где распространены нефти нефтяных месторождений Феруза скв. 1,3, Шакарбулак скв.1, Янги Каратепе скв. 5,6,9, Шимолий Акназар скв.2. В газоконденсатных месторождениях с нефтяной оторочкой Бешкент скв.6, Камаша скв.2, Зафар скв.6, Илим скв.4 нефти среднетяжелые и тяжелые, среднесернистые и сернистые. Содержание бензиновых фракций колеблется от 3,8 до 46,17 %.

Наиболее тяжелые нефти (0,875-0,962 г/см³) отмечены в скважинах месторождений Феруза скв. 1,2,3, Шеркент скв.4,8, Рубойи скв. 4,6. Нефти месторождений Шакарбулак, Янги Каратепе, Шимолий Акназар, Эшонкудук, Чилькувар, залегающие на глубине 3480-3800 м, характеризуются средней плотностью (0,853-0,878 г/см³), повышенным содержанием серы (1,09-2,5 %) и легких бензиновых фракций (20-26 %). Групповой УВ состав представлен, в основном, нафтенно-метаново-ароматическим (НМА) типом.

Учитывая комплексного анализа полученных результатов, возможные перспективы нефтегазоносности юрских карбонатных отложений Бешкентского прогиба на локальных участках связаны со следующими факторами:

- гидрогеологические исследования (Т.Х.Шоймуратов, 2020) показывают, что подземные воды верхнеюрских отложений Бешкентского прогиба распространены с минерализацией 100-150 г/л и 150-200 г/л. На фоне общей тенденции повышения минерализации и метаморфизации пластовых вод в центральной части прогиба (зона застойного гидрогеологического режима водообмена) и на отдельных площадях имеются районы развития высокоминерализованных вод (Илим – 270,0 г/л, Дарахтли – 255 г/л, Гирсан – 265,2 г/л, Чилькувар – 285,5 г/л, Мангит – 296,3 г/л, Эшонкудук – 407,2 г/л). Очевидно, гидрохимические условия обусловлены застойным гидрогеологическим режимом, способствующим благоприятным гидрогеологическим условиям формирования и сохранения УВ-залежей. Анализ гидродинамических условий юрского водонапорного комплекса Бешкентского прогиба показывает, что гидродинамический режим потока подземных вод, прежде всего, связан с тектоническими нарушениями разного уровня и физическими свойствами вмещающих отложений, которые оказывают существенное влияние на распределение энергий подземных течений пластовых вод и на величину гидравлического напора, приводящих в итоге к резким изменениям величин градиентов потока. Следовательно, региональные и локальные разломы исследуемой территории, имеющие большие амплитуды, с одной стороны, обеспечивают надежную гидравлическую изоляцию данной части водонапорной системы, а с другой стороны – облегчат межпластовую миграцию подземных вод по вертикали. При этом, разломы одновременно выполняют важную роль – являются экранами, препятствующими (частично или полностью) латеральному движению подземных вод, а также служат каналами гидравлической связи выше- и нижезалегающих горизонтов разреза. Они облегчают развитие межпластовой миграции УВ флюидов [3].

- по химико-битуминологическим данным (С.Рамазанов, Л.С.Ахмеджанова и др., 2008-2016), в областях развития аномально высоких пластовых давлений (депресссионная фация) характеризуются от низкого до аномально высокого содержанием органического вещества. При этом породы с низким (Сорг-0,1-0,3 %) содержанием органического вещества существенно насыщены битумоидами (ХБА выше 0,04 %). В более 20 % изученных проб отмечены микробитумопроявления (ХБА=0,1-1,0 %) – в светло-серых известняках XV-Р и XV-а горизонтов скв.7 Туртсари, трещиноватом известняке XV-НР горизонта Туйгу-1 и XV горизонта в «черных сланцах» Чилькувар-14. Аномально обогащены органикой и битумоидами по сравнению с нижезалегающими свитами темно-серые и черные глинистые битуминозные сланцы Ходжаипакской свиты (пл. Келинкуви-2, Муродота-1, Чилькувар-14 и др.) [4].

В областях развития аномально высоких пластовых давлений, характерных для изучаемого региона, возникших, в основном, после формирования залежей, нижний температурный предел нефтяного окна «растянут» и смещен в сторону более высоких температур. В таких зонах могут происходить вторичные процессы, как-то экстремальное сжатие нефтяных УВ и выпадение твердых битумов различного класса, растворение нефти в сжатых газах. Залежи газа и газоконденсата (с нефтяными оторочками) в этих зонах могут рассматриваться только как вторичные, образование которых связано с активными инверсионными подвижками большой амплитуды в неоген-четвертичное время. Внедрение газа более поздних генераций в уже существовавшие нефтяные скопления, при снижении пластового давления в ловушках, привело к трансформации залежей в нефтегазоконденсатные и газоконденсатные.

Выводы. Исходя из полученных результатов в глубокопогруженной части Бешкентского прогиба прогнозируется обнаружение преимущественно газовых и газоконденсатных залежей, а в бортовых частях барьерно-рифовой системы и зарифовой лагуны- нефтегазоконденсатных и газоконденсатных с нефтяной оторочкой. На основе выделенных зон распространения нефтей и конденсатов, с учетом термобарических условий,

на подготовленных и находящихся в бурении площадях и структурах (фонд структур подготовленных и находящихся в бурении по состоянию на 01.01.2021г) Бешкентского прогиба, приуроченных к:

- лагунной (зарифовой фации) на перспективных структурах 1 зоны – Хавас, Ойнакуль, Коракуз, Тудана, Синаш, Чаманзор- возможно обнаружение среднетяжелых, тяжелых, сернистых, бензиновых конденстов нафтенового (Н) и нафтено-метанового (НМ) типов;

- рифовой фации (барьерно-рифовая система) на перспективных структурах 2 зоны - Аткудук, Южный Шуртан, Джейран предполагается обнаружение тяжелых конденсатов метаноароматического типа.

- на перспективных структурах лагунной (зарифовой фации) и рифовой фации (барьерно-рифовая система) возможно обнаружение тяжелых, сернистых, высокосернистых, смолистых, низкобензиновых нефтей нафтено-метаново-ароматического (МНА) и метано-нафтеново-ароматического (МНА) типов.

- в зонах глубокопогруженной депрессионной фации на перспективных структурах Янги Нишан, Жанубий Камашаи и др. возможно обнаружение среднетяжелых и тяжелых, сернистых и высокосернистых, низкобензиновых конденсатов, на структурах - Изганча, Барака, Янги Наистан, Келинкуви - возможно обнаружение тяжелых, сернистых и высокосернистых, низкобензиновых и бензиновых нефтей нафтено-метаново-ароматического (НМА) типа.

Следовательно, вышеизложенные сведения о геохимической характеристике отложений карбонатной формации исследуемой территории позволяют сделать следующие выводы: – зона некомпенсированного прогибания, а в ней верхний и средний комплексы карбонатной формации, в качестве наиболее перспективных на открытие нефтегазоконденсатных и газоконденсатных скоплений, со значительным процентным содержанием жидких УВ в залежах.

Литература

1. Сираждинов Д. Геохимия углеводородных флюидов мезо-кайнозойских отложений Узбекистана. Ташкент: Фан. 1982. 136 с.
2. Старобинец И.С. Геолого-геохимические особенности газоконденсатов. Л.: Недра. 1974. 151 с.
3. Шоймуратов Т.Х. Роль структурно-тектонических и гидрогеологических факторов в формировании залежей углеводородов в мезозойских отложениях Бешкентского прогиба // Геология и минеральные ресурсы. Ташкент. 2017. № 4. С. 27-32.
4. Акрамова Н.М. Новые данные о химическом составе газов углеводородных залежей Бешкентского прогиба // Актуальные вопросы нефтегазогеологической науки, техники и технологии глубокого бурения, исследований скважин. Материалы Республ. науч.-практ. конф., 20-21 ноября 2014 г. Ташкент: АО «ИГИРНИГМ». 2014. С. 85-87.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЛИВНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРА

Петухова С.М.

sofiya.petukhova@gmail.com

Институт динамики геосфер им. М.А. Садовского Российской академии наук,
г. Москва, Россия

В работе рассмотрена методика оценки фильтрационных свойств коллектора на основании анализа земных приливов, выделенных в смещении грунта и уровне подземных вод. Представлены результаты прецизионного гидрогеологического мониторинга, который проводится на территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево», за период 2018-2020 гг. Выделены основные типы приливных волн, рассчитаны приливной фактор и фазовый сдвиг между приливными волнами в смещении грунта и уровне подземных вод. Предложенная методика использована для оценки водопроводимости и проницаемости флюидонасыщенного коллектора.

Ключевые слова: флюидонасыщенный коллектор, прецизионный мониторинг, приливной анализ, водопроводимость, проницаемость.

Введение. Земные приливы представляют собой колебания земной поверхности под действием приливных сил, которые обусловлены воздействием гравитации Луны и Солнца [1]. Приливной анализ направлен на выделение полусуточных и суточных приливных волн. Деформации флюидонасыщенного коллектора под влиянием земных приливов вызывают вариации порового давления и выражаются в вариациях уровня подземных вод в наблюдательных скважинах. Величина фазового сдвига между приливными волнами, выделенными в смещении грунта и уровне, может свидетельствовать о степени инерционности системы «пласт-скважина» и используется для оценки фильтрационных свойств коллектора [2].

Аппаратурно-измерительный комплекс. Система наблюдений расположена на территории геофизической обсерватории ИДГ РАН «Михнево» (ГФО «Михнево») в подмосковном регионе (~ 80 км южнее от Москвы). В наблюдательном пункте синхронно регистрируются гидрогеологические и барометрические данные. Измерительный комплекс включает в себя наблюдательную скважину, приборы (датчики уровня LMP 308i, датчик атмосферного давления РАА-33х). Регистрация ведется на ПК с использованием АЦП L-Card E14-440, частота опроса по всем каналам 1 Гц. Водовмещающие породы представлены известняками неравномерно трещиноватыми, доломитами, мергелями с подчиненными прослоями глин. Высокоточные наблюдения проводятся за вариациями уровня напорного водоносного комплекса, вскрытого в скважине в интервале 92 – 115 м.

Методика обработки. Для проведения приливного анализа рассматриваются экспериментальные данные, полученные за период измерений 2018–2020 гг. на территории ГФО «Михнево». Оценка теоретического смещения грунта, вертикальной и объемной деформации, вызванных земными приливами, выполнена с использованием программного пакета ETERNA 3.0 [3] с учетом координат территории расположения объекта исследования. В качестве примера на рис.1 представлены временные диаграммы рассчитанных параметров за 2018 г.

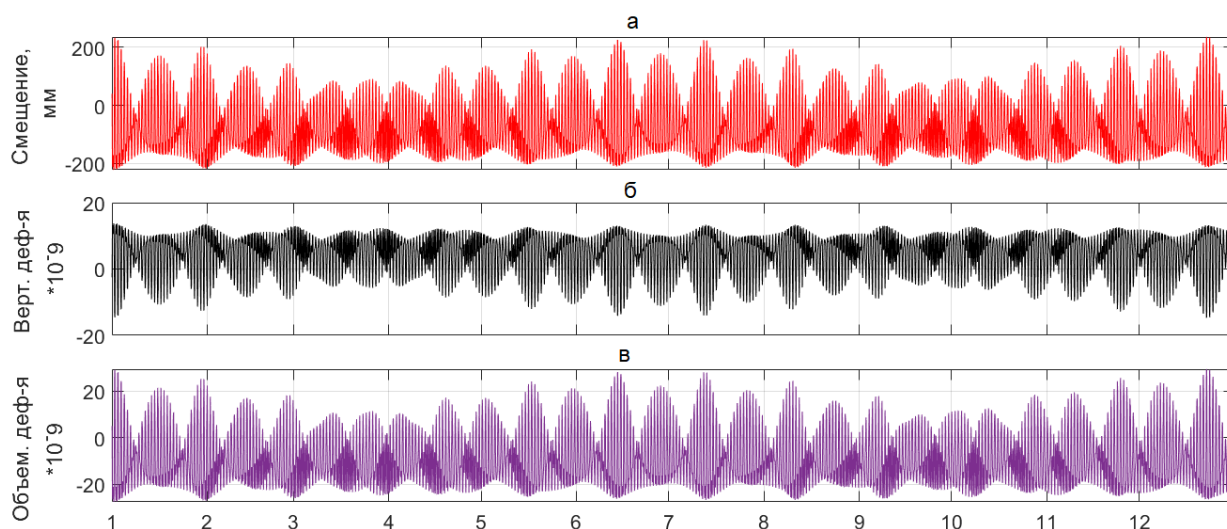


Рисунок 1 – Временные диаграммы смещения (а), вертикальной (б) и объемной деформации (в), рассчитанные для ГФО «Михнево» за период 01.01.2018 – 31.12.2018

Для выделения основных типов приливных волн выполнена фильтрация исходных экспериментальных и теоретически рассчитанных данных узким полосовым фильтром в диапазонах 12.32-12.52 часа и 25.7-25.9 часа после децимации и приведения шага по времени к 300 с. На построенных спектрах уровня напорного водоносного комплекса и смещения грунта отчетливо прослеживаются полусуточные приливные волны S_2 , M_2 , N_2 и суточные волны K_1 , P_1 , O_1 . Полученные значения амплитуд приливных волн, выделенных в уровне подземных вод и теоретически рассчитанной объемной деформации флюидонасыщенного коллектора, использованы для оценки приливного фактора. На рис.2 представлен график зависимости амплитуд основных типов приливных волн, выделенных в уровне воды от соответствующих значений теоретической объемной деформации.

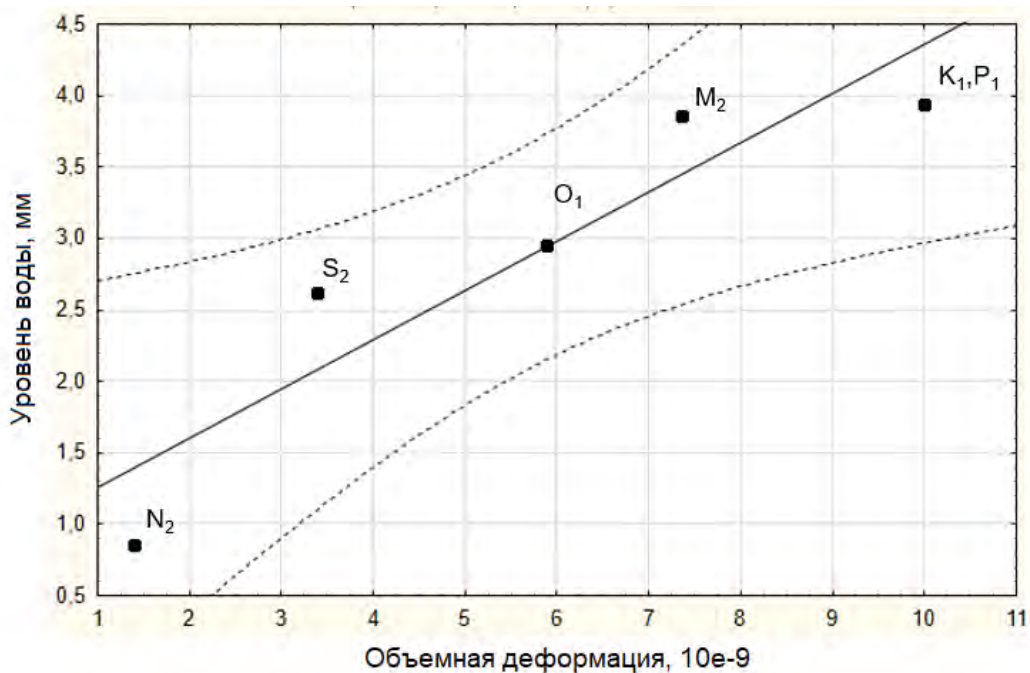


Рисунок 2 – Зависимость амплитуд приливных волн, выделенных в уровне воды от соответствующих значений теоретической объемной деформации. Пунктиром обозначен 95%-ый интервал доверительной вероятности

Линейная зависимость амплитуд приливных волн, выделенных в уровне подземных вод, от соответствующих величин объемной деформации, описывается уравнением:

$$\Delta h_t = 0.9176 + 0.3438 \Delta \varepsilon, \quad (1)$$

где $\Delta \varepsilon$ – объемная деформация, Δh_t – приливной отклик, который составляет $0.34 \text{ мм}/10^{-9}$ для выбранного интервала измерений.

Ненулевой свободный член в линейной зависимости, вероятно, соответствует завышению амплитуд приливов в воде в связи с наличием шума или на уменьшение значений теоретически рассчитанной объемной деформации относительно действительных параметров карбонатного коллектора трещинно-порового типа.

Для оценки фильтрационных свойств флюидонасыщенного коллектора в качестве опорной выбрана полусуточная волна M_2 , которая наиболее устойчиво проявляется на амплитудных спектрах. На рис.3, в качестве примера, показаны приливные волны M_2 в смещении грунта (E) и уровне напорного (U1) водоносного горизонта, приведенные к общему масштабу.

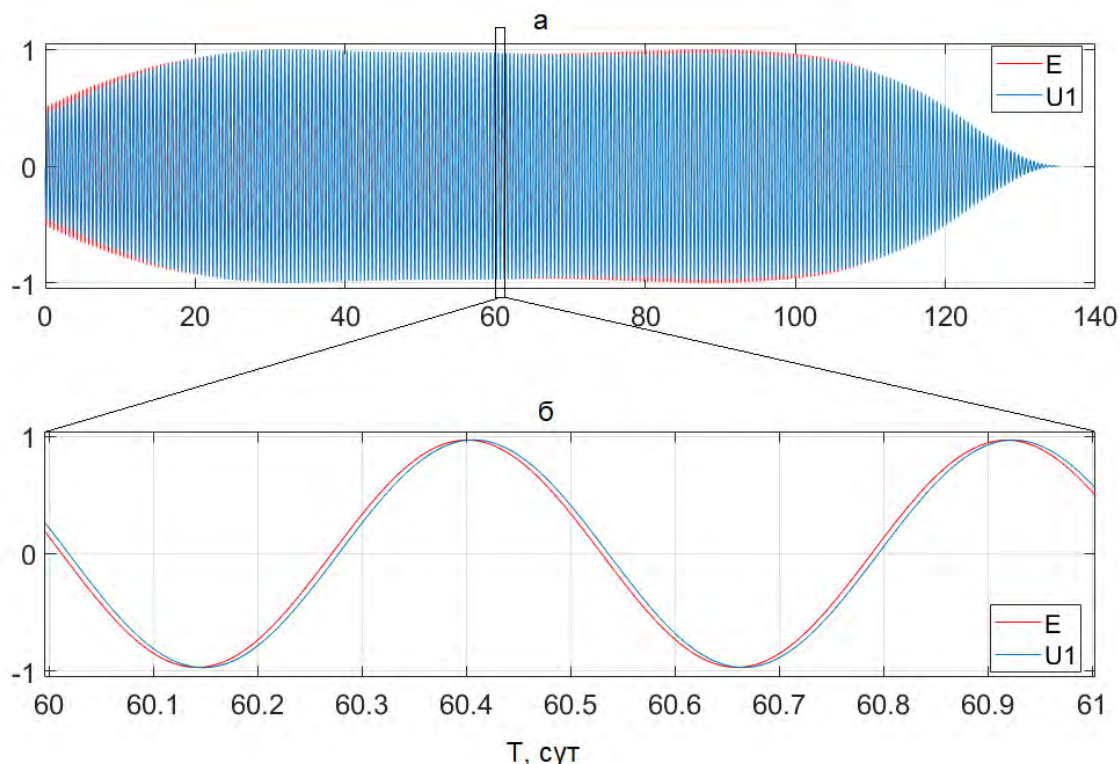


Рисунок 3 – Полусуточные приливные волны M_2 с периодом 12.42 ч в уровне воды и в смещении грунта (а), врезка для диапазона 60-61 сут (б).

Амплитуды кривых приведены к общему масштабу

На врезке (рис.3б) видно, что происходит небольшое отставание синусоиды приливной волны, выделенной в уровне воды, относительно синусоиды волны, выделенной в смещении.

Гармонические колебания давления и уровня воды в скважине можно описать уравнениями:

$$h = h_0 \exp(i\omega t), \quad (2)$$

$$x = x_0 \exp(i\omega t), \quad (3)$$

где h – вариации напора в флюидонасыщенном пласте, x – вариации уровня воды в скважине, h_0 – комплексная амплитуда изменений напора, x_0 – комплексная амплитуда смещений уровня воды, $i = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, t – время, $\omega = 2\pi/\tau$ – частота колебаний, с^{-1} , τ – период колебаний, с [4].

Амплитудный отклик (отношение уровня воды к напору) и фазовый сдвиг (запаздывание между уровнем и напором) определяются как:

$$A = x_0/h_0, \quad (4)$$

$$\eta = \arg(x_0/h_0). \quad (5)$$

Фазовый сдвиг (η) между приливной компонентой в уровне воды и смещении грунта рассчитывается с применением методики, представленной в статье [5]. Методика основана на расчете задержки синусоиды приливной волны в уровне воды относительно синусоиды приливной волны в смещении грунта и определении фазового сдвига при помощи метода фазовых портретов. Исходные данные фильтруются полосовым фильтром в диапазоне периодов ($T \pm 0.1$) ч.

Связь изменений амплитудного отклика A и фазового сдвига η с параметрами флюидонасыщенного пласта и скважины определяется уравнениями модели [4]:

$$A = (E^2 + F^2)^{-\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

$$\eta = -tg^{-1}\left(\frac{F}{E}\right), \quad (7)$$

$$E \approx 1 - \frac{\omega r_c^2}{2T} Kei(\alpha_w), \quad (8)$$

$$F \approx \frac{\omega r_c^2}{2T} Ker(\alpha_w), \quad (9)$$

где $\omega=2\pi/\tau$ – частота колебаний, c^{-1} ; τ – период колебаний, с; r_c – радиус обсадной колонны, м; r_w – радиус скважины, м; T – водопроводимость, $m^2/сут$; $Ker(\alpha_w)$ и $Kei(\alpha_w)$ – функции Кельвина нулевого порядка; $\alpha_w=(\omega S/T)^{1/2} \cdot r_w$ – безразмерная функция частоты, выраженная через параметры S, T и r_w ; S – коэффициент упругой водоотдачи пласта.

На рис.4 представлены кривые теоретических зависимостей амплитудного отклика A и фазового сдвига η , построенные для значений параметра $Sr_w^2/r_c^2 = 10^{-3} - 10^{-7}$.

По выбранным кривым (рис.4,б) с учетом параметров скважины определяется диапазон значений параметра $T\tau/r_c^2$, которому соответствует интервал значений фазового сдвига $\eta \pm \sigma$, рассчитанных методом фазовых портретов [5]. Далее определяется водопроводимость (T) [6].

Проницаемость флюидонасыщенного коллектора (k) оценивается по формуле [7]:

$$k = \frac{\mu}{\rho g d} T \quad (10)$$

где T – водопроводимость пород, $m^2/сут$; μ – коэффициент динамической вязкости пласта; ρ – плотность воды, $кг/м^3$; g – ускорение свободного падения, $м/с^2$; d – интервал обводненной части скважины, м.

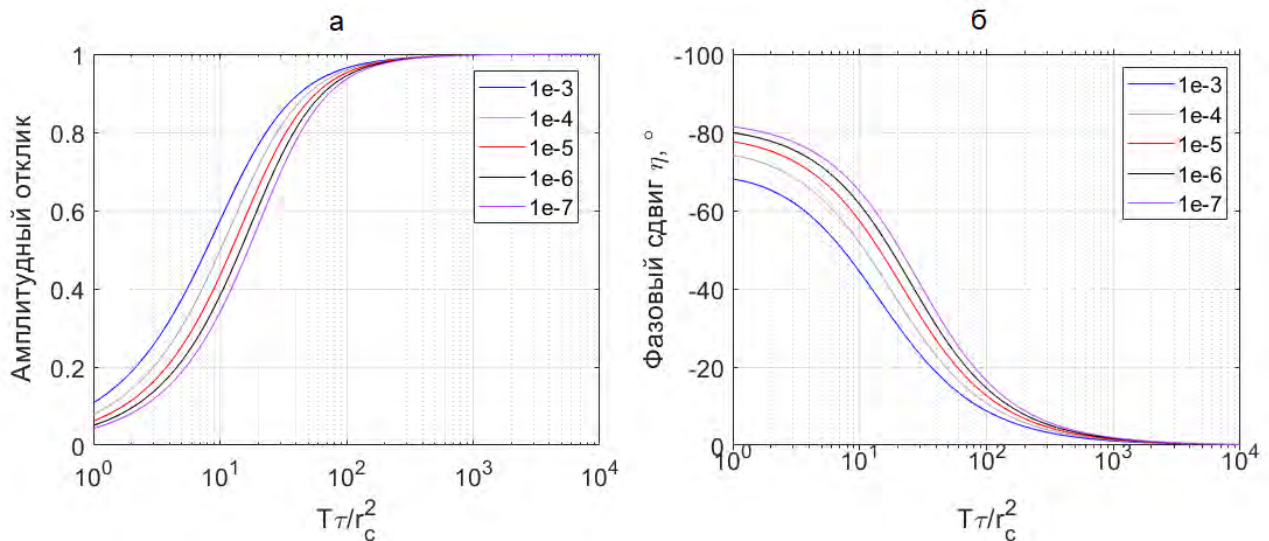


Рисунок 4 - График зависимости амплитудного отклика (а) и фазового сдвига η (б) от параметра $T\tau/r_c^2$

Оценка фильтрационных свойств флюидонасыщенного коллектора.

Экспериментальные данные, полученные на территории ГФО «Михнево» за период наблюдений 2018-2020 гг., и теоретически рассчитанное смещение грунта для выбранного интервала измерений использованы для оценки фазового сдвига. Ряд полученных значений фазового сдвига сглаживался методом скользящих средних с шагом 28 сут для отбора наиболее представительных значений. На следующем этапе были исключены значения фазового сдвига, соответствующие превышению пороговой скорости изменения уровня воды 50 мм/сут [6].

На основе вышеизложенной методики рассчитаны проницаемость и водопроницаемость. Полученные результаты оценки фильтрационных свойств флюидонасыщенного коллектора представлены на рис.5. Диапазон фоновых вариаций проницаемости составляет $1.4 \cdot 10^{-13}$ – $3.8 \cdot 10^{-12}$ и соответствует пороупругой реакции флюидонасыщенного карбонатного коллектора на земные приливы при квазистационарном режиме фильтрации.

Заключение. В работе представлен метод определения фильтрационных свойств флюидонасыщенного коллектора на основе приливного анализа. Аналитическая оценка фазового сдвига, водопроницаемости и проницаемости, проведенная по данной методике, имеет ряд преимуществ по сравнению со стандартными инструментальными методами (опытно-фильтрационными работами). Приливной анализ по данным высокоточного мониторинга позволяет оценивать водопроницаемость коллектора *in situ* в естественных ненарушенных условиях, в частности, для слабопроницаемых коллекторов.

Особую значимость представляет предварительная оценка диапазона вариаций водопроницаемости по данным многолетних рядов наблюдений, которая, вероятно, взаимосвязана с динамическими вариациями упругой емкости пласта под влиянием земных приливов. В дальнейшем полученные значения могут рассматриваться в качестве опорных при анализе возможных изменений фильтрационных свойств слабопроницаемых коллекторов под влиянием различных факторов, в том числе, связанном с сейсмическим воздействием удаленных землетрясений.

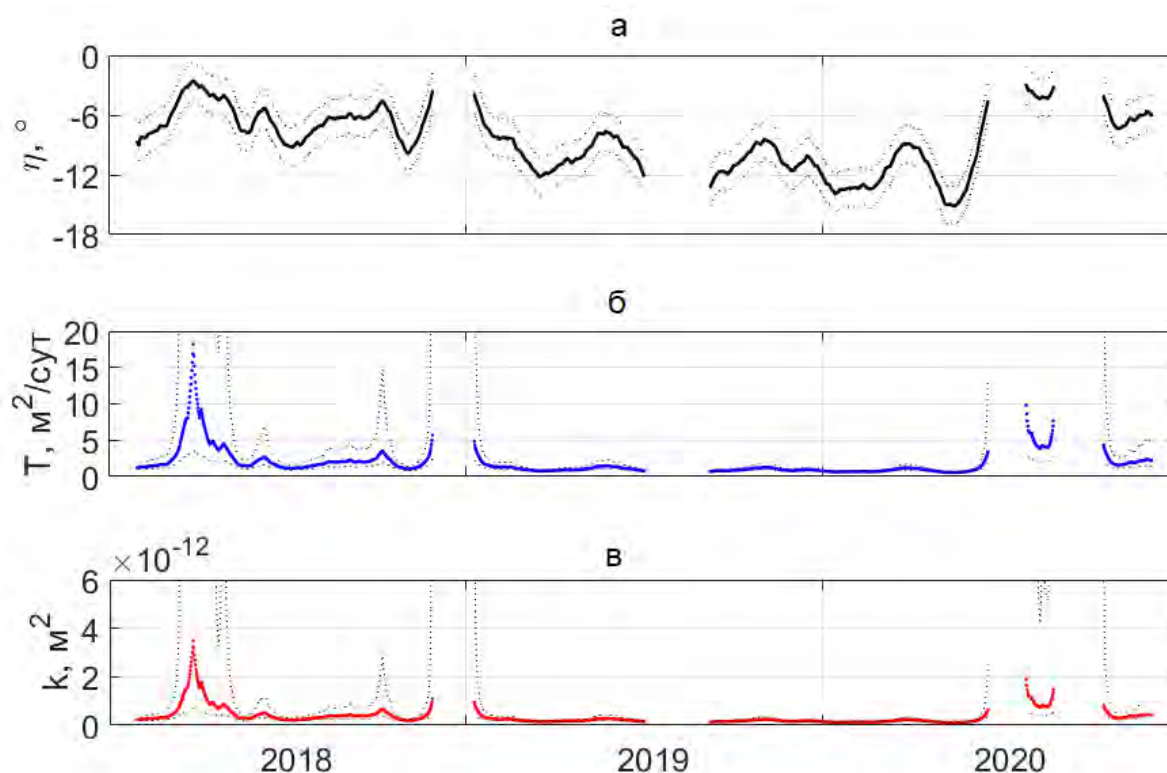


Рисунок 5 – Изменение фильтрационных свойств коллектора за 2018-2020 гг.: фазовый сдвиг η (а), водопроницаемость T (б), проницаемость k (в)

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю канд. физ.-мат. наук Э.М. Горбуновой, ведущему научному сотруднику ИДГ РАН, а также канд. физ.-мат. наук. А.Н. Бесединой, старшему научному сотруднику ИДГ РАН.

Исследование выполнено в рамках государственного задания № 1021052706247-7-1.5.4 (FMWN-2022-0015) Министерства науки и высшего образования РФ и при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта 20-35-90016.

Литература

1. Мельхиор П. Земные приливы. М.: Мир. 1968. 482 с.
2. Копылова Г.Н., Болдина С.В. Гидрогеосейсмические вариации уровня воды в скважинах Камчатки. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 2019. 144 с.
3. Wenzel H.G. Earth tide analysis package ETERNA 3.0 // ВИМ. 1994. No. 118. P. 8719-8721.
4. Hsieh P., Bredehoeft J., Farr J. Determination of aquifer transmissivity from earth tide analysis // Water Resour. Res. 1987. V. 23. P. 1824-1832.
5. Кабыченко Н.В. Оценка фазового сдвига между приливной деформацией и вариациями уровня воды в скважине // Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы. Сборник научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС. 2008. С. 62-72.
6. Vinogradov E., Gorbunova E., Besedina A., Kabychenko N. Earth Tide Analysis Specifics in Case of Unstable Aquifer Regime // Pure Appl. Geophys. 2017. V. 174. No. 6. DOI: 10.1007/s00024-017-1585-z
7. Гавич И.К. Гидрогеодинамика: Учебник для вузов. М.: Недра. 1988. 349 с.

ЦИФРОВАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ КОММУНИЦИРУЮЩАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ

Прохоров О.А.
helgpro@yandex.ru

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

В связи с выходом из строя аналоговых метеоприборов и развитием электронных возможностей оценки параметров атмосферы сделан следующий шаг по созданию компактных цифровых метеостанций. Изготовлено несколько образцов новой цифровой геодезической коммуницирующей метеостанции для оперативной комплексной оценки параметров атмосферы (температура, давление, влажность) при режимных линейно-угловых измерениях на геодинамических площадках. Каждый прибор состоит из цифровых датчиков, приемника-передатчика, контроллера и дисплея. Метеостанции способны автоматически контактировать между собой по радиосвязи на дистанциях до нескольких километров и усреднять измеряемые метеопараметры по каждой отдельной паре приборов. Представлен способ для калибровки цифровых датчиков температуры.

Ключевые слова: цифровая геодезическая метеостанция, линейно-угловые измерения, радио связь, калибровка датчиков.

В пределах Бишкекского геодинамического полигона, на геодезических площадках (Кентор, Алмалы и Полигон), сотрудники лаборатории GPS уже длительное время проводят режимные линейно-угловых измерения (ЛУИ) на 44 базовых линиях. Для измерения каждой базовой линии в двух направлениях необходимо измерить температуру, давление и влажность у тахеометра (прибор для измерения расстояния, вертикального и горизонтального углов) и отражателя (стеклянная призма для возвращения свтодалномерного луча к тахеометру). Средние по каждому из параметров атмосферы отдельно заносится оператором в тахеометр для повышения дальномерной точности в каждом измеряемом направлении одной из 44 базовых линий.

В 2019 году был введен в эксплуатацию первый образец цифрового портативного метеокомплекса [1], позволивший оперативно измерять атмосферные параметры у реперов с тахеометром и отражателем, тем самым заменив аналоговые громоздкие традиционные приборы (психрометр аспирационный МВ-4М и высотный барометр-анероид М-111). При этом появилась возможность усреднять и отображать метеопараметры на принимающем центральном модуле вдоль измеряемых базовых линий. Принимающий модуль метеокомплекса должен был находиться у репера с тахеометром, а передающие модули у реперов с отражателями, в результате чего исключалась необходимость передачи и усреднения метеопараметров по голосовому каналу (рис.1).

В течение эксплуатационного периода цифрового портативного геодезического метеокомплекса были выявлены недостатки предыдущей версии приборов. Работа комплекса осуществлялась только в одном направлении: один приемник получал информацию от нескольких передатчиков (до 6 штук). Каждый передающий модуль не мог работать отдельно и визуализировать информацию без принимающего модуля. Дальность передачи информации составляла до 3000 метров. На центральном принимающем модуле из-за мелкого шрифта на дисплее была плохая читаемость параметров.

В связи с вышеперечисленными недостатками было принято решение сконструировать рабочую модель метеокомплекса нового поколения, с еще меньшими габаритами и заменой элементов приборов комплекса в соответствии с новыми требованиями. В новой версии метеоприборов каждый модуль оснащен собственным

дисплеем [2] габаритами 80 x 35 x 11 мм с размером символа 2.95 x 4.35 мм и количеством символов в строке 4X16 с регулируемой яркостью (рис.2).



Рисунок 1 – Внешний вид приборов цифрового портативного геодезического метеокомплекса



Рисунок 2 – Новый LSD дисплей для визуализации информации

Модуль беспроводной приёма-передачи на чипе NRF2401 был заменен на новый модуль типа LoRa sx1278 [3]. В основе технологии LoRa, лежит одноименный метод модуляции, который был запатентован компанией Semtech. Этот метод основывается на принципе расширения спектра и линейной частотной модуляции. В процессе передачи данные кодируются широкополосными импульсами с уменьшающейся или увеличивающейся частотой, в определенном временном диапазоне. Данное решение позволяет сделать приемник устойчивым к отклонениям частоты от номинального значения, что снижает требования к качеству генератора и позволяет использовать простые кварцевые резонаторы. За счет использования технологии расширения спектра, приемник LoRa может демодулировать сигнал, который имеет уровень на 20 дБ больше уровня шумов. Высокая чувствительность приёмников (-148 дБм) позволяет использовать данную технологию на больших расстояниях, обеспечивая малое энергопотребление и высокую устойчивость связи. Разные модели имеют разный диапазон частот, разную мощность, и интерфейс с взаимодействием с контроллером. Этот модуль имеет четыре режима работы. В первом

режиме позволяет передавать и принимать данные из сети. Во втором режиме работает в одностороннем порядке приемник и передатчик. Третий режим для конфигурации позволяет менять параметры удаленно. Четвертый режим сна в таком режиме модуль потребляет минимальное количество энергии. Модуль имеет два способа передачи данных прозрачный, ведет приём-передачу по своему же адресу, и фиксированный перед отправкой ждет от контроллера адрес и канал (рис.3). Что позволяет создавать группу устройств на одном канале с одинаковыми адресами. Из линейки предлагаемых радио модулей был выбран e32-433T30D на рабочей частоте 433Мц с радиусом действия 8000 метров.

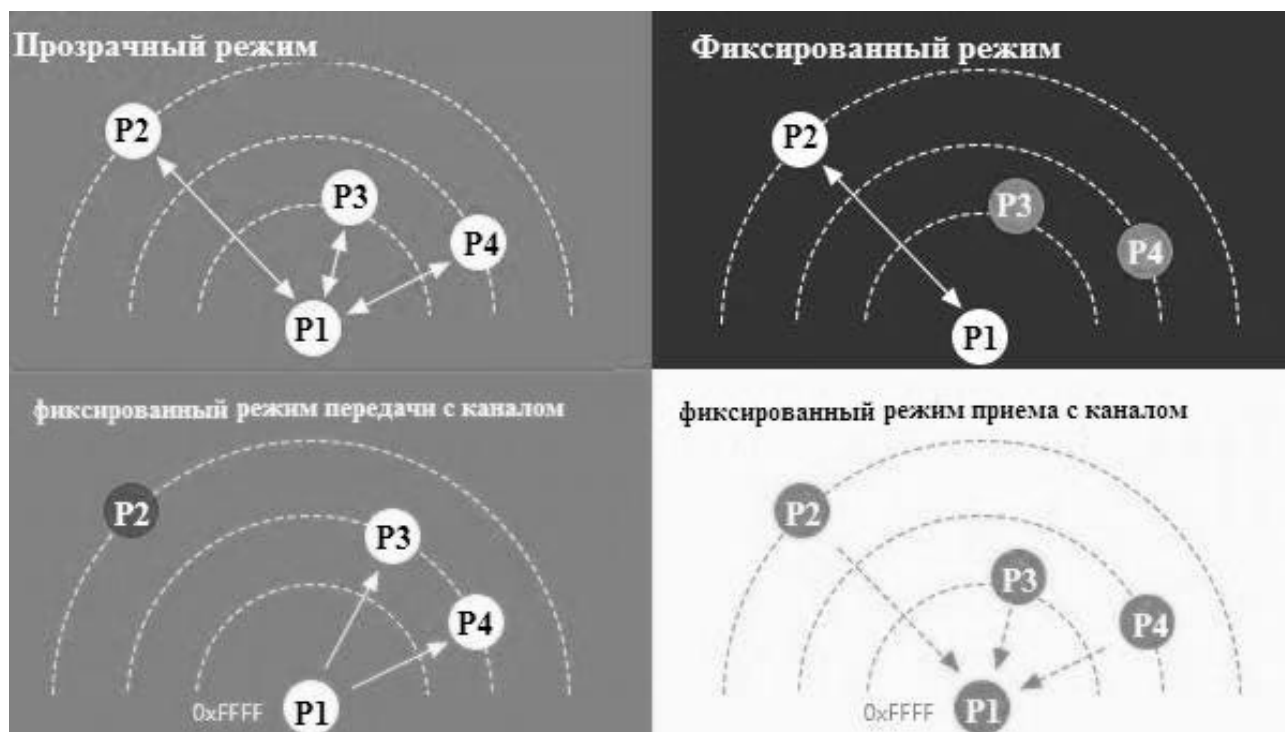


Рисунок 3 – Прозрачный и фиксированные режимы приема-передачи

Так же был заменен контроллер Atmega 328 на 32 битный контроллер esp8266 [4], с большим объёмом памяти и с поддержкой WiFi-интерфейса. Что позволило в каждом приборе метеостанции организовать сервер для удаленного подключения любого мобильного устройства и просматривать метеопараметры непосредственно в зоне действия WiFi. За время пробной эксплуатации новых приборов были выявлены некоторые особенности цифровых датчиков температуры ds18b20 [5], которые допускали не точности в определении температуры на разных диапазонах при сравнении с ртутным эталонным термометром МВ-4М. Были проведены экспериментальные измерения при разных температурах в полузакрытом боксе, что бы исключить перепады температуры из-за локальных воздушных потоков. При этом составлены наборы экспериментальных данных, свидетельствующие о сложных функциональных зависимостях ошибок некоторых температурных датчиков. Кроме этого выявлены несоответствия заявленных производителем погрешностей из документации к датчикам. Для увеличения точности было принято решение скорректировать показание датчиков на уровне контроллера путем исключения статистической ошибки в зависимости от формулы полинома (рис.4,5).

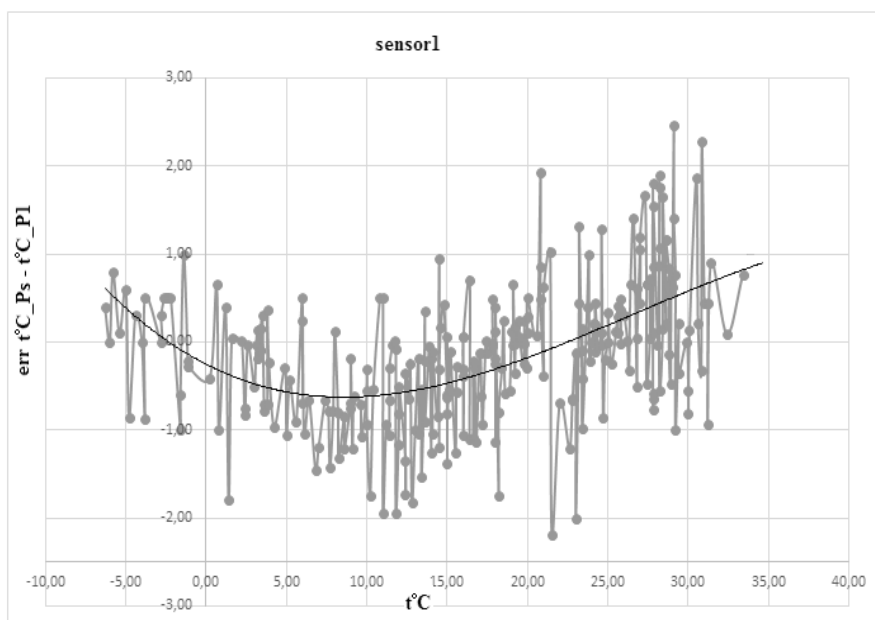


Рисунок 4 – Ошибки в определении температур для датчика 1

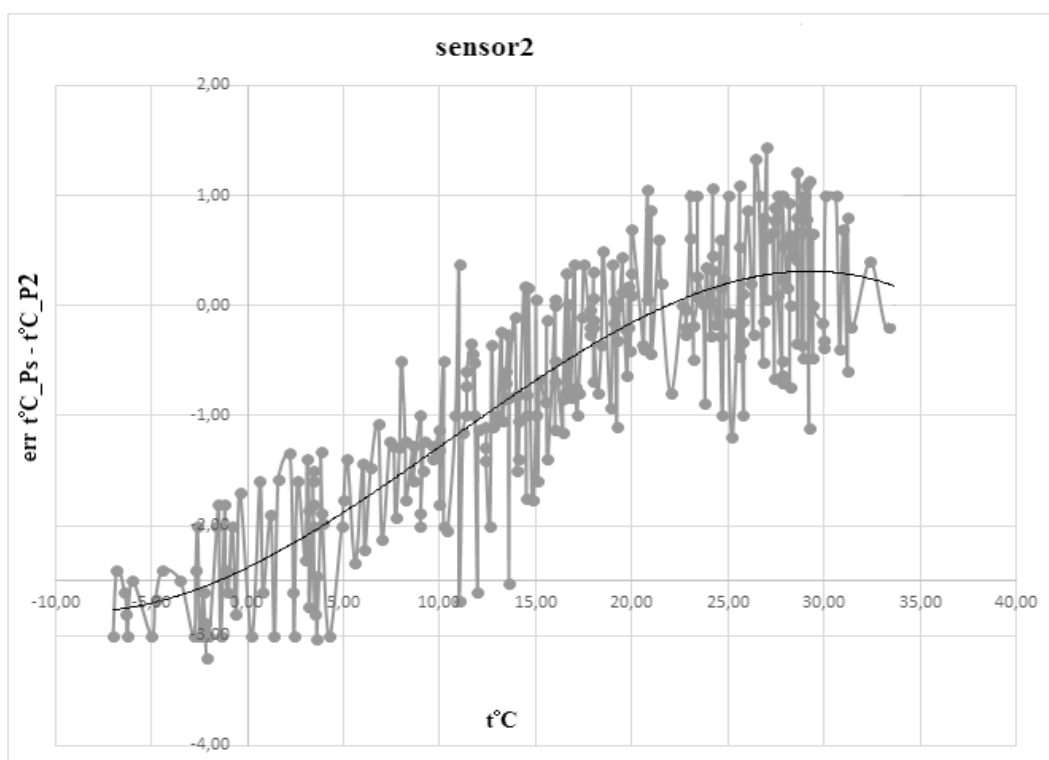


Рисунок 5 – Ошибки в определении температур для датчика 2

Так же на точность и скорость изменения температуры влияет инертность датчиков от солнца и прибора, поэтому в конструкцию предыдущей версии комплекса [1] была включена отражающая трубка с расположением в ней датчика температуры. Что бы максимально уменьшить габариты новых приборов, так же были проведены эксперименты сравнения на разных температурах показания датчиков без экранирующей трубки и разной её длиной. Так на низких температурах без экрана цифровые датчики медленней меняли параметры по сравнению с аналоговым прибором. Оптимальная длина экранирующей трубки составила не менее 2,5см со сквозным отверстием диаметра 26мм и радиусом кулера 30мм. Метеостанция может работать в двух режимах: как самостоятельный прибор без связи с другими модулями, и в режиме сети и приема-передачи информации (рис.6).

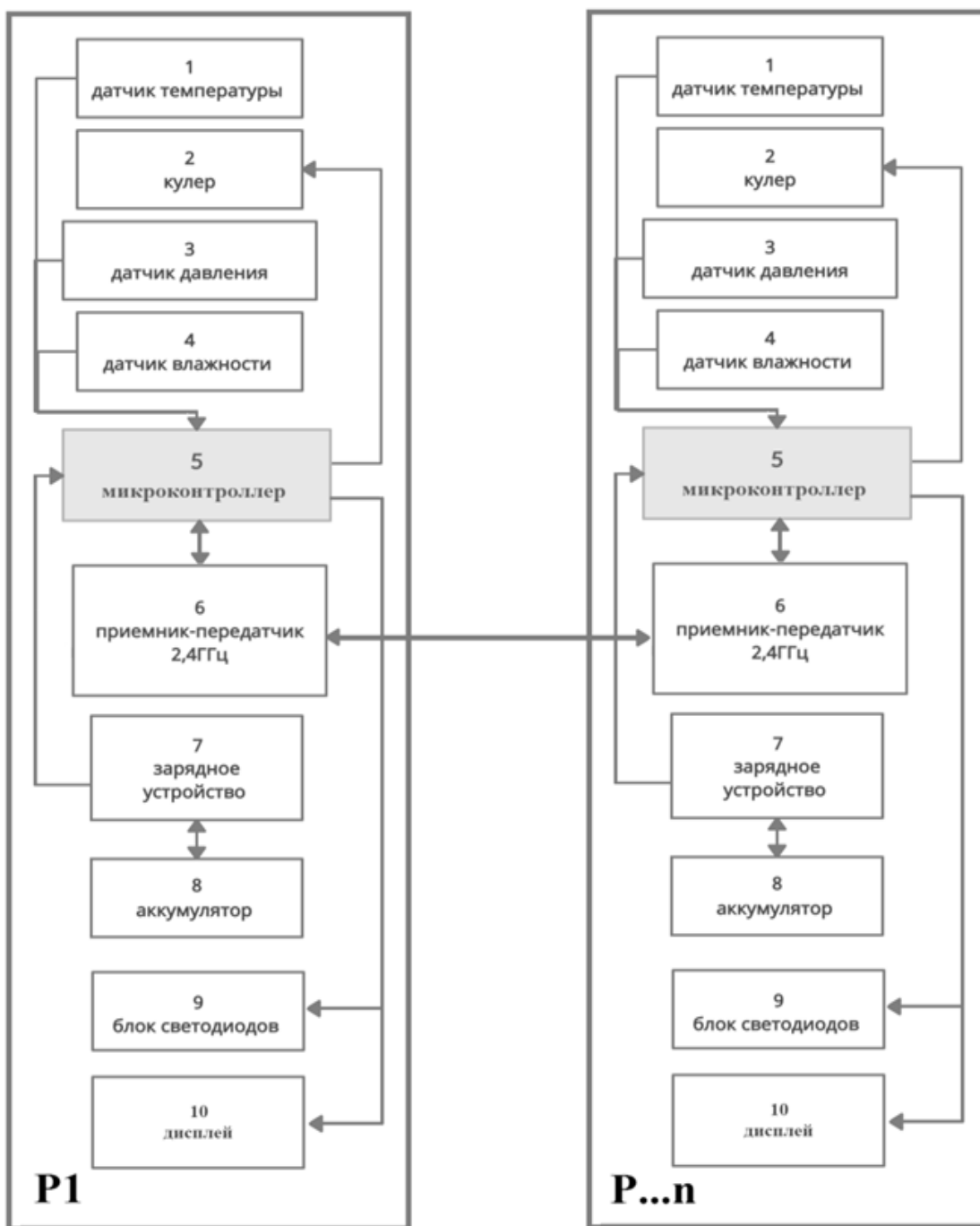


Рисунок 6 – Функциональная схема комплекса

Опрос своих датчиков происходит каждые две секунды, после чего каждый модуль отображает на дисплее и отправляет метеопараметры в эфир, после чего "слушает" эфир и может принять данные с других модулей. После приема данных с другого модуля в контроллере принимающей станции обрабатывается информация, определяется номер модуля-отправителя, и выводятся средние метеопараметры по линии наблюдения. В качестве индикатора приема данных служит стрелка в начале строки.

Так же контролер проверяет на целостность принятого пакета данных. Если данные пришли с повреждением, то на экране остаются последние корректные значения. При новом поступлении данных из сети прибор делает пересчет средних параметров и перезаписывает на кран величины отдельно по каждому метеопараметру (рис.7).



Рисунок 7 – Пример совместной работы трех цифровых геодезических метеостанций

По сравнению с предыдущей версией метеокомплекса остальные функциональные части модулей остались без принципиальных изменений (рис. 8).

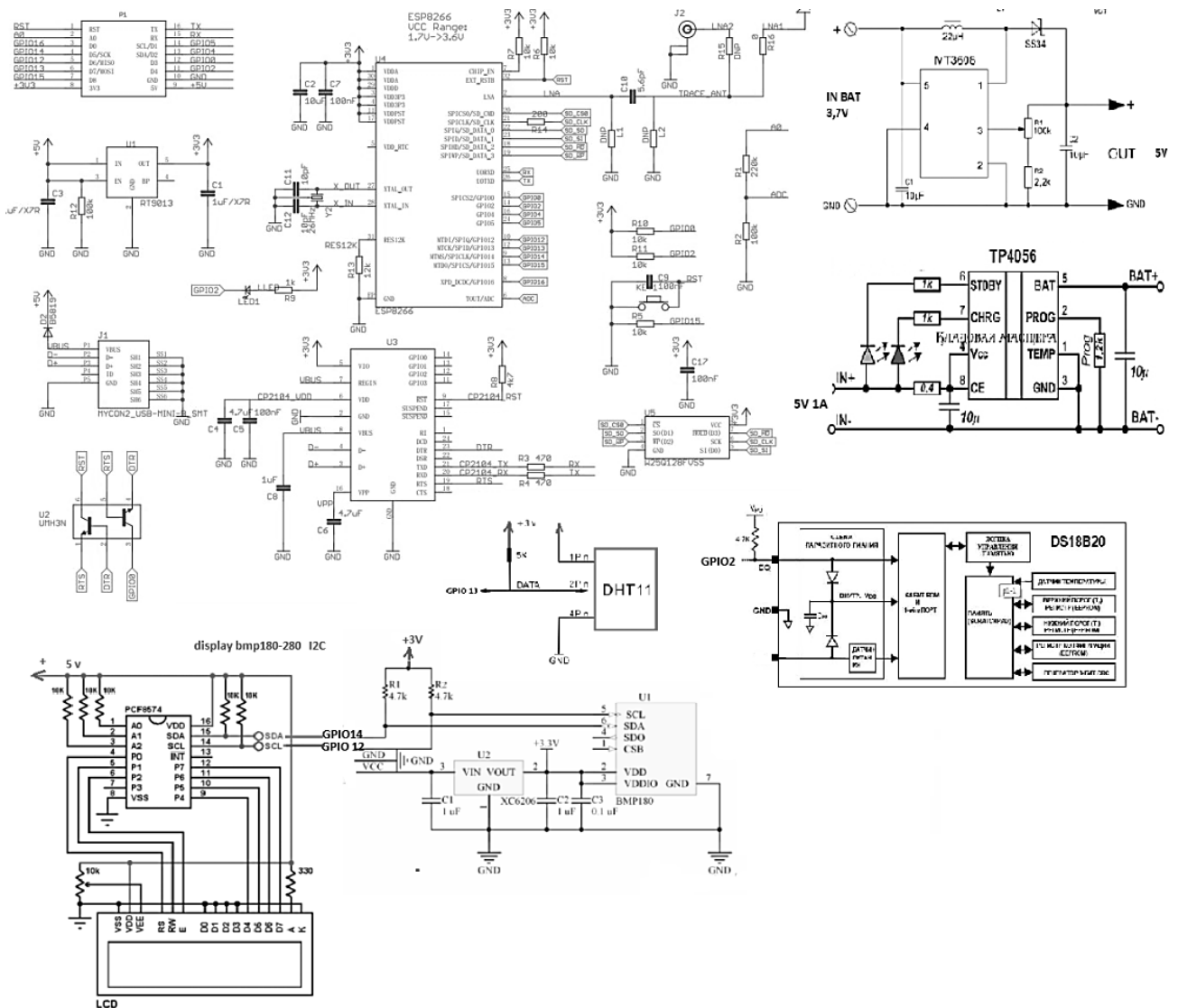


Рисунок 8 – Принципиальная общая схема узлов новой метеостанции

Автор работы выражает благодарность своему научному руководителю к.ф.-м.н., заведующему ЛГПС НС РАН Кузикову С.И. за советы при проведении работ и рекомендации по оформлению статьи.

Литература

1. Прохоров О.А. Образец цифровой портативной геодезической метеостанции // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XI Междунар. конф. молодых ученых и студентов. В 2-х т. Т. 2. Бишкек. 2019. С. 151-157. www.elibrary.ru/item.asp?id=38527207
2. LSD Display [Электронный ресурс]: LCD-016N004B - Режим доступа: <https://www.vishay.com/docs/37306/lcd016n004b.pdf> (ссылка актуальна на 01.03.2022).
3. Semtech SX1278 [Электронный ресурс]: Long Range Low Power Transceiver - Режим доступа: <https://www.semtech.com/products/wireless-rf/lora-core/sx1278> (ссылка актуальна на 28.03.2022).
4. Esp8266 [Электронный ресурс]: Technical reference - Режим доступа: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp8266-technical_reference_en.pdf (ссылка актуальна на 28.03.2022).
5. Ds18b20 [Электронный ресурс]: 1-Wire Digital Thermometer – Режим доступа: <https://static.chipdip.ru/lib/246/DOC004246203.pdf> (ссылка актуальна на 28.03.2022).

ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ПЛОЩАДИ ИЛИМ В БЕШКЕНТСКОМ ПРОГИБЕ

Раббимкулов С.А.¹, Исмадуллаев Б.И.¹, Жураев Ф.О.²
ismadullayev@mail.ru

¹ Ташкентский государственный технический университет им. И. Каримова, г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Республика Узбекистан

В статье рассматриваются опробование скважин, анализ результатов геофизических исследований и их значение при поиске залежей углеводородов с целью изучения свойств нефтяного газа в пластах юрских терригенных и карбонатных отложений Илимского месторождения.

Ключевые слова: структура, порода, горизонт, ярус, объект, бурение скважин, результаты испытания, залежи нефти и газа.

Открытие самого крупного в пределах Бешкентского прогиба месторождения углеводородов Шуртан, ряда средних и мелких месторождений - Северный Шуртан, Бузахур, Кумчук, Кингсай, разведываемых объектов - Илим, Тарнасай, Кингсай, расположенных в пределах Шуртанского поднятия, позволяют считать данное поднятие одним из наиболее перспективных не только в Бешкентском прогибе, но и всей Бухаро-Хивинской нефтегазоносной области.

Промышленные залежи углеводородов, отмеченных месторождений, приурочены к регионально продуктивной толще Бухаро-Хивинской нефтегазоносной области и юго-западных отрогов Гиссарского хребта - известнякам келловой-оксфордского яруса карбонатной формации верхней юры J_{3 k-o} [1,3].

Не является исключением и месторождение Илим, где промышленные газонефтяные скопления также приурочены к известнякам келловой-оксфордского яруса карбонатной формации верхней юры (XV и XV-а горизонты).

Меловые отложения Шуртанского поднятия, при исследовании месторождения Шуртан, из-за отсутствия признаков нефтегазопроявлений в процессе бурения, опробования и ГИС, охарактеризованы, как бесперспективные [1,2].

При проведении геологоразведочных работ, в меловых отложениях площади Илим, также не выявлено каких-либо убедительных признаков нефтегазопроявлений.

Отсутствие существенных притоков углеводородных флюидов, при испытании отложений терригенной юры месторождений Бешкентского прогиба и большей части Чарджоуской тектонической ступени, свидетельствуют об отсутствии коллекторов, способных аккумулировать промышленные скопления углеводородов на данной территории.

Анализ результатов опробования, керна и ГИС в терригенных образованиях юры (скв. №8, XVIII и XVII горизонты), свидетельствует об отсутствии в них притоков углеводородных флюидов.

Опробование скважин проводилось в интервалах мощностей от 2 до 26м. При этом, дебиты углеводородных флюидов в опробованных объектах были различные. Промышленные притоки от Q_r¹⁰=220,9 тыс. м³/сут. до Q_r¹⁶=557,8 тыс. м³/сут. получены главным образом из XV-а горизонта -шесть и только один из XV горизонта.

В терригенной юре опробованы XVIII и XVII горизонты (скв. №8), двумя объектами в трех интервалах.

Карбонатная юра опробована в XVI, XV-а и XV горизонтах (скв. №№1-10), сорока пятью объектами в шестидесяти пяти интервалах. При этом, опробованы горизонты: XVI (скв. №№1,3,5,9) пятью объектами в шести интервалах, XV-а (скв. 2,4,5-9) двадцатью объектами в двадцати восьми интервалах, XV (скв. №№1,3,6-9) двадцатью объектами в тридцать одном интервале.

Опробование осуществлялось перфораторами-ПКО-73, ПКО 80, ПКО-89, ПКО-102, RDX-89, RDX-102, ПКС-80, ПКМ-43, ПКМ-105 [1,2].

Скважина №1, расположенная на южном крыле структуры, породы XV горизонта келловей-оксфордского яруса, вскрыла на глубине 3074м (абс.отм. -2650м). На глубине 3165м (абс.отм. -3137м) зафиксированы газопроявления. Через 140мм эксплуатационную колонну, в скважине опробованы шесть объектов, один в XVI и пять в XV горизонтах.

При этом, из XVI горизонта в интервале 3306-3301м получены притоки технической воды удельным весом $1,00\text{г/см}^3$, дебитом $Q_{\text{тех.воды}}^{24} = 4,8\text{м}^3/\text{сут.}$

В XV горизонте первый объект, опробованный совместно в интервалах 3105-3078м, 3104-3080м, 3117-3112м, дал слабые, не поддающиеся замеру притоки газа. Из второго объекта, опробованного в интервале 3152-3140м получен приток нефти, газа и пластовой воды: $Q_{\text{н}}^4 = 1,3\text{м}^3/\text{сут.}$, $Q_{\text{г}}^4 = 1,5\text{тыс.м}^3/\text{сут.}$, плотность воды $1,08\text{г/см}^3$. Притоки нефти и газа третьего объекта опробованного в интервале 3135-3125м составили: $Q_{\text{н}}^4 = 0,48\text{м}^3/\text{сут.}$, $Q_{\text{г}}^4 = 7,5\text{тыс.м}^3/\text{сут.}$

В интервале 3105-3079 м аэризацией был вызван слабый приток газа, не поддающийся замеру, после СКО (9м^3 -15% HCL) пласт принял всю кислоту, однако величина притока газа не изменилась. В процессе опробования использовался глинистый раствор с удельным весом $1,25\text{г/см}^3$.

Скважина №2 пробурена на северном крыле структуры. Ею, карбонатные отложения келловей-оксфордского яруса вскрыты на глубине 3182м (абс.отм.-2778м).

Через эксплуатационную колонну скважина опробована в XV-а горизонте одним объектом, на глубине 3297-3288м. Аэризацией получен приток пластовой воды, плотностью $1,05\text{г/см}^3$, дебит воды: $Q_{\text{в}} = 1,08\text{м}^3/\text{сут.}$ при $H_{\text{дин.}} = 1411,5\text{м}$. Другие способы вызова притока не применялись. Из-за смятия эксплуатационной колонны на глубине 3234-3286м дальнейшее опробование скважины не проводилось.

Скважиной №3 заложеной в присводовой части структуры, отложения карбонатной формации юры вскрыты на глубине 2890м (абс.отм.-2481м). В процессе бурения были отмечены газопоказания 20%, на глубине 2935м (абс.отм. -2526м) зафиксированы проявления нефти с буровым раствором.

Через 140мм эксплуатационную колонну опробованы шесть объектов, один в XVI, два в XV-а и три в XV горизонтах. В трех объектах получены притоки пластовой воды: XVI горизонт, интервал 3102-3086м, $Q_{\text{в}}^{73} = 3,02\text{м}^3/\text{сут.}$, XV-а горизонт, интервал 3064-3053м, $Q_{\text{в}}^{73} = 2,52\text{м}^3/\text{сут.}$, XV горизонт, интервал 2933-2920м, $Q_{\text{в}}^{73} = 5,54\text{м}^3/\text{сут.}$

В трех объектах, получены притоки газа и пластовой воды: XV-а горизонт, интервал 3003-2987м, $Q_{\text{г}}^{24} = 8,0\text{ тыс.м}^3/\text{сут.}$, $Q_{\text{в}}^{24} = 4,8\text{м}^3/\text{сут.}$, XV горизонт, интервал 2972-2961м, $Q_{\text{г}}^8 = 26,2\text{тыс.м}^3/\text{сут.}$, плотность воды $1,06\text{г/см}^3$, $Q_{\text{в}}^8 = 0,96\text{м}^3/\text{сут.}$, плотность воды $1,07\text{г/см}^3$, интервал 2895-2887м, $Q_{\text{г}}^5 = 74,4\text{тыс.м}^3/\text{сут.}$, $Q_{\text{в}}^5 = 1,44\text{м}^3/\text{сут.}$, $Q_{\text{к}}^5 = 100\text{см}^3/\text{м}^3$.

Скважина №4 пробурена в присводовой части, северо-западнее скв. №3. Породы келловей-оксфорда вскрыты на глубине 2896м(абс.отм.-2491м).

На глубине 2892-2915м (абс.отм. -2487-2510м) исследованиями ГК были зафиксированы газопоказания до 0,5%. В интервале 2892-2943м ИПГ и получены промышленные притоки газа. Через 140мм эксплуатационную колонну опробованы два объекта в XV-а горизонте. Первый объект, в интервале 3080-3071м, дал промышленный приток газа и конденсата: $Q_{\text{г}}^{10} = 220,9\text{ тыс. м}^3/\text{сут.}$, $Q_{\text{к}}^{10} = 75,2\text{см}^3/\text{м}^3$, удельный вес конденсата $0,793\text{гр/см}^3$.

При испытании второго объекта, в интервале 3036-3029м, получен промышленный приток газа с конденсатом. Первоначально, аэризацией был вызван приток газа: $Q_{\text{г}}^{12} = 186,7$

тыс.м³/сут., после СКО (3,5м³-16% HCl) приток газоконденсата увеличился до: Q_г¹²=478,8тыс.м³/сут., Q_к¹²=60,1см³/м³, удельный вес конденсата 0,790гр/см³ при этом, Q_в=6,0см³/м³.

Таким образом, результаты испытания скв. №4 обозначили ее как первооткрывательницу промышленного газоконденсатного месторождения Илим. Промышленные скопления газоконденсатов приурочены к карбонатным породам XV и XV-а горизонтов келловей-оксфордского яруса карбонатной формации верхней юры -J_{зк-о}.

Скважина №5 расположена в южной присводовой части структуры, карбонатные отложения верхней юры скважиной вскрыты на глубине 2864м (абс.отм.-2444м), это на 26м и 32м выше чем в скв.№№3, 4.

Через 140мм эксплуатационную колонну в скважине испытаны три объекта. В XVI горизонте один, на глубине 3216-3208м получен приток технической воды, плотностью 1.01г/см³.

Из объекта XV-а горизонта, на глубине 3100-3094м после аэризации получен приток газа: Q_г¹²=112,8 тыс.м³/сут., после СКО (3,5м³-16%HCL) получены притоки газоконденсата: Q_г¹²=466,2тыс.м³/сут., Q_к⁸=80,3см³/м³.

Объект, опробованный совместно интервалами 3060-3056м, 3052-3043м и 3021-3012м, после аэризации дал промышленные притоки газоконденсата: Q_г¹⁴=416,4 тыс.м³/сут., Q_к⁸=81,59см³/м³. Наиболее продуктивным оказался объект, опробованный двумя интервалами 2983-2977м и 2973-2968м, где притоки газоконденсата вызванные аэризацией составили: Q_г¹⁶=557,8тыс.м³/сут., Q_к⁸=85см³/м³.

Скважина №6, пробуренная на южном склоне структуры, карбонатные отложения верхней юры вскрыла на глубине 3127м, (абс.отм. -2717м), это на 263м и 64м ниже, чем в скв. №№5, 1.

Она опробована семью объектами, из них, пятью в XV-а горизонте, двумя в XV горизонте. Слабый приток газа, не поддающийся замеру, был зафиксирован после СКО в объекте, опробованном в интервалах: 3351-3348м и 3342-3338м, остальные объекты оказались сухими.

Скважина №7 расположена на западном периклинальном погружении структуры. Отложения карбонатной юры вскрыты ею на глубине 3050м (абс.отм.-2643м), это на 154м ниже скв.№4 и на 24м выше скв.№1.

В скважине опробованы семь объектов, из них, четыре в XV-а, три XV горизонтах.

В объектах XV-а горизонта снизу вверх были получены: в интервале 3174-3169м, слабые притоки нефти: Q_н³=3.6м³/сут. и газа не поддающегося замеру, три притока газа не поддающиеся замеру в интервалах 3155-3151м, 3142-3140м, 3121-3118м.

В XV горизонте на глубине 3102-3098м получены притоки нефти, газа и пластовой воды: Q_н⁵= 7,2м³/сут., Q_г⁵=11,0тыс.м³/сут. и Q_в⁵=1,8м³/сут.

Скважина №8, пробуренная на восток-северо-востоке антиклинали, карбонатные образования верхней юры вскрыла на глубине 2934м (абс.отм.-2512м), что на 193м и 248м выше по отношению скв. №№6, 2.

В процессе бурения зафиксировано проявление газопоказаний до 10%, по данным ГИС вскрытый разрез характеризуется наличием продуктонасыщенных пластов (Кп=9-12%), однозначно выделить водонасыщенные пласты не удалось.

В скважине через 140мм эксплуатационную колонну опробованы пять объектов. По одному в XVIII (интервал 3265-3263м и 3232-3227м) и XVII (интервал 3196-3192м) горизонтах терригенной юры, объекты оказались сухими. Промышленные притоки газоконденсата дебитом: Q_г¹²=186,7 тыс.м³/сут., Q_к¹²=69,62см³/м³ получены при опробовании третьего объекта, в XV-а горизонте, на глубине 3071-3067м и пятого объекта в XV горизонте, интервалах 3003-3000м и 2998-2996м: Q_н¹⁴=285,38тыс.м³/сут. и Q_к¹⁴=74,79см³/м³. С объекта, опробованного в XV горизонте двумя интервалами 3029-3026м и 3022-3019м, получен приток газа: Q_г¹⁰=42,0 тыс.м³/сут.

Скважина №9, расположенная в средней части север-северо-западного крыла структуры, продуктивные толщины карбонатов верхней юры вскрыла на глубине 3014м (абс.отм. -2613м), что на 168м выше скв.2 и 124м ниже скв. №3.

Опробование в скважине проведено шестью объектами в XVI, XV-а и XV горизонтах. Притоки нефти и газа: $Q_n^4=25\text{м}^3/\text{сут.}$, $Q_g^4=9,5\text{тыс.м}^3/\text{сут.}$ были получены из XV горизонта опробованного тремя интервалами 3096-3088м, 3071-3068м, 3064-3059м. Остальные пять объектов оказались «сухими».

Скважина №10, заложенная в северо-восточной части месторождения для оконтуривания залежи нефти и газа, получения информации о геолого-промысловых и фильтрационно-емкостных и подсчетных параметрах, кровлю продуктивных горизонтов верхней юры вскрыла на глубине 2743м (абс.отм.-2328м), это на 247м выше по отношению к скв. №9

Скважина опробована двумя объектами, в первом испытанном через фильтр на глубине 3141-3116м в пределах XVa+XV горизонтов притоки углеводородов не были получены.

Во втором объекте, испытанном, совместно в четырех интервалах 3095-3089м, 3084-3079м, 3055-3051м и 3037-3034м в пределах XV горизонта и нижних ангидритов, получен слабый приток газа и нефти.

Первоначальный уровень газонефтяного контакта - ГНК определен по результатам испытания скважин. Он принят на абсолютной отметке -2680м по подошве перфорированного интервала в скв. №5, при испытании которой был получен приток газа.

Первоначальный уровень водонефтяного контакта - ВНК также выявлен по данным опробования скважин. Он принят по подошве перфорированного интервала на абсолютной отметке -2766м (скв. №7), где получен приток нефти.

Нефтегазоконденсатная залежь массивная. Размеры залежи в целом: длина 9,0км, максимальная ширина 2,5км, высота 324м. Из них, нефтенасыщенной: длина 9,0км, ширина 0,75-2,5км, высота 86м, газонасыщенной: длина 8,0км, ширина 1,3-2,0км, высота 238м.

Продуктивными являются отложения верхней юры, представленные: ангидритами, известняками, так же присутствуют аргелиты и соли. Описано нефтегазоносность, а также дана характеристика продуктивных пластов и приведены сведения.

Литература

1. Геологическая глава отчёта по месторождению Илим. Фонды ОАО «Узбекгеофизика». Ташкент. 2011.
2. Геология СССР. Т. XXIII. Узбекская ССР. Геологическое описание. Кн. 2. М.: Недра. 1972. 476 с. с 3 прил. (М-во геологии УзССР).
3. Геологоразведочные работы на месторождении Илим. Фонды ОАО «Узбекгеофизика». Ташкент. 2011.
4. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических исследований скважин. Учеб. пособие для вузов. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Недра. 1991. 219 с.
5. Геофизические исследования скважин. Справочник мастера по промысловой геофизике / Под. ред. В.Г. Мартынова, Н.Е. Лазуткиной, М.С. Хохловой. М.: Инфра-Инженерия. 2009. 960 с.
6. Золоева Г.М., Лазуткина Н.Е. Интерпретация данных ГИС. Учеб. пособие. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина. 2007. 119 с.
7. Интерпретация результатов геофизических исследований нефтяных и газовых скважин. Справочник / Под ред. В.М. Добрынина. М.: Недра. 1988. 476 с.

НЕОБЫЧНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ 11 НОЯБРЯ 2018 г. В РАЙОНЕ КОМОРСКИХ ОСТРОВОВ ПО ДАННЫМ КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ

Рябенко П.В., Соколова И.Н.

ruabenko@kndc.kz

Филиал «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра Республики Казахстан, г. Курчатов, Республика Казахстан

По сейсмическим записям сети станций Института геофизических исследований Национального ядерного Центра исследованы характеристики сейсмического события 11.11.2018 г., связанного с рождением вулкана вблизи острова Майотта, архипелаг Коморские острова. Создан сейсмический бюллетень, изучены кинематические и динамические параметры этого события, проведена его локализация и рассчитана региональная магнитуда по поверхностным волнам MLH. Найдены и исследованы сейсмические записи аналогичных событий 02.09.2018 г. Предложены рекомендации для аналитиков по обработке и классификации длиннопериодных монохроматических треморов.

Ключевые слова: сейсмологическая сеть ИГИ НЯЦ РК, остров Майотта, Коморские острова, сейсмическое событие, длиннопериодный монохромный тремор.

Введение. В ноябре 2018 г. сейсмические станции со всего Земного шара зарегистрировали необычное длиннопериодное сейсмическое событие, его очаг находился вблизи небольшого острова Майотта в Индийском океане в архипелаге Коморских островов [1]. Казахские станции, входящие в сеть Института геофизических исследований НЯЦ РК (ИГИ) [2], записали это сейсмическое событие, данные некоторых станций участвовали в обработке, проведенной в Международном центре данных (МЦД) [3, 4]. По данным МЦД параметры сейсмического события, следующие: 11 ноября 2018 г., $t_0=09:28:03.8$, $\varphi=10.8217^\circ$ ю.ш., $\lambda=47.1707^\circ$ в.д., $h=30$, $M_s=4.3$, $m_b=3.8$, $M_L=2.8$ [4]. Его запись оказалась непохожей на записи землетрясений, привычные для сейсмологов, колебания были больших периодов ~ 16 с, практически монохромные, длительностью >20 минут, тогда как на записях землетрясений обычно наблюдаются колебания спектра самых различных частот. В связи с этим, событие 11 ноября 2018 г. вызвало огромный интерес у научной общественности мира. У аналитиков Центра данных ИГИ ранее не было опыта работы с такого рода записями, в связи с этим были исследованы сразу несколько вопросов: какова природа события, не является ли оно техногенным (зарегистрированные мощные поверхностные волны похожи на волны от взрывов или обрушения), каковы технические возможности сети мониторинга ИГИ в регистрации аналогичных событий, возможно ли определить параметры такого события и регистрировались ли подобные сейсмические события раньше?

Сейсмичность о-ва Майотта. Вулканический архипелаг «Коморские острова» состоит из 33 островов, один из самых крупных из них - Майотта. Вулканизм Коморских островов охватывает исторические периоды миоцена и голоцена. Остров Майотта имел раннюю фазу магматической активности 11 млн. лет назад. Последнее задокументированное вулканическое событие было несколько тысяч лет назад к востоку от о-ва Майотта [1]. На территории архипелага в историческое время было несколько ощутимых землетрясений, о-в Майотта характеризовался средней сейсмической активностью. Разрушительные землетрясения произошли на о-ве Майотта в 1606, 1679 и 1788 гг. [1].

Для исследования сейсмичности был выбран район, ограниченный координатами: $\varphi=13.5^\circ \div 12.1^\circ$ ю.ш., $\lambda=44.6^\circ \div 46^\circ$ в.д. На рисунке 1 приведены данные о магнитудах землетрясений в разные годы из района о-ва Майотта по данным Международного сейсмологического центра, начиная с 1964 г. до 2019 г. [4]. До 2018 г. (рисунок 1 а) в районе

острова произошло 4 землетрясения, самые сильные из них - 01.12.1993 г. ($m_b=5.2$), 09.09.2011 г. ($M_w=5.0$). Начиная с мая 2018 г. количество землетрясений резко возросло (рисунок 1 б), вулcano-сейсмическая последовательность началась 10.05.2018 г., и в течение года произошло 32 землетрясения с магнитудой >5 , среди которых самое сильное - 15.05.2018 г. с $M_w=5.9$ [1].

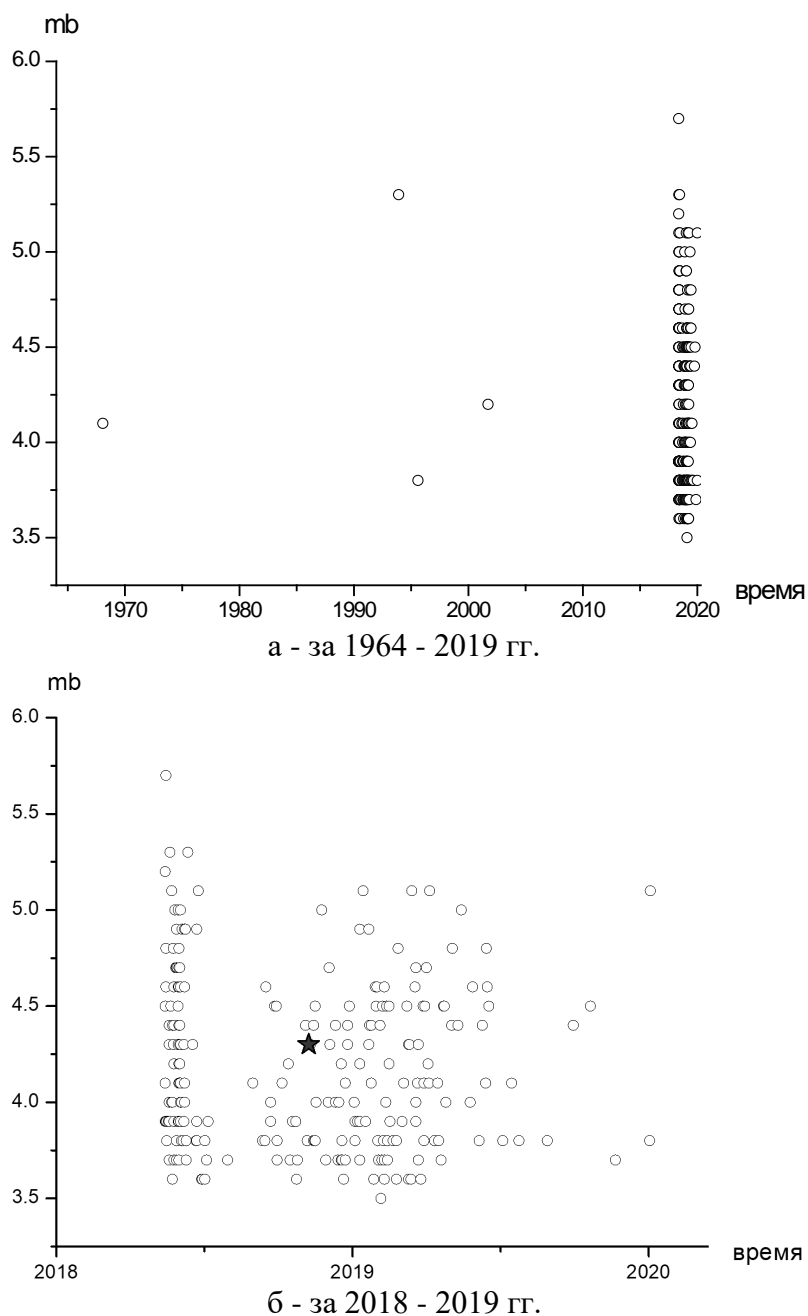


Рисунок 1 – Распределение магнитуд m_b землетрясений района о. Майотта во времени. Звездочка – длиннопериодное сейсмическое событие 11.11.2018 г.

В [1] исследована локальная сейсмичность вблизи о-ва Майотта по данным локальной сети станций, существующей на архипелаге. Кроме того, привлекались данные сейсмических станций IRIS IDA и IRIS GSN [1]. За период с 10.05.2018 г. до 15.05.2019 г. локальной сетью было зарегистрировано 1872 землетрясения с $m_l \geq 3.5$, из них 32 с $m_l \geq 5$ и 161 с $m_l \geq 4.5$ (рисунок 2). Большинство землетрясений ощущалось жителями архипелага [1]. Рой землетрясений может быть разбит на 3 кластера (рисунок 2): первый из них активен в основном с 10.05.2018 г. до начала июля 2018 г., второй - с 26.06.2018 г. и третий - с середины июля 2018 г. Для трех кластеров землетрясений наблюдается различие параметра (угол

наклона графика повторяемости магнитуд) $b=1.2$; для 1 кластера - $b=1.1$; для 2 кластера - $b=1.3$; для 3 кластера - $b=1.5$.

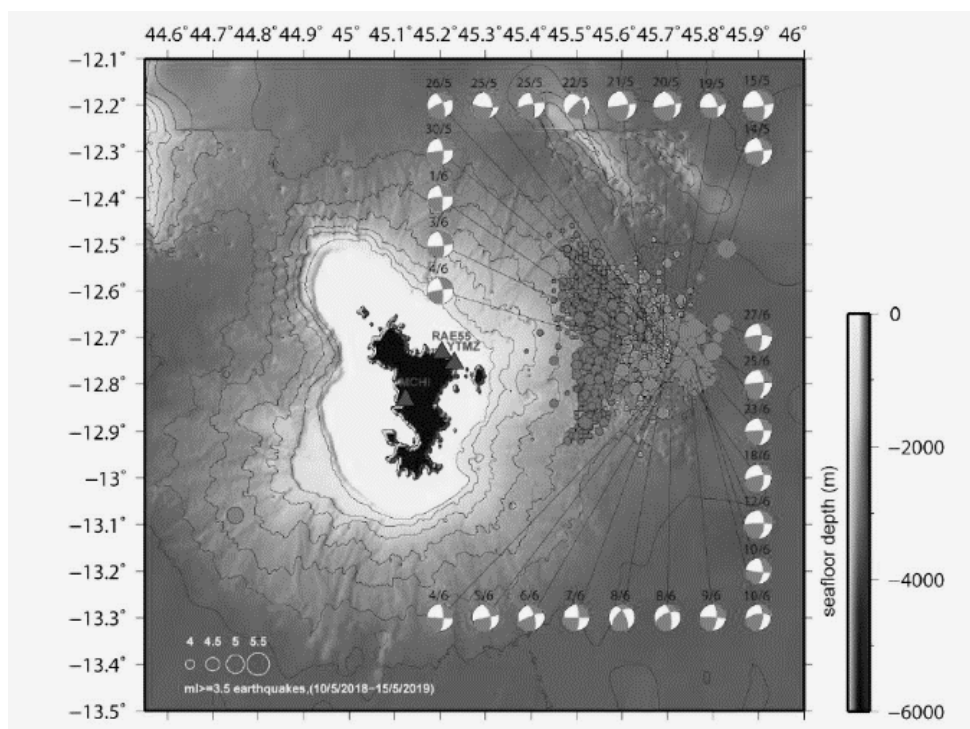


Рисунок 2 – Карта локализованных землетрясений района о. Майотта с $m_l \geq 3.5$ в период с 10.05.2018 г. по 15.05.2019 г. Кластеры землетрясений: синий - с 10.05.2018 г. до начала июля 2018 г.; желтый - с 26.06.2018 г.; красный - с середины июля 2018 г. Зеленые точки - землетрясения, зарегистрированные в период наблюдений, но вне кластерной сейсмичности. Фокальные механизмы СМТ - для событий с $m_l > 4.7$ в период с 14 мая по 27 июня 2018 г. [1].

Регистрация сейсмического события 11 ноября 2018 г. Сейсмическое событие 11 ноября 2018 г. вблизи о-ва Майотта было зарегистрировано широкополосными станциями во всем мире, как очень низкочастотный ($T \sim 16$ с) продолжительный тремор. Низкочастотная продолжительная сейсмическая фаза, оказалась волной Релея LR, исходя из поляризации и скорости [1].

На рисунке 3 приведены сейсмические записи станций сети мониторинга ИГИ НЯЦ РК [2], расположенных на расстоянии 6697 - 7741 км от эпицентра. По казахстанским станциям на основе f - k анализа определен азимут на эпицентр, который совпадает с предполагаемым эпицентром события возле острова Майотта (рисунок 4). Получены F - K диаграммы по данным станции Акбулак (рисунок 4), которые позволили определить по волне P азимут на событие, равный 203.3 град., кажущуюся скорость 13.84 км/с, для волны LR азимут равен 204.2 градуса, кажущаяся скорость 3.65 км/с [3].

Для вертикальных компонент станций ИГИ НЯЦ РК построены спектры Фурье (рис. 5). Максимум спектра по всем станциям примерно одинаков и соответствует периоду $T_{\max} = 15.4$ с [3].

Несмотря на то, что станции ИГИ НЯЦ РК расположены от о-ва Майотта на большом удалении и в узком створе азимутов (рисунок 6), была проведена локализация события 11.11.2018 г., $t_0 = 09:27:49.5$, $\varphi = 12.3209^\circ$ ю.ш., $\lambda = 45.9467^\circ$ в.д. По 3-м станциям была рассчитана магнитуда MLH , среднее значение $MLH = 4.5$ [3].

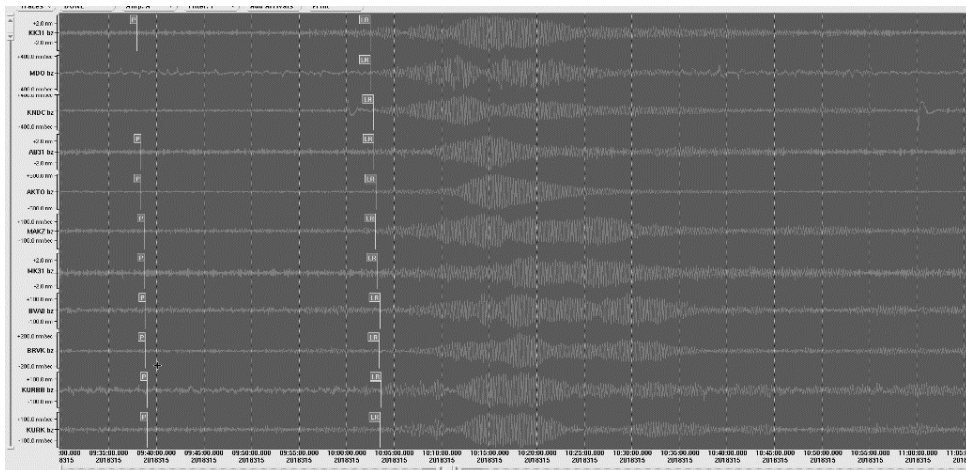
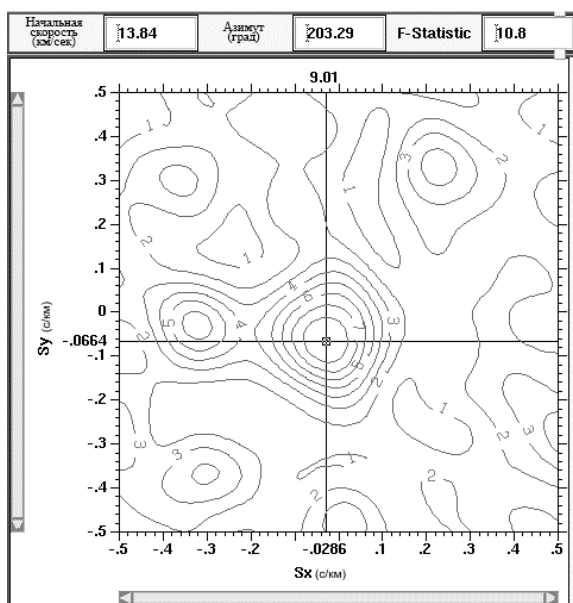
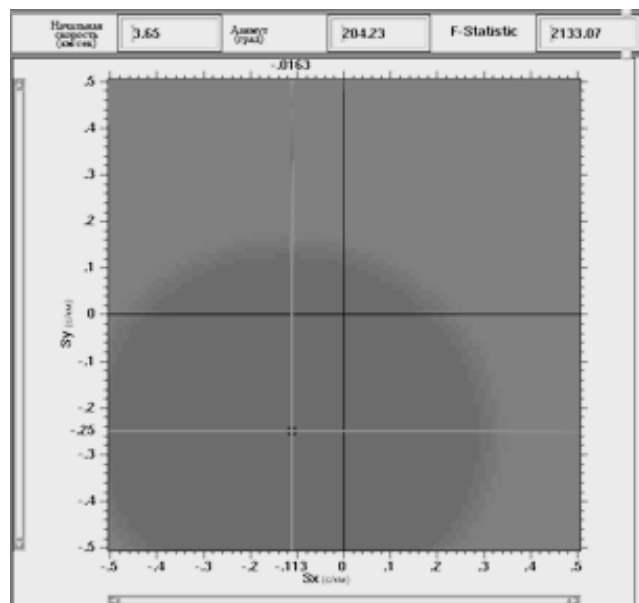


Рисунок 3 – Сейсмические записи события 11.11.2018 г. 09-27 вблизи о. Майотта станциями сети ИГИ. Расстояние 6697 - 7741 км. Фильтр 0.01 – 0.1 Гц



а - волна Р



б - волна LR

Рисунок 4 – Результаты FK-анализа по данным сейсмической группы Акбулак

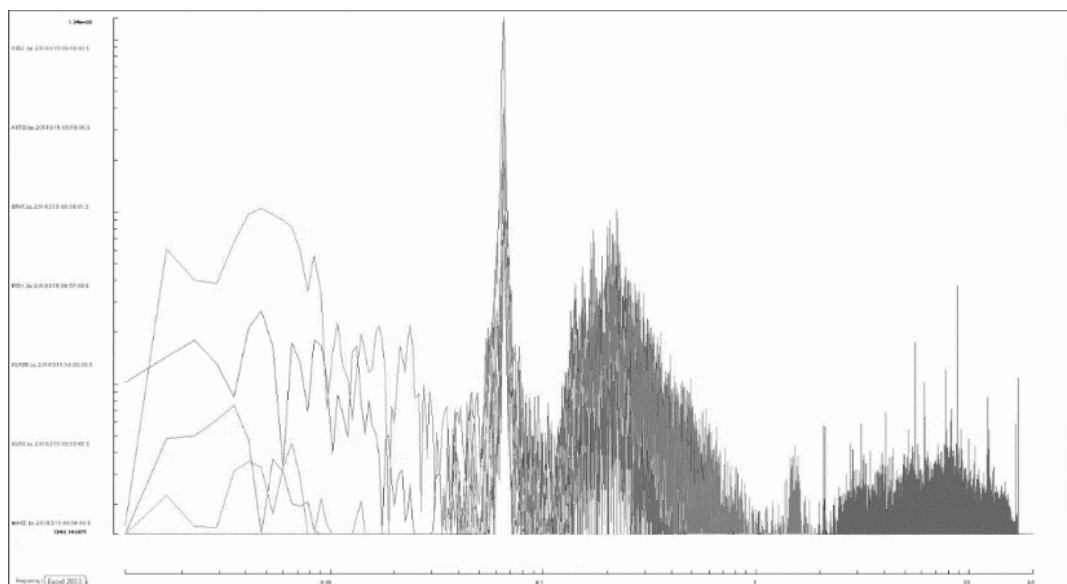


Рисунок 5 – Спектры Фурье волны LR, зарегистрированной сейсмическими станциями сети ИГИ. Z-компонента

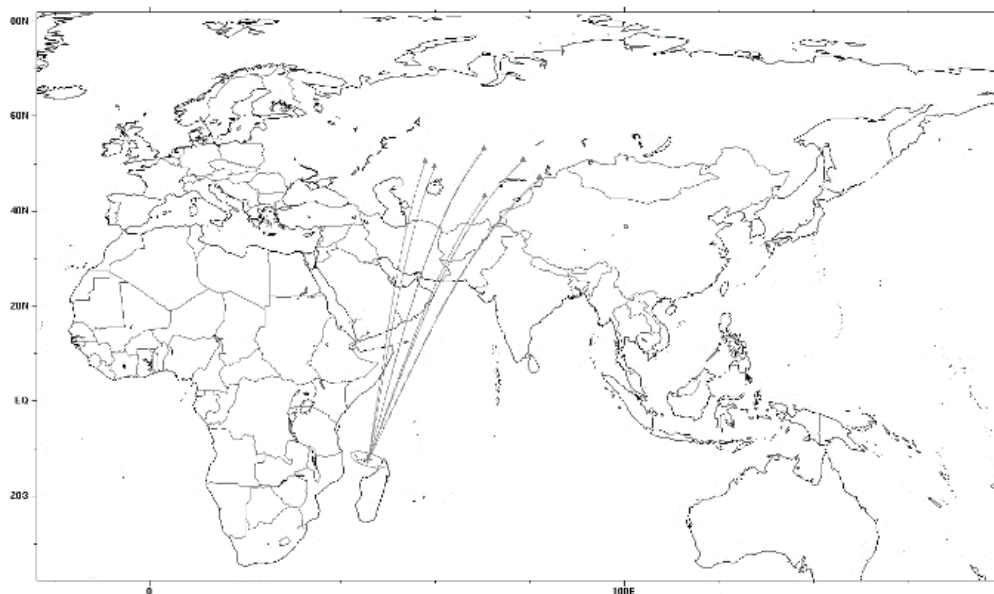


Рисунок 6 – Расположение эпицентра сейсмического события 11.11.2018 г., сейсмических станций ИГИ НЯЦ РК, участвовавших в обработке, эллипса ошибок.

Из глобальных сейсмологических Центров записи события 11.11.2018 г. были обработаны только в МЦД ОДВЗЯИ [4, 5]. По данным МЦД $M_s=4.3$, $m_b=3.8$, большая полуось эллипса ошибок составила $S_{maj}=1152$ км [4, 5]. Следует отметить, что для решения по данным станций ИГИ НЯЦ РК, S_{maj} гораздо ниже, и составила $S_{maj}=430$ км [3]. В работе [1] приводятся результаты локализации события по сети локальных станций. По данным близких станций было видно, что произошло не одно событие, а, как минимум, 3. На рисунке 9 приведена сейсмограмма станции МСН1 (канал В – 3), на которой видно 3 события: в 9:27:27 2 землетрясения с $M_L = 3.1$; в 9:27:56 и $M_L = 3$ в 9:29:30 с координатами $12.61^\circ S, 45.49^\circ E$, и $12.58^\circ S, 45.47^\circ E$, с фиксированной глубиной 10 км [1].

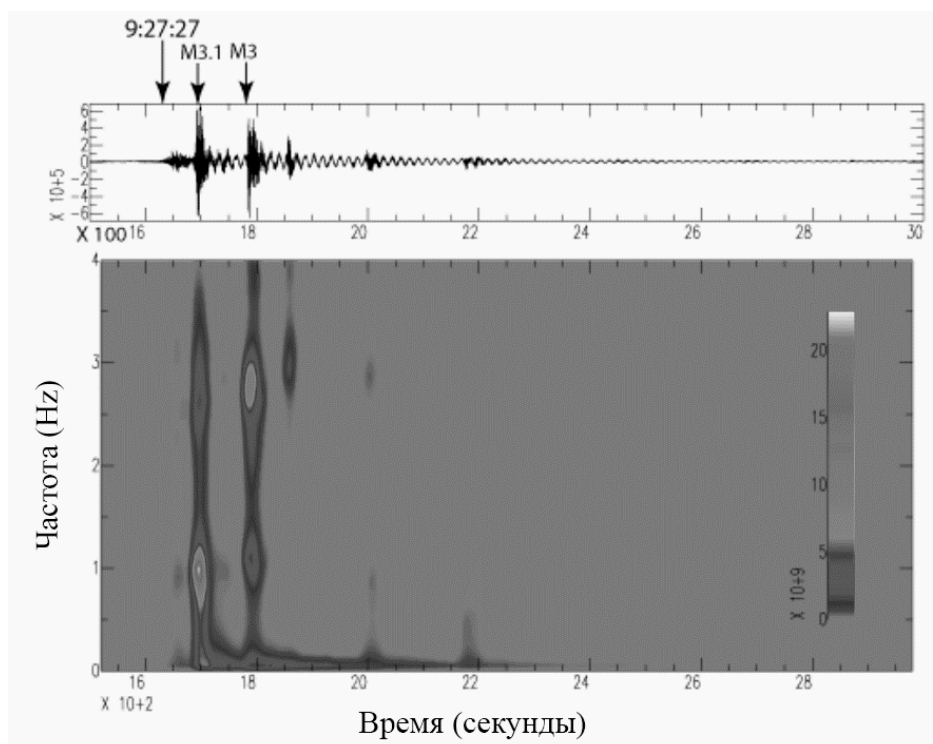
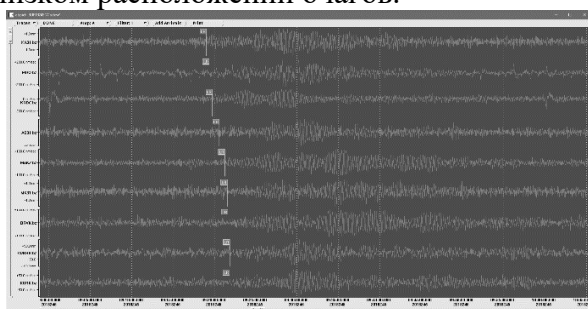


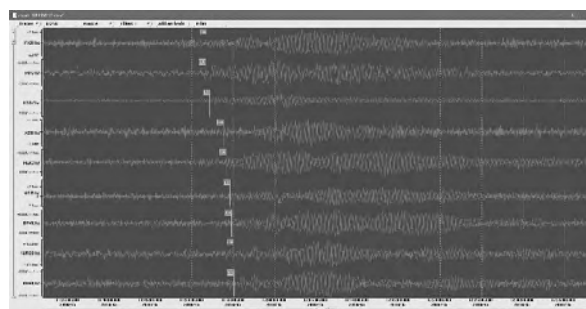
Рисунок 7 – Сейсмограмма и спектрограмма сейсмических событий 11.11.2018 г. по данным станции МСН1 [1]

Анализ похожих сейсмических событий. После исследования особенностей волновой картины тремора 11 ноября 2018 г., мы провели поиск похожих сейсмических событий. В работе [1] по данным локальной сети мониторинга было обнаружено еще 2 длиннопериодных тремора меньшей интенсивности из того же района. Оба они произошли 02.09.2018 г. и представляют несколько небольших высокочастотных событий, сопровождавшихся монохромными низкочастотными волнами с пиковой частотой $F=0.062$ Гц. Первая серия событий была в 08:38 – 08:55, вторая - в 11:12 - 11:32. Запись первого события была обработана в МЦД [4, 5].

Станции ИГИ НЯЦ РК записали оба сейсмических события, были изучены кинематические и динамические параметры записей, создан сейсмический бюллетень, однако локализовать эти события не удалось. Форма записей события 02.09.2018 г. (рисунок 8 а, б) близка к записям события 11.11.2018 г., что свидетельствует о схожем механизме событий и близком расположении очагов.



а - фильтр 0.01 – 0.1 Гц



б - фильтр 0.01 – 0.1 Гц

Рисунок 8 – Сейсмические записи станциями сети ИГИ события 02.09.2018 г. 08-38, вблизи о-ва Майотта

Обсуждение природы события. Событие 11.11.2018 г. вблизи о-ва Майотта имеет некоторое сходство с двумя событиями, описанными для Полинезии [6]. Авторы объяснили эти события как резонанс заполненного жидкостью резервуара, вызванного движением магмы под высоким гидростатическим давлением. Волновые формы рассматриваемого события являются типичными для некоторых событий с большими периодами, связанными с затухающими колебаниями в резонаторе. Как и в случае событий, зарегистрированных в 2011 и 2013 гг. в Полинезии [6], событие 11.11.2018 г. и другие более слабые события, генерируемые на шельфе о-ва Майотта, можно рассматривать как сейсмические события, связанные с колебаниями после точечного возбуждения [1]. В [7] при помощи исследования GNSS-станций анализа интерферометрии InSAR показано, что с середины июля 2018 г. о-в Майотта дрейфовал с небольшим увеличением скорости, пока в конце 2018 г. не достиг пиковых скоростей ~ 224 мм/год на восток и ~ 186 мм/год вниз. С тех пор деформация плавно уменьшалась, достигнув в июле 2019 г. половины максимальной скорости. Смоделированная камера спада магмы расположена в 45 ± 5 км к востоку от Майотта на глубине 28 ± 3 км. Скорость извлечения магмы составляет $\sim 94 \text{ м}^3\text{с}^{-1}$ на максимуме в конце 2018 г. и $\sim 44 \text{ м}^3\text{с}^{-1}$ в июле 2019 г. Общий объем, извлеченный из глубокого источника в июле 2019 г., составляет 2.3 км^3 [7].

Заключение. По сейсмическим записям станций сети ИГИ НЯЦ РК изучен новый тип сейсмических событий – длиннопериодный монохромный тремор, связанный с рождением вулкана. Создан сейсмический бюллетень, изучены кинематические и динамические параметры события 11.11.2018 г. Параметры сейсмического события получены с неплохой точностью. Найдены и исследованы сейсмические записи аналогичных событий 02.09.2018 г. Полученные результаты могут быть использованы для задач сейсмического распознавания природы источника и в практике работ аналитиков Центра данных.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерством Энергетики Республики Казахстан (программа BR09158470).

Литература

1. Lemoine A. et al. The 2018 - 2019 seismo-volcanic crisis east of Mayotte, Comoros islands: seismicity and ground deformation markers of an exceptional submarine eruption // *Geophys. J. Int.* (2020) 223, 22–44.
2. Mikhailova N.N., Sokolova I.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // *Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016 January-June*. V 53. Issue 1, 2019. P. 27-38.
3. Рябенко П.В., Соколова И.Н. Сейсмическое событие 11 ноября 2018 г. вблизи о. Майотта по данным Казахстанских станций мониторинга // *Вестник НЯЦ РК*. 2020. № 3. С. 44-49.
4. Международный Центр данных ДВЗЯИ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ctbto.org/>, авторизованным пользователям.
5. Международный сейсмологический Центр [Электронный ресурс]: – Режим доступа: <http://www.isc.ac.uk>, свободный.
6. Talandier J., Hyvernaud O., Maury R.C. Unusual seismic activity in 2011 and 2013 at the submarine volcano Rocard, society hot spot (French Polynesia) // *Geophys. Res. Lett.*, 2016. 43. P. 4247–4254. - doi: 10.1002/2016GL068342.
7. Cesca S. et al. Drainage of a deep magma reservoir near Mayotte inferred from seismicity and deformation nature research // *Nature Geoscience*. January 2020. 13(1). P. 87-93. - DOI: 10.1038/s41561-019-0505-5.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ GPS ИЗМЕРЕНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Садиров Ф.Х., Хусомиддинов С.С., Сагдуллаева К.А.
sfx@bk.ru

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

В статье представлены результаты статических наблюдений с помощью приемника Leica GRX 1200 GG PRO, установленного в магнитно-ионосферной станции (МИС) Янгибазар. На основе представленных данных была найдена часовая медиана на основе 30-секундных данных и проанализирован временной спектр. Спектральный анализ показал, что имеют место суточных периодических изменений с периодами 6, 8, 12 и 24,2 часа.

Ключевые слова: GPS, деформация, спектр, статика, период, абсолютная координата, медиана, периодическое изменение.

Введение. Территория Республики Узбекистан расположена в сейсмически активной зоне. 70 процентов населения страны проживают на территории 7-9 балльной сейсмической активности. Поэтому повышение эффективности обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий является актуальной научной проблемой в Узбекистане. В результате проведенных комплексных геолого-геофизических исследований в геофизических полях, в составе подземных вод и исследованиях современных движений земной поверхности были выявлены предвестники землетрясений [1-4].

В последние годы в Узбекистане для исследования современных движений земной поверхности, уделяют особое внимание на использование системы глобальной навигации (GPS) с помощью искусственных спутников Земли.

Аппаратура и методика обработки. Землетрясение – это деформирование земной коры в результате тектонических движений. Ранее современные движения земной поверхности исследовались методами светодальнометрии, наклонометрии. Метод GPS обладает высокой точностью, дает возможность вести непрерывные наблюдения, а также дает возможность определить среднесрочных и краткосрочных предвестников землетрясений. Преимуществом этого метода, по сравнению с другими, является использование его в любых погодных условиях и при любых расстояниях между пунктами измерений. В целях проведения мониторинга геолого-геофизических полей для прогноза землетрясений в Узбекистане организованы три сейсмогеодинамических полигонов. Наибольшим количеством оборудования GPS измерений оснащен Ташкентский геодинамический полигон. Его центром является магнитно-ионосферная станция МИС Янгибазар. В обсерватории исследования методом (GPS) начались с 2013 года при помощи приемника фирмы Leica GRX 1200 GG PRO. Это оборудование производит измерения через каждый 30 секунд. Измеренные данные хранятся отдельно для каждой сутки. Для измерения координаты пункта с высокой точностью необходимо внести изменения за счет влияния ионосферы и атмосферы. При помощи GPS измерений на двух частотах ошибки, производимые за счет ионосферы и атмосферы устраняются автоматически [5-7].

Результаты. GPS данные станции Янгибазар были обработаны выше указанным методом за 334 дней 2013г. При этом средне-квадратическое отклонение N, E и H значений снизился от 6 метров 7 см (рис.1). В течение сутки среднеквадратическое отклонение компоненты N и E снизилась за сутки до 3- см. За период наблюдений с 03.04.2013 по 14.07.2013 (рис.2) значение точности измерений горизонтальной компоненты снизилось до 4 мм, а вертикальной компоненты снизилось до 8 мм. По данным GPS измерений за период

03.04.2013-14.07.2013 определены временные спектры, определенные методом медианы. Спектральный анализ показал, что имеет место ряд суточных спектров, выделяются 6, 8, 12 24,2 часовые периоды (рис.3).

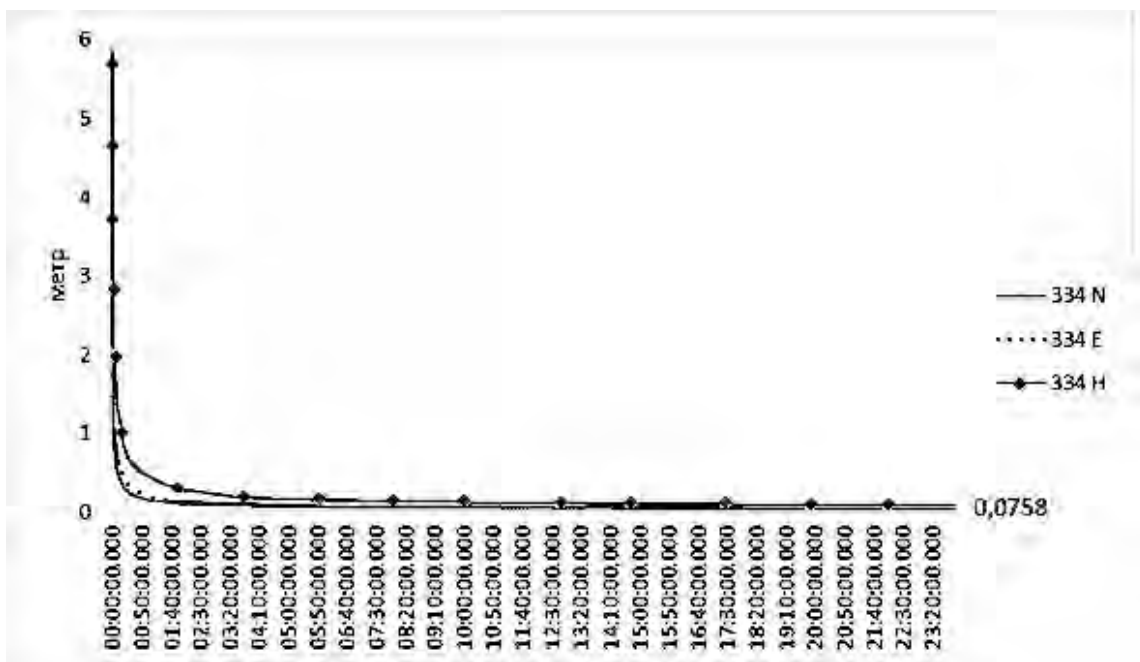


Рисунок 1 – Среднеквадратическое отклонение N, E и H значений, наблюдаемых GPS методом на территории МИС Янгибазар

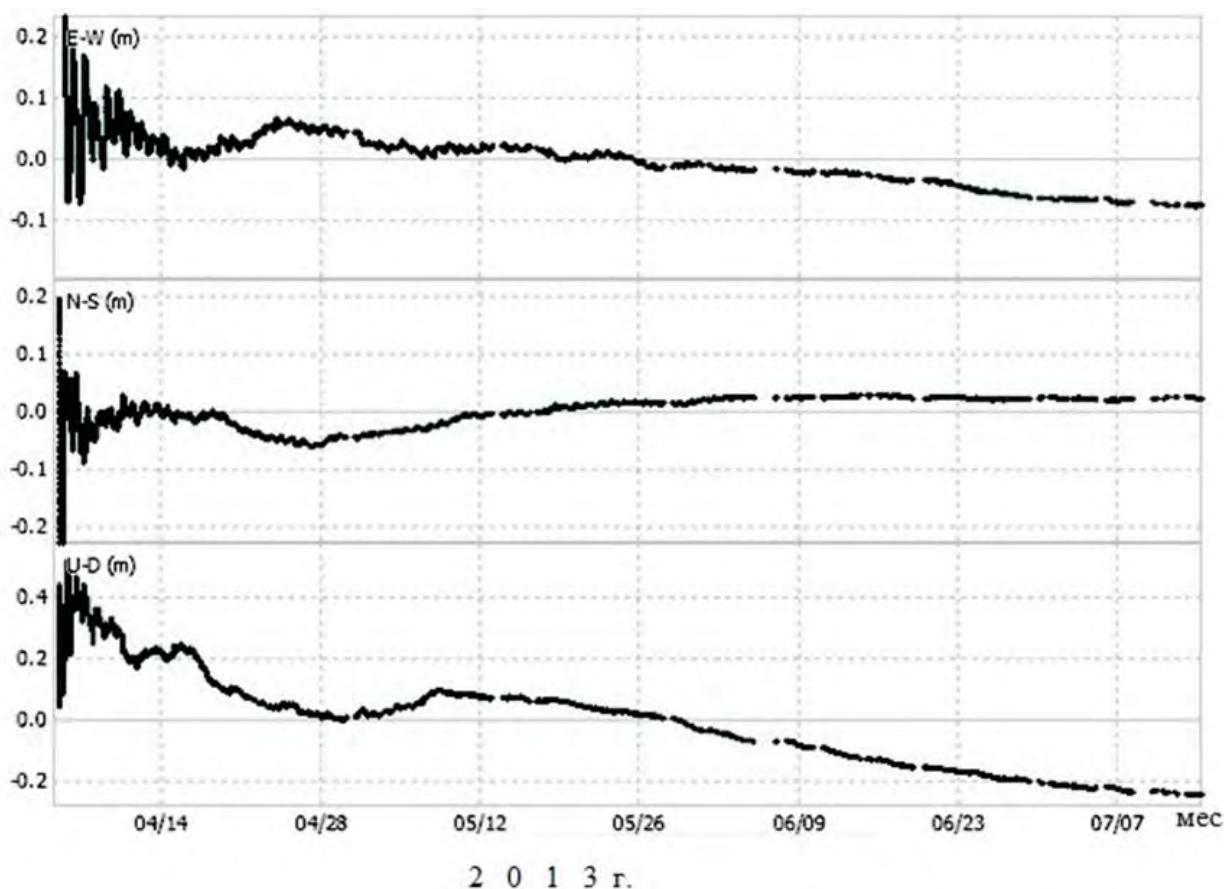


Рисунок 2 – Изменение N, E и H значений, полученных GPS методом на территории МИС Янгибазар за период 03.04.2013-14.07.2013 гг.

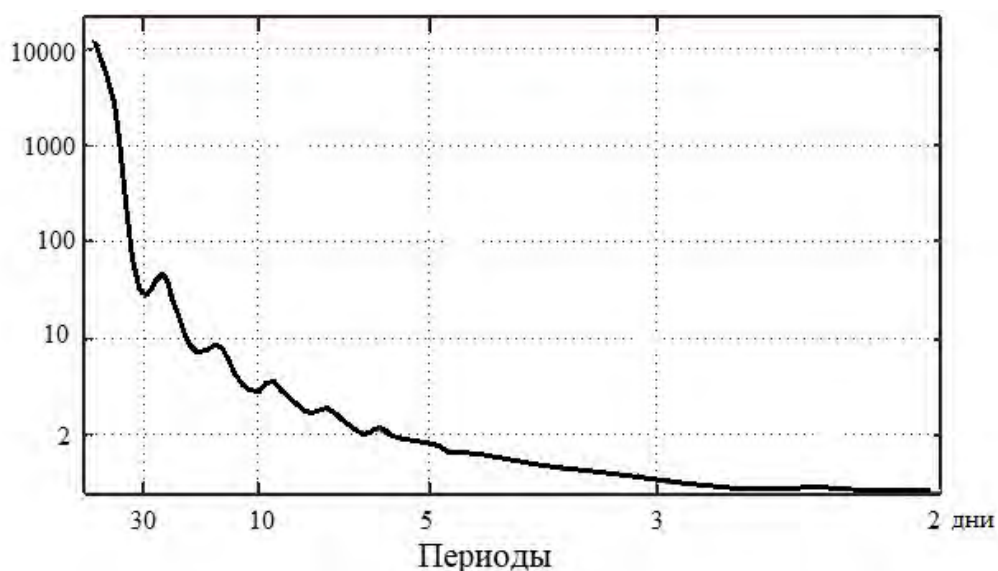


Рисунок 3 – Временные спектры вертикальной компоненты, наблюдаемые на территории МИС Янгибазар

Сезонные деформации также наблюдались с помощью GPS-наблюдений [8].

Выводы. В заключении можно отметить, что проведя статические измерения координат пункта наблюдения GPS методом можно добиться повышения точности определения координат. При применении измерения на двух частотах можно избавиться от помех за счет ионосферы и атмосферы, что упрощает методику обработки данных. Впервые динамические ряды значений данных GPS, наблюдаемых в МИС, были построены в 30-секундном режиме измерений. При определении абсолютной координаты точки наблюдения анализировались результаты, полученные с помощью двух частотных приемников. Однако можно дополнительно повысить точность координат этой точки применяя другие методы исключения ионосферных влияний. Для проведения расчетов использовали пакет математических расчетов Mesosaur и программу teqc. Почасовые данные пункта наблюдения можно использовать при прогнозировании землетрясений, как предвестник краткосрочного характера.

Литература

1. Зубков С.И., Сковородкин Ю.П., Алимова В.А. Каталог геомагнитных предвестников землетрясений / Сост. Безуглая Л.С. М.: ИФЗ АН СССР. 1983. 140 с.
2. Алимова В.А., Зубков С.И. Каталог предвестников землетрясений. Гидрогеодинамические предвестники. М.: ИФЗ АН СССР. 1983. 47 с.
3. Каталог импульсных электромагнитных предвестников землетрясений / Никифорова Н.Н., Зубков С.И., Васильева Н.Э. М.: ИФЗ АН СССР. 1991. 21 с.
4. Каталог сейсмических предвестников землетрясений / Сост.: Зубков С.И., Соловьева Р.П. М.: ИФЗ АН СССР. 1986. 269 с
5. Zumberge, J.F., M.B. Hefflin, D.C. Jefferson, M.M. Watkins, and F.H. Webb (1997). Precise Point Processing for the Efficient and Robust Analysis of GPS Data from Large Networks // J. Geophys. Res., 102 (B3), 5005-5017.
6. Soykan M., Ata E. (2011). Precise point positioning versus traditional solution for GNSS networks // Sci. Res. Essays. 6(4): 799-808.
7. Bisnath, S., & Gao, Y. (2009). Current state of precise point positioning and future prospects and limitations. Observing our changing earth, s. 615-623. Springer, Berlin, Heidelberg. DOI:10.1007/978-3-540-85426-5_71
8. Blewitt G. et al. A new global mode of Earth deformation: Seasonal cycle detected // Science. 2001. V. 294. No. 5550. P. 2342-2345.

ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАТУХАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Сайлаубаева З.А., Данабаева А.Т., Катубаева А.М., Сиылканова А.

Zauresh_2@mail.ru, danabaeva_aa@mail.ru, Assel.Katubayeva@gmail.com, akkenje-os@mail.ru

Институт сейсмологии Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан

В работе представлены результаты анализа макросейсмических проявлений сильных землетрясений на территории Восточного Казахстана с 1761 года по настоящее время. Проанализированы макросейсмические данные для сильных землетрясений, по которым имеются достоверные данные.

Ключевые слова: макросейсмика, афтершоки, интенсивность, изосейсты, форшоки.

Восточно-Казахстанский сейсмоактивный район неоднократно подвергался сильным и ощутимым землетрясениям. Предгорные равнины Восточно-Казахстанской области, входящие в Тарбагатай-Алтайский сейсмоактивный регион, весьма активны. Начиная с 1761 года, здесь произошло около 51 сильных землетрясений (не считая ощутимых афтершоков сильнейших землетрясений). Имеющиеся на сегодняшний день материалы позволили составить список сильных и ощутимых землетрясений для исследуемой территории и прилегающих районов, ощущавшихся с интенсивностью $I \geq 4$ баллов, со второй половины XVIII века по 2021 г. Из этого списка к настоящему времени имеются надежные макросейсмические данные лишь о шести землетрясениях, наиболее полные сведения о которых, содержатся в опубликованных и рукописных документах, современных отчетах по обследованию последствий землетрясений [1, 2, 3, 4]. Ниже приводится краткое описание проявлений ряда сильных землетрясений региона.

Первые сведения о землетрясениях, ощущавшихся в Восточно-Казахстанском регионе, относятся к 1761 году. Это были отголоски 10-балльного Монгольского землетрясения 9 декабря 1761 г. с магнитудой $M=7,7$ (рисунок 1). Эпицентр землетрясения располагается на северо-западе Монголии и является одним из сильнейших сейсмических событий не только в Монголии, но и в пограничных с ней районах Алтая. Важные сведения о макросейсмических эффектах этого землетрясения содержатся в каталоге И.В. Мушкетова и А.П. Орлова [5], материалы которого легли в основу составления схемы изосейст этого землетрясения в работе [6]. Монгольское землетрясение 9.12.1761 г. проявилось в гг. Семипалатинске, Усть-Каменогорске и в других населенных пунктах по р.Иртыш с интенсивностью до 6 баллов. В приграничных районах Монголии с Алтаем произошли еще два землетрясения с магнитудой около 8,0: 10-балльное Хангайское землетрясение 9 июля 1905 г. (рисунок 1) и 9-балльное Монголо-Алтайское землетрясение 10 августа 1931 г. (рисунок 1). Эпицентр Хангайского землетрясения 1905 г. (в литературе его иногда называют Цэцэрлэгским, Таннуольским, Больнайским) располагается на севере Монголии, в приграничных зонах с Алтаем, а Монголо-Алтайского 1931 г. – на северо-востоке Монголии, в приграничных зонах с Китаем. Оба землетрясения проявились на территории Восточно-Казахстанской области интенсивностью до 5-6 баллов. Сеймотектонические зоны, порождающие эти сильнейшие монгольские сейсмические события, в северо-западном направлении простираются на территорию Зайсано-Алтайской складчатой системы Восточного Казахстана, где в 1990 г. произошло 8-балльное Зайсанское землетрясение. Из числа местных сильных землетрясений следует отметить землетрясения 13 января 1887 г. с $M=5,8$, $I=7$ баллов и Риддерское 21 мая 1901 г. с $M=5,6$, $I=7$ баллов [3]. Таким образом, имеющиеся сведения о сильных исторических землетрясениях региона хотя и скудные, но

позволяют говорить, что за последние 250 лет на территории региона интенсивность исторических сильных землетрясений не превышала 7 баллов. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. [1] было чрезвычайно важным событием в сейсмической жизни не только Восточного Казахстана, но и Казахстана в целом. Значение этого землетрясения определялось, прежде всего, его силой и, связанной с этим, тяжестью его последствий: по магнитуде $M=7,0$ оно оказалось сильнейшим за всю историю Восточного Казахстана. Вторым важным обстоятельством явилось положение его эпицентральной зоны. Землетрясение произошло в районе, для которого не существовало единого мнения о степени сейсмической опасности, в результате чего на различных вариантах карт сейсмического районирования бывшего СССР этот район оказывался в пределах то 7-, то 6-балльной зоны.

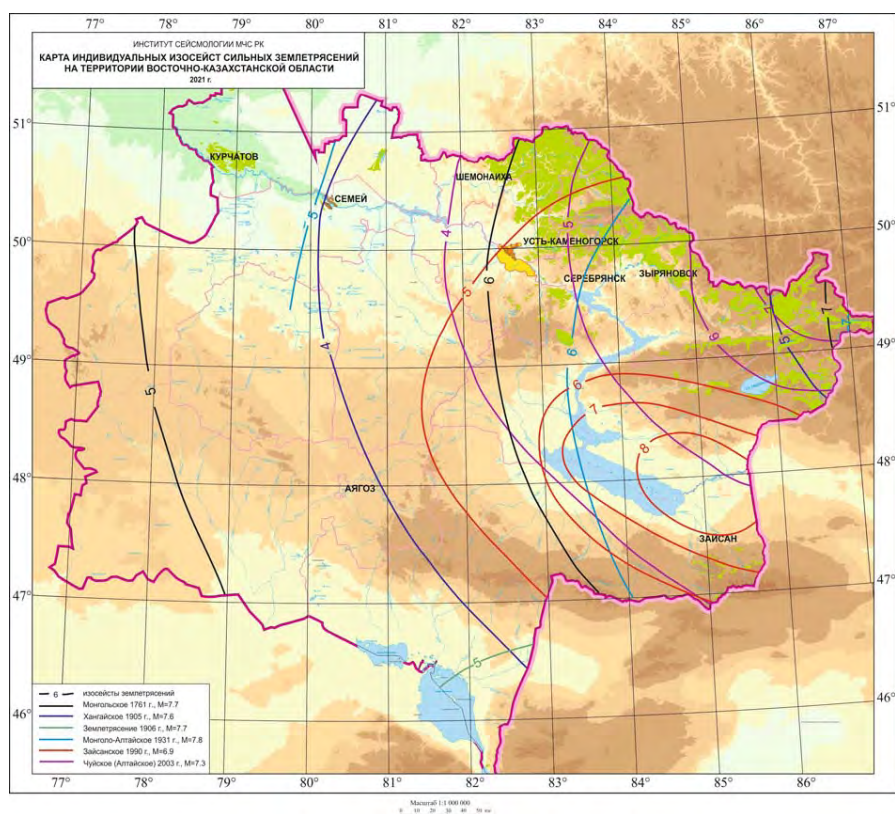


Рисунок 1 – Индивидуальные изосейсты сильных землетрясений на территории Восточно-Казахстанской области

Лишь большая глубина гипоцентра главного толчка Зайсанского землетрясения ($H=35-40$ км) является причиной сравнительно скромного сейсмического эффекта на поверхности (7-8 баллов в эпицентре). Эпицентр Зайсанского землетрясения располагается в пределах считавшейся ранее слабоактивной в сейсмическом отношении Зайсанской впадины. Можно предполагать, что очаги Зайсанского и сильнейших монгольских землетрясений приурочены к северо-западному продолжению структур Южно-Монгольской тектонической зоны. Очаг землетрясения возник на глубине 35-40 км в толщах кристаллического фундамента герцинского возраста, подстилающего Зайсанскую впадину. Как говорилось выше, большая глубина гипоцентра главного толчка стала причиной относительно скромного макросейсмического воздействия (интенсивность в эпицентре составила всего 7-8 баллов). Всесторонними исследованиями установлено, что землетрясение не вызвало обширных остаточных сейсмодеформаций на земной поверхности. Обнаружены лишь трещины и ямы-воронки, локализованные в пределах пойм и низких террас, сложенных обводненными супесчаными отложениями. Землетрясение вызвало

значительные повреждения, а местами разрушило жилье, больницы, школьные и административные здания, бытовые и другие объекты (рисунок 2).



Рисунок 2 – Характерные повреждения саманной постройки при землетрясении (поселок Рожково)

Сильное землетрясение редко бывает единичным актом. Некоторые сильные землетрясения предваряются форшоками, т.е. предшествующими толчками. За каждым сильным землетрясением следует афтершоки (последующие толчки). Выделение и изучение форшоков и афтершоков – специальная проблема. Здесь важно отметить, что как те, так и другие, слабее главного толчка, хотя могут приносить очень серьезные неприятности. Афтершоки нередко довершают разрушение поврежденных главным толчком зданий, держат в напряжении жителей пострадавшего района. Также случилось после Зайсанского землетрясения, за первые 5 месяцев произошло около 500 последующих толчков, два из которых (3.08.1990 и 27.09.1990) имели в эпицентре силу около 5-6 баллов. Они то и явились причинами усиления повреждений зданий в эпицентральной зоне землетрясения. После сильного Зайсанского землетрясения 1990 года, в целом сейсмическая обстановка в регионе оставалась относительно спокойной, за исключением редких слабых сотрясений, вызванных как продолжающимися еще повторными толчками, так и отголосками далеких транзитных землетрясений.

В такой относительно спокойной сейсмической обстановке 27 сентября 2003 г. на территории соседней России, в 15 часов 33 минут по московскому времени, в долине р. Чуя произошло очередное 8-9-балльное землетрясение (координаты эпицентра – $50,04^{\circ}$ с.ш., $87,97^{\circ}$ в.д.; $M=7,3$), вошедшее в литературу под названием Чуйское (Алтайское). Очаг землетрясения располагался на территории Северо-Чуйского хребта, Чуйской и Курайской межгорных впадин и, разделяющего их, Чаган-Узунского приподнятого блока. Это землетрясение – одно из крупнейших за последние 50 лет на территории соседнего Горного Алтая. Оно подробно изучено специальными экспедициями, организованными российскими, казахстанскими, монгольскими и китайскими учеными, результаты работ доложены на специальной научно-практической конференции в 2004 г. в г. Новосибирске и изложены в ряде научных публикаций. Группой специалистов из Казахстана, изучавшей проявление Чуйского (Алтайского) землетрясения 2003 г. на территории ВКО, проведено обследование 46 населенных пунктов. По результатам макросейсмического обследования построена схема изосейст (рисунок 2.38), на которой выделены 7-, 6-, 5- и 4-балльные зоны сотрясений на территории Восточного Казахстана.

Таким образом, удалось собрать, систематизировать и построить схемы изосейст для шести сильных ощутимых землетрясений. Эпицентры некоторых из них находятся за пределами

Восточно-Казахстанской области, в соседних сейсмогенных структурах, однако, на территории региона они проявились с интенсивностью 4 и более баллов. Общий анализ макросейсмических данных по Восточно-Казахстанскому региону показывает, что все изосейсты (рисунок 1) имеют, как правило, эллипсоидную форму и вытянуты вдоль простирания геологических структур.

Закономерности затухания интенсивности сотрясений. Приведенных в настоящей работе макросейсмических данных не достаточно для создания математической модели затухания интенсивности сотрясений с расстоянием отдельно для изучаемой территории. Фактически, хорошо изученным землетрясением данного региона, является только лишь Зайсанское землетрясение 1990 г. Поэтому нами проведены исследования по определению коэффициентов макросейсмического поля применительно к изучаемому региону по данным этого землетрясения. Использовались значения радиусов изосейст как средние, так вдоль и вкрест основных геологических структур, как с учетом, так и без учета размера очага.

Полученные значения коэффициентов макросейсмического поля для этого случая приведены в работе [1] – “При $I_0=8$ баллов коэффициент затухания $v_0=3.7$, а глубина очага $h=30$ км, что в пределах точности хорошо согласуется с инструментальными данными. Определение макросейсмической магнитуды проводилось в соответствии с методикой, предложенной Т.Г. Раутиан. Величина M оказалась равной 7.2. Оценка горизонтальной протяженности очага l_x по макросейсмическим данным $l_x=d_{lmax}-d_{lmin}=70$ км, где d_{lmax} и d_{lmin} – максимальный и минимальный диаметры первой изосейсты” [1]. Сравнение их с данными по Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньской зоне, которые получены на основе очень представительных, качественных макросейсмических материалах, показали, что они близки по значениям. Поэтому в настоящей работе используются значения коэффициентов макросейсмического поля, которые были получены для территории Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского региона [7].

Литература

1. Нурмагамбетов А., Сыдыков А., Тимуш А.В. и др. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. // Землетрясения в СССР в 1990 г. М.: ОИФЗ РАН. 1996. С. 54-60.
2. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В. и др. Тектоническая позиция и геологические проявления Алтайского землетрясения 2003 г. // Сильное землетрясение на Алтае 27 сентября 2003 г. М.: ИФЗ РАН. 2004. С. 25-37.
3. Нурмагамбетов А., Сыдыков А. Землетрясения в Восточно-Казахстанском регионе: прошлое, современность, прогноз. Алматы: Жания-полиграф. 2007. 26 с.
4. Садыкова А.Б. Сейсмическая опасность территории Казахстана. Алматы: Ғылым. 2012. 10 с.
5. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. СПб.: Тип. Имп. Акад. наук. 1893 582 с. (Зап. Рус. геогр. о-ва. Т. 26).
6. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. М.: Наука. 1985. 224 с.
7. Сыдыков А. Сейсмический режим территории Казахстана. Алматы: Ғылым. 2004. 268 с.

ВЫБОР ОПОРНЫХ GPS СТАНЦИЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВНУТРИСУТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Саламатина Ю.М.
salam@gdirc.ru

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

Чтобы получить более точные внутрисуточные GPS координаты необходим переход от глобальной геоцентрической системы отсчета к локальной топоцентрической системе координат. Для перехода к локальной системе необходимо выбрать опорные станции. Наиболее лучшими в качестве опоры являются близлежащие станции с более синхронизированными изменениями в координатах. При определенных в данной работе опорных станциях на исследуемой территории для экспериментальной GPS станции наблюдается повышение точности внутрисуточных координат на 2-6мм по горизонтали и на 11 мм по вертикали.

Ключевые слова: Bernese, PPP, внутрисуточные координаты NEU, вариации координат, точность GPS координат

Ранее для расчетов внутрисуточного позиционирования в лаборатории GPS ИС РАН использовалась программа TRACK, что входит в пакет GAMIT/GLOBK (MIT), которая на выходе предоставляет координаты, рассчитанные относительно одной точки на земной поверхности [1]. С ее помощью на основе двух близко расположенных GPS станций (менее 1 км) были оценены амплитудные вариации относительных координат и получены их численные характеристики [2]. Для продолжения исследования данная программа оказалась непригодна, поскольку имеет ограниченное количество обрабатываемых GPS станций и качество данных очень зависит от расстояния между станциями.

Для получения более качественных внутрисуточных координат больше подходит алгоритм PPP (Precise Point Positioning), который входит в программное обеспечение Bernese (AIUB)[3]. Поскольку данный алгоритм PPP в настоящий момент является наиболее качественным из известных нам алгоритмов расчета внутрисуточных позиций, так как рассчитанные им координаты имеют наименьшие приращения [4]. Данный алгоритм, как и многие другие программы, предназначенные для геофизических задач, предоставляет GPS координаты в отсчетной основе ITRF.

ITRF (International Terrestrial Reference Frame) представляет собой международную земную отсчетную основу, которая состоит из конкретных GNSS станций, установленных на твердой земной коре и имеющих точно определенные координаты. Система использует в качестве входных данных временные ряды положений станций, их скорости и параметры ориентации Земли, предоставленные техническими центрами с использованием четырех космических геодезических методов (VLBI, SLR, GNSS и DORIS). ITRF постоянно обновляется за счет уточнения списка станций, обновления оборудования на станциях, увеличения периода наблюденных данных, улучшения методов расчета позиций. На данный момент доступна реализация ITRF2014 [5].

Отсчетная основа ITRF вносит свои возмущения в приращения внутрисуточных координат разноудаленных станций. Поэтому координаты полученные и интерпретированные в ITRF могут быть менее точными, нежели преобразованные к локальной системе координат [6].

Чтобы оценить, на сколько влияют преобразования внутрисуточных координат на их точность, нам нужно на что-то опираться, с чем-то сравнивать. Для этого на территории ИС

РАН 21.05.2020 (142 день) был проведен эксперимент на пункте POL9, который заключался в использовании геодезического координатного столика (3D-корректора). 3D-корректор дает возможность смещать установленную на него GPS антенну в трех перпендикулярных направлениях на известную величину с точностью до миллиметра. Эти фиксированные смещения антенны (рис.1) мы принимаем за эталон, с которым далее будем сравнивать рассчитанные смещения антенны после преобразования координат.



Рисунок 1 – Слева: 3D-корректор с установленной на него GPS антенной.

Справа: эталонные смещения антенны на пункте POL9 по направлениям а) север, б) восток, в) вверх. Ось абсцисс – эпоха измерения, ось ординат – смещение в мм

Помимо экспериментального GPS пункта POL9, были задействованы данные, которые поступают с 9 постоянно действующих GPS станций: POLY, POL7, POL2, IATA, CHUM, KAZA, TALA, PODG, KRTV (рис.2). На основе собранных данных для всех станций при помощи PPP (от Bernese) были рассчитаны внутрисуточные позиции в виде декартовых координат XYZ в отсчетной основе ITRF с дискретизацией в 30сек. (2878 эпох измерения = записей в сутки).

Поскольку нас интересуют относительные смещения каждой станции, для этого мы центрировали координаты, т.е. от каждой координаты на каждую эпоху вычитаем среднее значение за весь день (рис.3).

Далее приведена таблица, содержащая статистическую оценку относительных смещений XYZ координат для наблюдаемых станций в виде интервала вариаций (max-min) и среднеквадратичного отклонения.

За сутки станции координаты станций варьируют: вдоль X на 4-10.5 см (в среднем ~8) с отклонением в 0.5-2 см, вдоль Y на 11-20 см (в среднем 16) с отклонением в 1.5-2.5 см, по вертикали на 12-27 см (в среднем 17) с отклонением в 1.5-3 см.

Согласно таблице 1, выделяются станции, у которых интервал вариации по всем компонентам ниже средних значений: POLY, POL2, KAZA, KRTV. Из них станции POL2, KAZA также имеют значения СКО ниже среднего. А вот станции CHUM, POL9 имеют интервалы вариации и СКО выше средних значений.

На данном этапе не корректно сравнивать рассчитанные относительные смещения пункта POL9 с эталонными смещениями антенны (рис.1), поскольку координаты POL9 рассчитаны в декартовой геоцентрической системе XYZ и их нужно преобразовать в топоцентрическую систему координат NEU, в которой осуществлялись эталонные смещения. Начало топоцентрической системы координат привязано к определенной точке на поверхности земли. При переводе начала координат из центра масс Земли в эту точку положительное направление оси Y соответствует северу, а оси X – востоку. В системе NEU ось N направлена на север, а ось E – на восток, а ось U в геодезический зенит пункта.

За начало координат в топоцентрической системе мы взяли усредненную позицию по всем станциям за сутки и относительно этой точки рассчитали координаты наблюдаемых

станций. Затем также отнимая среднее, получили относительные смещения координат NEU в ITRF (рис. 4).

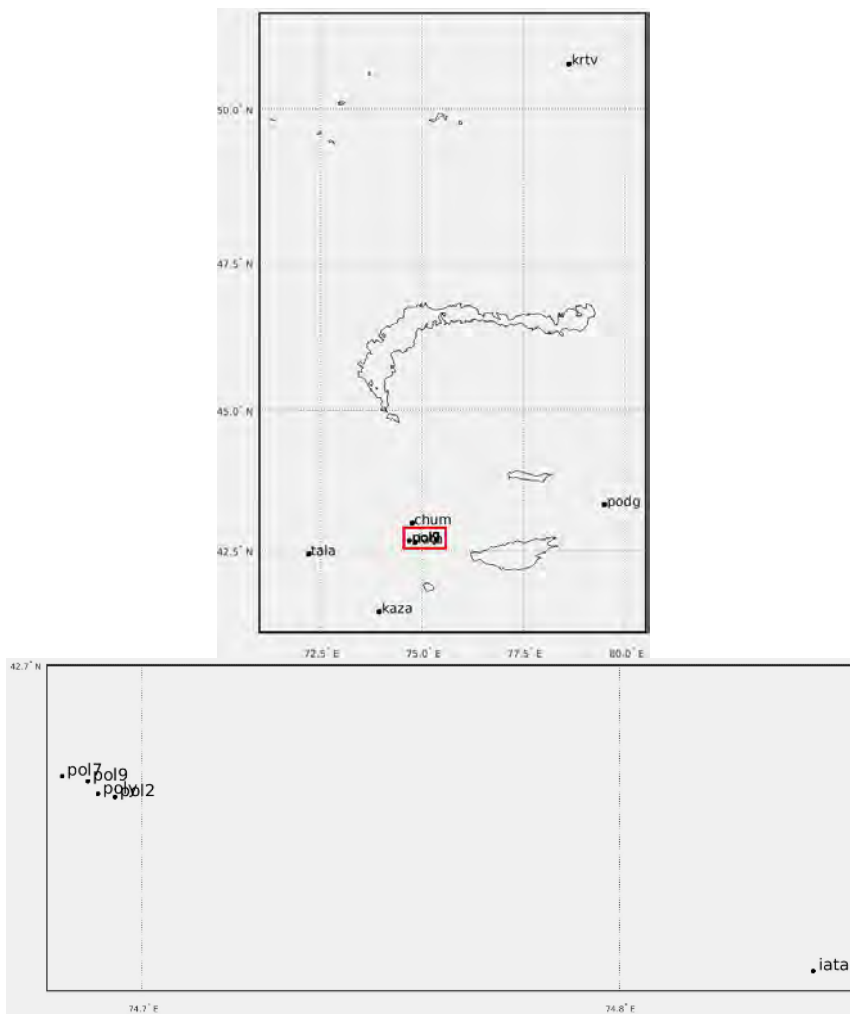


Рисунок 2 – Расположение перманентных GPS станций POLY, POL7, POL2, IATA, CHUM, KAZA, TALA, PODG, KRTV и экспериментального GPS пункта POL9

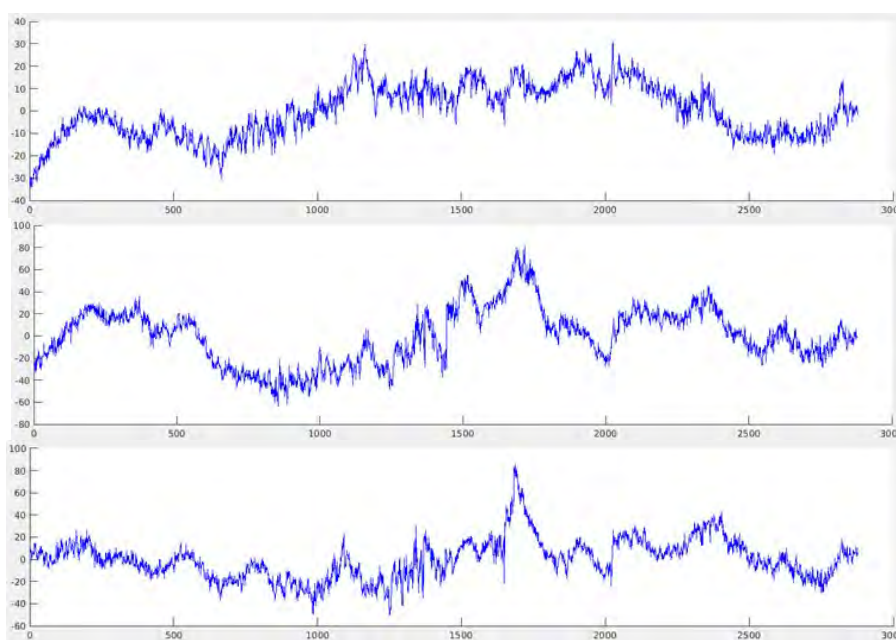


Рисунок 3 – Относительные смещения станции POLY (в ITRF) по компонентам X, Y, Z (сверху вниз). Ось абсцисс – эпоха измерения, ось ординат – относительные смещения в мм

Таблица 1 – Интервал вариаций и среднеквадратичное отклонение (СКО) для относительных смещений по каждой компоненте XYZ в ITRF

	Интервал вариаций, мм			СКО, мм		
	по X	по Y	по Z	по X	по Y	по Z
POLY	65.1	144.9	135.7	11.9	25.5	18.1
POL7	85.7	147.9	158.7	13.7	25.2	20.6
POL2	39.6	124.3	144.6	5.7	17.1	14.9
IATA	62.5	185.5	270.0	8.7	23.4	20.5
CHUM	91.7	196.9	201.0	15.8	25.2	26.8
KAZA	66.6	136.1	124.8	12.5	21.5	16.6
TALA	101.9	183.0	167.1	15.3	17.4	14.1
PODG	98.7	161.4	142.9	14.2	20.8	19.7
KRTV	45.6	108.6	164.1	8.2	16.5	21.1
POL9	105.1	187.7	248.7	18.8	24.6	28.6
MIN	39.6	108.6	124.8	5.7	16.5	14.1
AVR	76.2	157.6	175.8	12.5	21.7	20.1
MAX	105.1	196.9	270.0	18.8	25.5	28.6

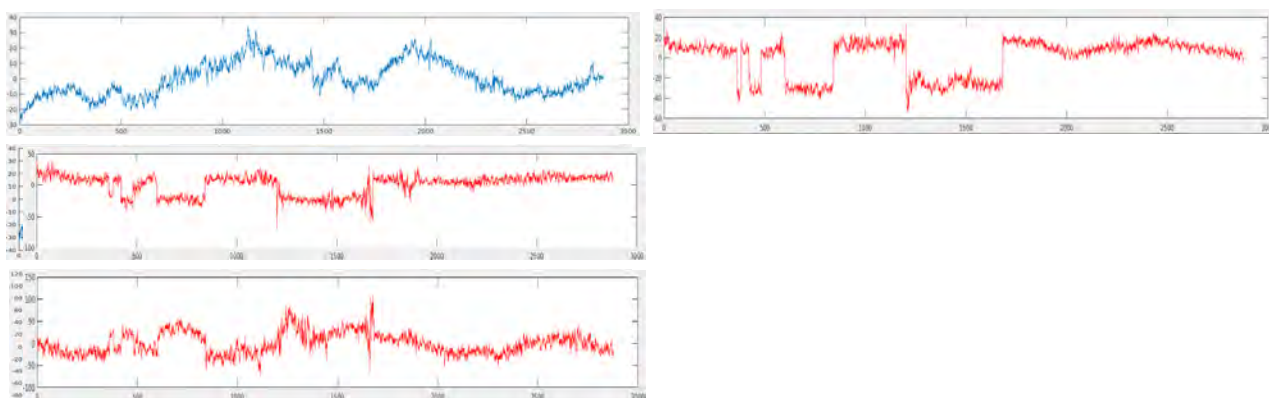


Рисунок 4 – Относительные смещения (в ITRF) станции POLY(слева), пункта POL9 (справа) по компонентам N,E,U (сверху вниз). Ось абсцисс – эпоха измерения, ось ординат – относительные смещения в мм

Далее приведена таблица, содержащая статистическую оценку относительных смещений NEU координат для наблюдаемых станций в виде интервала вариаций (max-min) и среднеквадратичного отклонения.

После перехода к топоцентрической системе координат наблюдаются следующие вариации для наблюдаемых станций: вдоль компоненты N 3.5-10 см (в среднем ~7) отклонением в 0.5-2 см, вдоль компоненты E 5.5-11.5 см (в среднем ~9) с отклонением в 1-2 см, по вертикали 17.5-31 см (в среднем 22.5) с отклонением в 2-3.5 см.

Согласно таблице, те же станции POLY, POL2, KAZA, KRTV имеют интервал вариации по всем компонентам ниже средних значений. Но теперь уже три из них POL2, KAZA, KRTV также имеют низкие значения СКО. Станции CHUM, POL9 так же имеют наибольшие интервалы вариации и СКО по сравнению с остальными станциями.

Таблица 2 – Интервал вариаций и среднеквадратичное отклонение (СКО) для относительных смещений по каждой компоненте NEU в ITRF

	Интервал вариаций, мм			СКО, мм		
	по N	по E	по U	по N	по E	по U
POLY	61.5	67.3	190.4	10.9	10.4	29.9
POL7	77.4	84.7	218.6	11.5	10.2	31.7
POL2	34.8	69.0	189.8	5.5	9.6	20.6
IATA	51.3	112.1	313.0	8.2	11.4	29.1
CHUM	94.6	104.9	266.5	15.7	14.5	33.9
KAZA	58.7	56.4	174.2	11.4	8.0	26.5
TALA	98.3	114.1	221.2	13.4	10.4	21.1
PODG	69.4	66.6	202.2	12.1	7.6	28.6
KRTV	47.7	85.5	188.4	7.5	9.9	25.1
POL9	94.0	110.6	291.4	18.8	17.1	33.6
MIN	34.8	56.4	174.2	5.5	7.6	20.6
AVR	68.8	87.1	225.6	11.5	10.9	28.0
MAX	98.3	114.1	313.0	18.8	17.1	33.9

Поскольку отсчетная основа ITRF базируется на большом количестве GPS станций, которые удалены от нас на значительные расстояния, это вносит дополнительные внешние возмущения в вариации координат наших станций. Поэтому чтобы исключить влияние внешнего воздействия мы перейдем к локальной топоцентрической системе координат NEU в LOC, что должно способствовать стабилизации координат, а значит и повышению их относительной точности [6]. Остается вопрос, какие станции выбрать в качестве опорны для перехода к локальной системе координат NEU. Мы решили использовать два подхода: сначала мы оценим на сколько насколько приращения координат станции синхронны с приращениями для другой станции, затем мы будем учитывать близость их расположения к экспериментальному пункту POL9.

Метод определения оптимального набора станций для локальной системы отсчета по синхронности изменения (приращения) центрированных координат на основе коэффициента корреляции. Для каждой станции, за исключением POL9, мы выстроили центрированные координаты NEU (в ITRF) в последовательность N,E,U и рассчитали коэффициенты корреляции для полученных наборов вариаций (рис.5).

Максимальные значения корреляции наблюдается для станций POLY, POL7, POL2 и составила (POLY, POL7)=0.794, (POLY, POL2)=0.601, (POL7, POL2)=0.521. Минимальные значения корреляции не достигают и -0.3. Далее к рассчитанным коэффициентам корреляции (КК) применим кластеризацию, которая позволит разбить набор наблюдаемых станций на группы-кластеры. В каждой группе окажутся станции с наиболее близкими по значению КК. А чтобы рассчитать расстояния между парой кластеров вычислим среднее расстояние между всеми парами объектов в них, т.е. воспользуемся методом невзвешенного попарного арифметического среднего [7]. Получаем следующие группы станций и соответствующие коэффициенты корреляции:

$$(POLY+POL7) = 0.794,$$

$$(POLY+POL7) + POL2 = 0.561,$$

$$((POLY+POL7) + POL2) + IATA = 0.435,$$

$$(((POLY+POL7) + POL2) + IATA) + CHUM = 0.301,$$

$$\begin{aligned}
 &(((\text{POLY}+\text{POL7}) +\text{POL2}) +\text{IATA}) +\text{CHUM}) +\text{KAZA}=0.170, \\
 &(\text{TALA}+\text{PODG})=0.339, \\
 &(\text{TALA}+\text{PODG})+\text{KRTV}=0.281, \\
 &\{(((\text{POLY}+\text{POL7}) +\text{POL2}) +\text{IATA}) +\text{CHUM}) +\text{KAZA}\} +\{(\text{TALA}+\text{PODG})+\text{KRTV}\}=-0.023.
 \end{aligned}$$

На основе приведенных выше расчетов построим дендрограмму (рис.6).

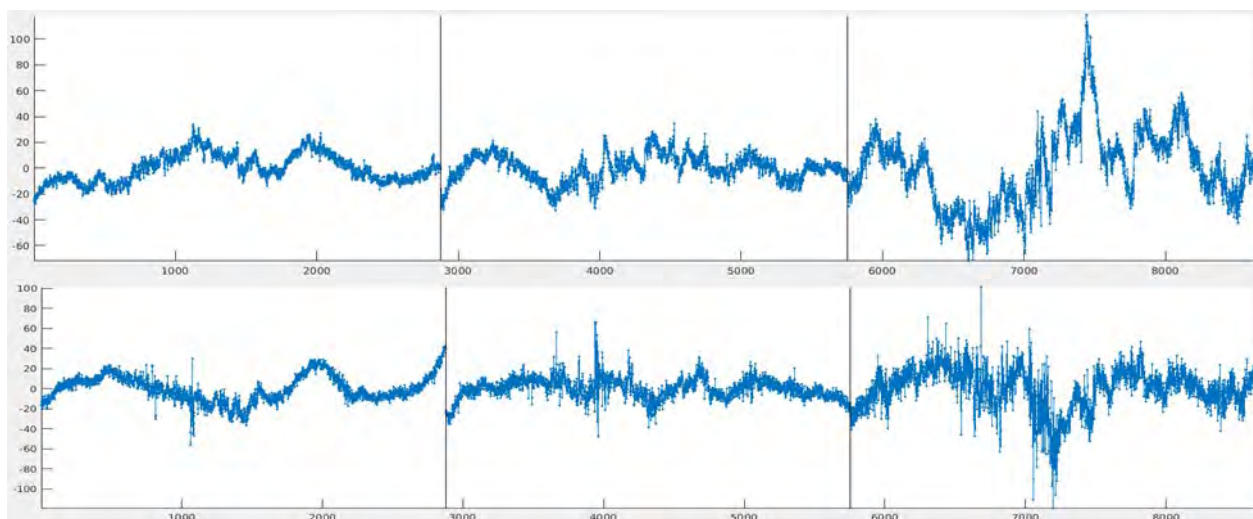


Рисунок 5 – Набор вариаций N,E,U (в ITRF) станции POLY(сверху), TALA (снизу). Ось абсцисс – порядковый номер, ось ординат – относительные смещения в мм

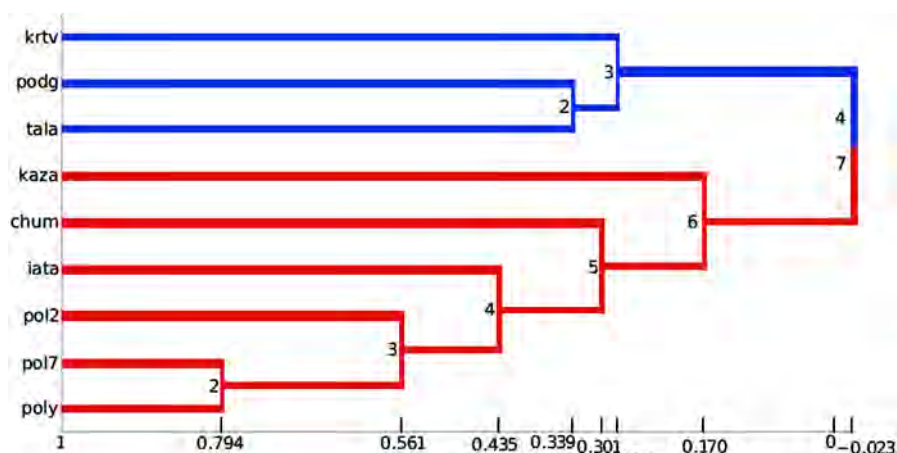


Рисунок 6 – Дендрограмма на основе коэффициентов корреляции (по горизонтали) между группами GPS станций (по вертикали). Цифры на графике – номер кластера

Из рисунка видно, что выделяются 2 больших кластера, которые обозначены синим для станций TALA, PODG, KRTV и красным цветом для станций POLY, POL7, POL2, IATA, CHUM, KAZA.

Станции из каждого кластера будем считать опорными, на их основе перейдем к локальной топоцентрической системе координат и пересчитаем координаты всех станций. Для этого положение точки отсчета системы будет рассчитываться на каждую эпоху как средняя координата между опорными станциями. А чтобы оценить, на сколько мы повлияли на относительную точность координат, сравним рассчитанные относительные вариации POL9 с эталонными, рассчитав эвклидово расстояние между ними (рис.7). Чем меньше его значение, тем ближе рассчитанные смещения к эталонным.

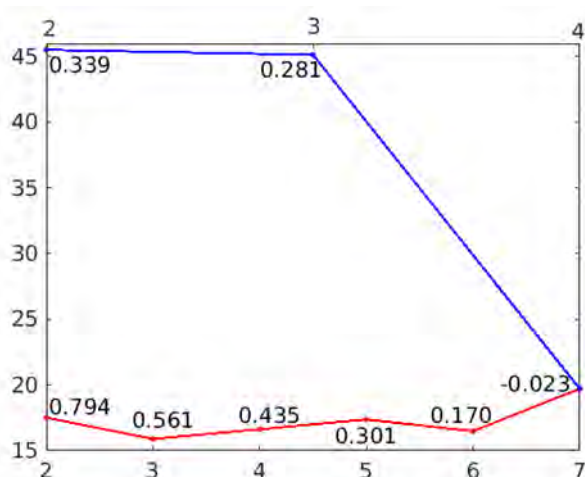


Рисунок 7 – Среднее эвклидово расстояние между рассчитанными вариациями POL9 и эталонными (3D-корректор). Шкала по вертикали – среднее эвклидово расстояние в мм, горизонтальная верхняя шкала – номер кластера с «синей» ветви, горизонтальная нижняя шкала – номер кластера с «красной» ветви(рис.6). Подписи на графике – коэффициенты корреляции между станциями в кластере(рис.6)

Из рисунка видно, если в качестве опорных мы выберем три станции POLY, POL7, POL2, то переход к локальной системе даст нам лучшую стабилизацию относительных вариаций пункта POL9.

Метод определения оптимального набора станций для локальной системы отсчета по близости (по минимальной дистанции) к POL9. Наблюдаемые перманентные GPS станции относительно экспериментального пункта POL9 располагаются по удаленности в следующем порядке (в км): самая ближайшая POLY – 0.293, POL7 – 0.456, POL2 – 0.548, IATA – 12.885, CHUM – 35.528, KAZA – 156.774, TALA – 205.218, PODG – 397.550, самая удаленная KRTV – 941.018. В качестве опорной сначала будем считать самую близкую POLY, рассчитаем относительно ее координаты POL9 и сравним их приращения с эталонными, таким же образом, как и в предыдущем методе. Повторим эти шаги, добавляя по одной станции к опорным по мере их удаленности (рис.8).

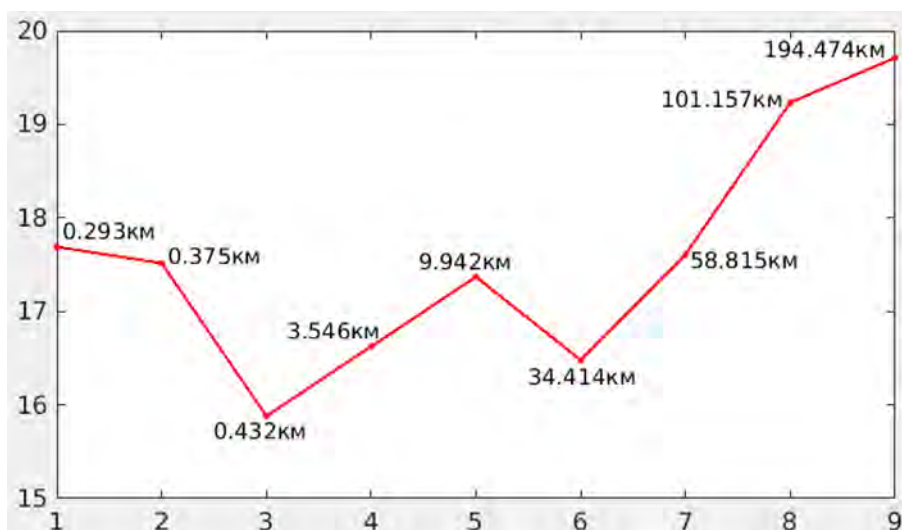


Рисунок 8 – Среднее эвклидово расстояние между рассчитанными вариациями POL9 и эталонными (3D-корректор). Шкала по вертикали – среднее эвклидово расстояние в мм, горизонтальная шкала – количество опорных станций с учетом их удаленности от POL9.

Подписи на графике – среднее расстояние между POL9 и опорными станциями

В качестве опорных наиболее подходящими являются три станции POLY, POL7, POL2, которые наиболее близко расположены к экспериментальному пункту POL9 в пределах 0.5км.

Станции, выбранные в качестве опорных на основании двух методик, совпадают. Приведем статистическую оценку относительных смещений NEU координат для наблюдаемых станций при переходе к локальной топоцентрической системе на основе 3 станций POLY, POL7, POL2 – LOC-3.

Таблица 3 – Интервал вариаций и среднеквадратичное отклонение (СКО) для относительных смещений по каждой компоненте NEU в LOC-3

	Интервал вариаций,мм			СКО,мм		
	по N	по E	по U	по N	по E	по U
POLY	36.5	29.3	87.3	6.0	4.2	10.6
POL7	41.1	44.2	113.3	5.4	4.9	13.5
POL2	29.4	31.6	94.3	6.1	3.9	16.1
IATA	63.3	114.0	265.2	9.8	10.2	28.1
CHUM	130.0	147.7	224.4	19.4	16.2	30.0
KAZA	63.4	76.0	178.6	10.4	9.6	26.3
TALA	117.2	139.9	290.7	15.8	14.0	35.4
PODG	76.7	96.0	264.0	14.8	11.3	38.2
KRTV	66.7	104.7	292.9	8.5	12.4	36.0
POL9	88.4	108.2	181.5	18.2	16.1	24.6
MIN	29.4	29.3	87.3	5.4	3.9	10.6
AVR	71.3	89.2	199.2	11.4	10.3	25.9
MAX	130.0	147.7	292.9	19.4	16.2	38.2

Станции POLY, POL2, POL7 имеют наименьшие интервалы вариации и значения СКО по всем компонентам, поскольку являются опорными. Станции CHUM, PODG имеют наибольшие интервалы вариации и СКО по сравнению с остальными. Улучшились показатели смещений для пункта POL9 по сравнению с расчетами из табл.2: по горизонтали на 2-6мм (СКО на 0.5-1мм), по вертикали на 11мм (СКО на 9мм).

Подводя итоги можно сказать, что применение геодезического координатного столика позволяет формировать известные приращения координат и использовать их в качестве эталона для анализа внутрисуточных координат. Переход от глобальной геоцентрической системы отсчета в ITRF к локальной топоцентрической системе координат позволяет уменьшить интервал вариаций, тем самым повысив устойчивость координат. Для экспериментального GPS пункта POL9 оба рассмотренных метода по определению опорных станций для локальной системы отсчета (на основе КК и по удаленности станций) дают одинаковые результаты. И чем ближе друг к другу станции, тем лучше синхронизируются их внутрисуточные вариации. Для выбранной группы опорных станций POLY, POL7, POL2 на данной исследуемой территории наблюдается повышение устойчивости для экспериментальной станции на 2-6мм в горизонтальном плане и на 11 мм по вертикали.

Автор работы выражает благодарность своему научному руководителю к.ф.-м.н., заведующему ЛГПС ИС РАН С.И. Кузикову за совместное проведение работ и рекомендации по оформлению статьи, а также м.н.с. ЛГПС ИС РАН Д.В. Кенигсбергу за предоставление исходных данных для анализа.

Литература

1. Example of the usage of track http://geoweb.mit.edu/~tah/track_example/ (Ссылка доступна 15 марта 2022).
2. Саламатина Ю.М. Зависимость точности внутрисуточного GPS позиционирования от конфигурации созвездия спутников // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XIII Междунар. конф. молодых ученых и студентов (г. Бишкек, 28-30 апреля 2021 г.) / Под ред. Забияковой О.Б. Бишкек: НС РАН. 2021. С. 168-173.
3. Dach R, Lutz S, Walser P and Fridez P 2018 Bernese GNSS Software, Version 5.2 (Bern:AIUB) 826 p
4. Кенигсберг Д.В. Сравнение алгоритмов расчета внутрисуточных позиций в программном комплексе Bernese // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XIII Междунар. конф. молодых учёных и студентов (г. Бишкек, 28-30 апреля 2021 г.) / Под ред. Забияковой О.Б. Бишкек: НС РАН. 2021. С. 81-86.
5. ITRF | Homepage – IGN <https://itrf.ensg.ign.fr/> Ссылка доступна 15 марта 2022)
6. Kenigsberg D.V., Salamatina Yu.M., Prokhorov O.A. and Kuzikov S.I. Convergence of daily mean coordinates of precise positioning methods /IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 929 (2021) 012014 doi:10.1088/1755-1315/929/1/012014
7. Котов А., Красильников Н. Кластеризация данных. 2006. 16 с.
8. Воробьев Н.И., Свиридова О.В., Кутузова Р.С. Методические рекомендации по использованию граф-анализа в исследованиях систем, состоящих из биотических и абиотических компонентов (2-е изд.). СПб.: ГНУ ВНИИ СХМ. 2006. 58 с.

МАГНИТУДНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КАРАТАУ

Сейнасинов Н.А.^{1,2}, Михайлова Н.Н.¹
anurbek1122@gmail.com

¹ Филиал «Институт геофизических исследований» РГП Национального ядерного центра Республики Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан

² Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

Изучена эффективность регистрации событий разной магнитуды по результатам работы сейсмической группы Каратау за более, чем 10-летний период. Исследована зависимость магнитудной чувствительности от азимута прихода сейсмических волн. Показано, что в разных направлениях, например Северный Тянь-Шань и Памиро-Гиндукуш, станция обладает разными возможностями в регистрации слабых землетрясений на одном и том же расстоянии.

Ключевые слова: сейсмическая группа Каратау, магнитуда, азимутальная зависимость.

Введение. В 1994 году на территории Казахстана начала сейсмическую регистрацию новая цифровая сеть сейсмических станций филиала ИГИ НЯЦ РК, основными задачами которой являются мониторинг ядерных испытаний и землетрясений в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний [1]. В ее состав входят 7 трехкомпонентных станций, 5 сейсмических групп (СГ). Данные этой системы используются для задач глобального и регионального сейсмического мониторинга. Они передаются в Международные центры для составления мировых сейсмологических бюллетеней (REB, ISC, EMSC, ГС РАН) и проведения научных исследований учеными в разных странах (IRIS/DMC), а также используются в задачах, стоящих перед Республиканской системой сейсмических наблюдений [1]. Одной из наиболее эффективных в мониторинге является сейсмическая группа Каратау, которая работает уже почти 20 лет. Анализу ее возможностей посвящена настоящая работа.

Система наблюдений. Каратау (KKAR), расположена в Жамбылской области Казахстана, в высокосейсмичном районе Центральной Азии [2], по вкладу в сейсмический бюллетень Центра данных она занимает второе место после сейсмической группы Маканчи. Кроме того, Каратау играет важную роль в сейсмическом мониторинге ядерных испытаний, так как является чувствительной станцией и расположена на региональных расстояниях от испытательных ядерных полигонов Азии (Похаран, Чагай, Лобнор). СГ Каратау зарегистрировала, участвовала в обработке ядерных испытаний в Северной Корее [3].

В связи с этим, исследование эффективности и чувствительности СГ Каратау является актуальной задачей.

Сейсмическая группа «Каратау» была построена в соответствии с «Соглашением между Республикой Казахстан и Соединенными Штатами Америки об установке и эксплуатации в Казахстане станций сейсмического мониторинга ядерных испытаний» от 18.11.1997 г, а также в рамках контракта ИГИ с компанией «Honeywell», Air Force Technical Applications Center (AFTAC) в Южном Казахстане построена. Открытие станции состоялось в 2002 г. [4]. Сейсмическая группа «Каратау» состоит из 10 точек наблюдения, расположенных по двум окружностям с одной центральной точкой. Апертура группы 4 км. На 9 пунктах в пробуренных скважинах установлено 9 однокомпонентных сейсмометров GS21. Кроме того, имеется одна широкополосная трехкомпонентная станция с сейсмометром KS54000 (пункт КК31) [4].

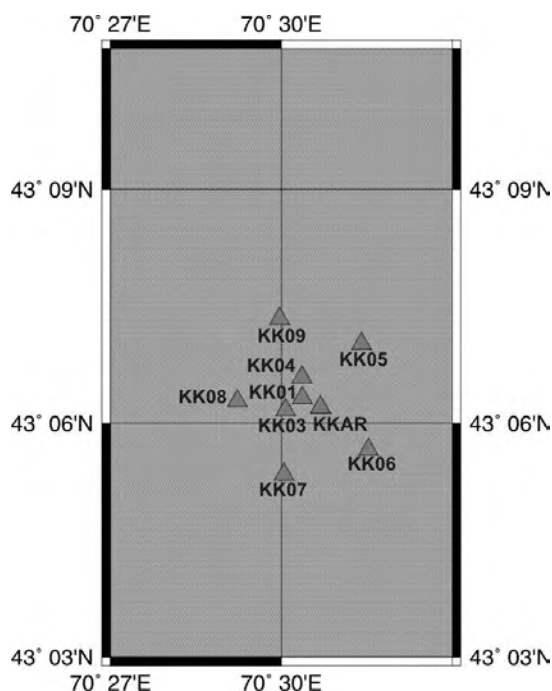


Рисунок 1 – Схема расположения элементов СГ Каратау.

Станция расположена вдали от источников техногенных помех, в связи с чем разница уровня спектральной плотности шума в ночное и дневное время незначительна [5]. Для станции ККАР характерны шумы, близкие к нижеуровневой мировой модели шума, что обеспечивает ее высокую эффективность в работах как по региональному, так и глобальному сейсмическому мониторингу [5].

Анализ магнитудной чувствительности. Начиная с 2003 года Казахский Национальный Центр данных (КНЦД) создает на регулярной основе региональный сейсмический бюллетень. В рутинной обработке КНЦД для составления регионального сейсмического бюллетеня используются магнитуда m_{rv} с использованием калибровочной кривой Михайловой Н.Н., Неверовой Н.П. [6], энергетический класс K [7], а также магнитуда m_b с использованием калибровочной кривой Veith K.F., Clawson G.E. [8].

Для настоящей работы по изучению магнитудной чувствительности из совместного бюллетеня КНЦД за период 2010-2020 гг. были выбраны те события, в обработке которых участвовала СГ Каратау. Количество таких событий составило ~ 45000 . На рисунке 2 представлена карта эпицентров всех событий, зарегистрированных группой Каратау. Видно, что наибольшее количество эпицентров землетрясений расположено к югу, юго-востоку и востоку от Каратау. К северу и северо-востоку сейсмических событий с участием Каратау гораздо меньше, это связано с тем, что большая часть Казахстана является стабильной платформой, такие районы, как правило, слабосейсмичны.

На рисунке 3 приведены зависимости m_{rv} и K от расстояния для станции ККАР. В таблице приведены значения K_{min} , $K_{предст}$, $m_{rv_{min}}$ и $m_{rv_{предст}}$ для станции ККАР по всем событиям из выборки. Анализируя графики, отметим, что СГ Каратау является очень эффективной и чувствительной станцией во всем диапазоне расстояний.

Аналитиками КНЦД был отмечен факт, что в сторону востока от станции не регистрируются события, аналогичные по энергии уверенно регистрируемым событиям с юга от станции. Для исследования азимутальной магнитудной чувствительности СГ Каратау были рассмотрены выборки по истинному азимуту на Памир-Гиндукуш (150–210 градусов, количество событий 32202), а также по истинному азимуту 60–120 градусов по направлению на г. Алматы Северный Тянь-Шань (количество 1893).

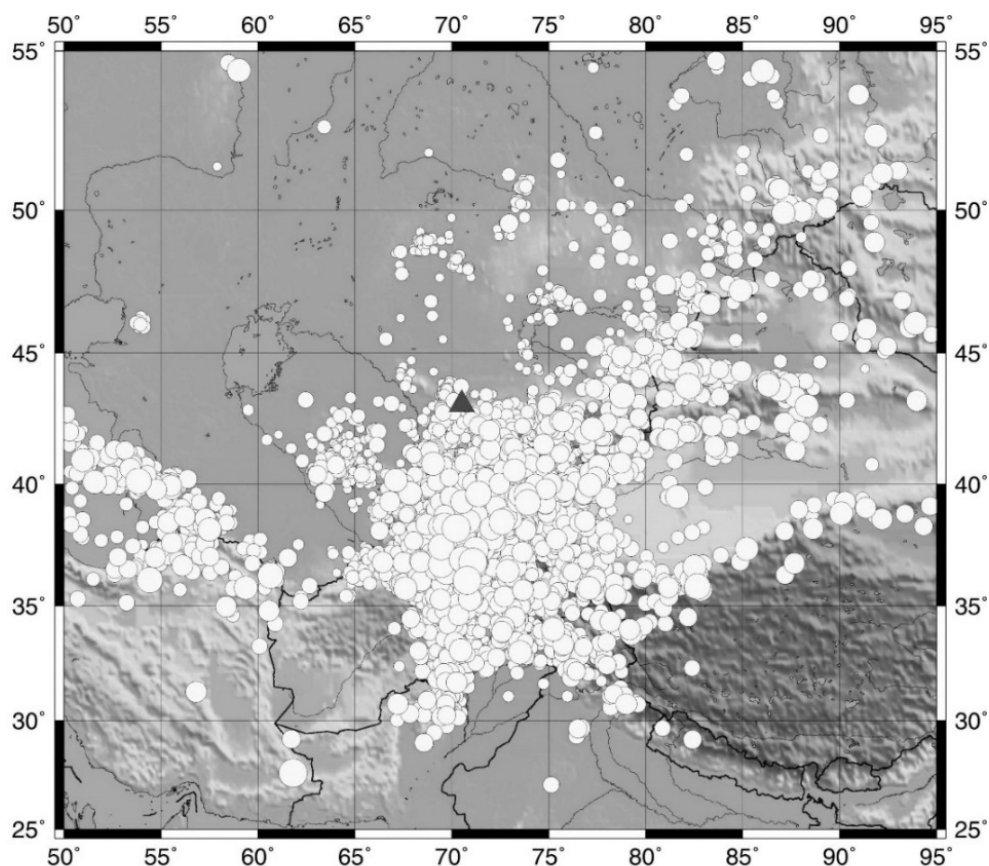


Рисунок 2 – Карта эпицентров сейсмических событий из бюллетеня КНЦД, в обработке которых участвовала СГ ККАР (синий треугольник) за 2010–2020 гг.

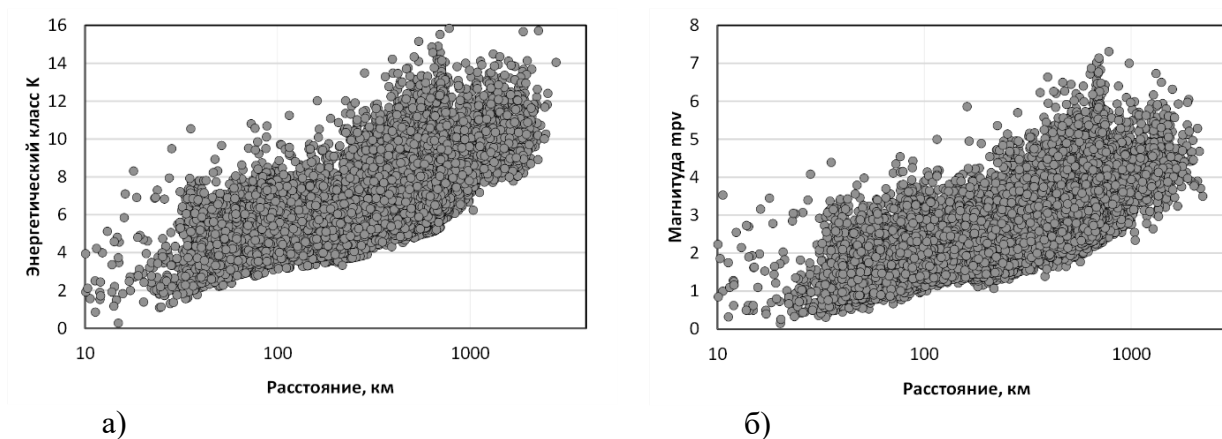
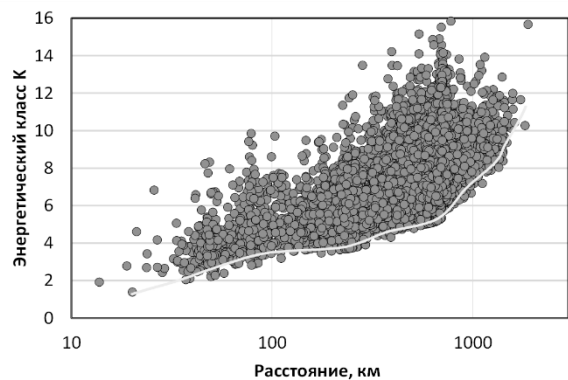
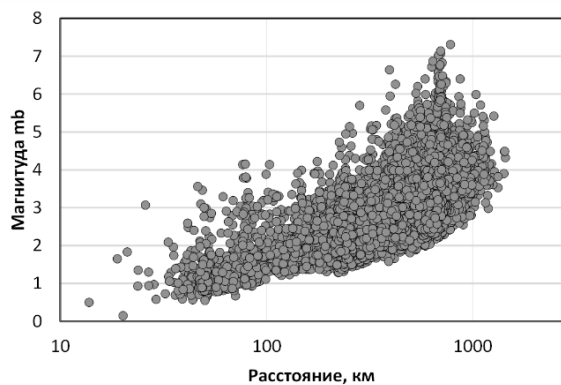


Рисунок 3 – Графики дальности регистрации землетрясений по данным сейсмической группы Каратау для К (а) и m_{prv} (б)

Ниже приведены результаты сопоставления графиков К и m_{prv} от расстояний для событий из 2-х районов (рисунки 4, 5). На рисунке 6 приведены заключительные кривые зависимости от расстояний представительных значений К для событий из створа на Памир-Гиндукуш и Северный Тянь-Шань. Из сопоставления видно, что для района Тянь-Шаня, начиная с 300–400 км кривая по К значительно выше, чем для района Памира-Гиндукуша. Максимальная разница может достигать двух единиц энергетического класса. Это говорит о том, что сейсмическая группа Каратау гораздо более чувствительна в отношении южных событий, чем восточных.

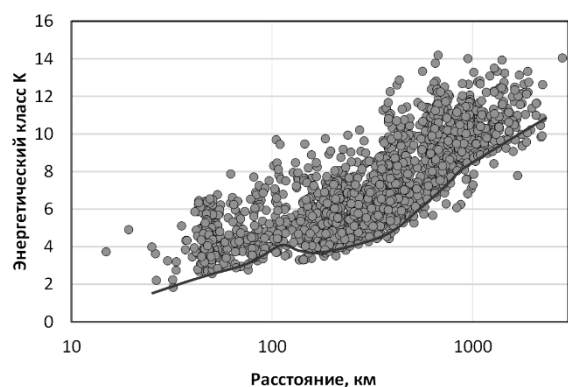


а)

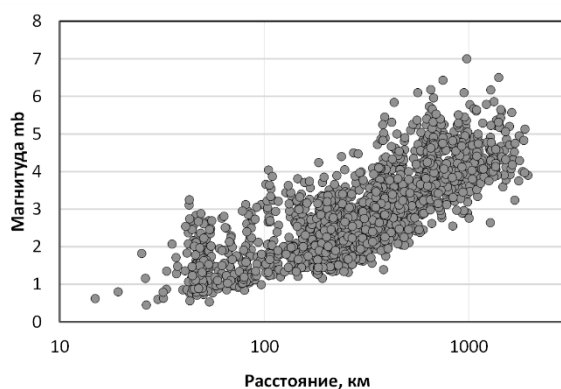


б)

Рисунок 4 – График дальности регистрации землетрясений по данным сейсмической группы Каратау по истинному азимуту 150–210 градусов на Памир-Гиндукуш по К (а) и m_b (б)



а)



б)

Рисунок 5 – График дальности регистрации землетрясений по данным сейсмической группы Каратау по истинному азимуту 60–120 градусов по направлению на г. Алматы Северный Тянь-Шань по К (а) и m_b (б)

Ранее аналогичный эффект был отмечен в работе [9] в отношении сейсмической группы Маканчи. На рисунке 7 ось абсцисс – расстояние от события до станции PS23 Маканчи в градусах, ось ординат – магнитуда события m_b , сплошная линия – уровень представительной магнитуды, определенный в соответствии с графиками повторяемости. Изучены азимутальные различия в чувствительности станции PS23-Маканчи. Для этого все события, зарегистрированные станцией в 2003 г., разделены на две группы. В одну группу вошли события, произошедшие в северо-восточном направлении от станции PS23-Маканчи – события с азимутом подхода от 0 до 60 градусов. Таких событий в 2003 г. зарегистрировано 1385. Во вторую группу вошли события, произошедшие в юго-западном направлении от станции PS23-Маканчи – события с азимутом подхода от 180 до 240 градусов. В эту группу вошло 1875 событий. Для каждой из групп построены графики зависимости магнитуды зарегистрированных событий от расстояния до станции PS23-Маканчи и проведены огибающие по минимальным и представительным значениям магнитуд. Из рисунка 7 можно видеть, что с удалением от станции, разница в чувствительности станции к событиям, произошедшим в разных направлениях, растет. Так, например, на расстоянии 10 градусов разница в уровне минимальных магнитуд достигает 0.9 единиц магнитуды (магнитуда 3.5 для событий из северо-восточного направления по сравнению с магнитудой 2.6 для событий из юго-западного направления). Было высказано предположение о возможных причинах такого явления. После изучения данных по Каратау можем утверждать, что, скорее всего, такие расхождения связаны с геологическим строением на пути распространения сейсмических волн, причем на больших глубинах, соответствующих глубокой коре и верхней мантии.

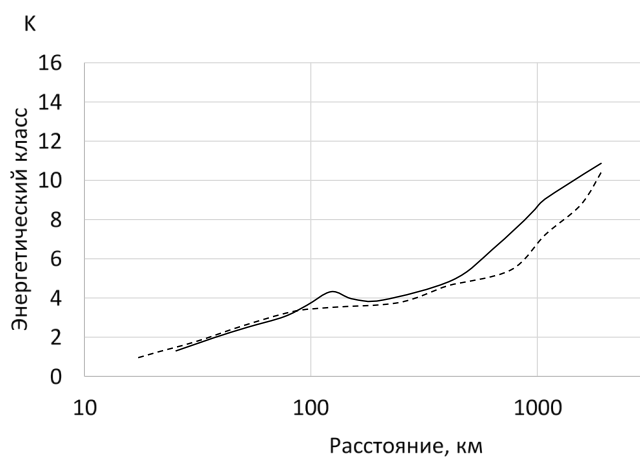


Рисунок 6 – Сопоставление зависимости минимальных К для событий из створа на Памир-Гиндукуш (пунктир) и Тянь-Шань (сплошная линия)

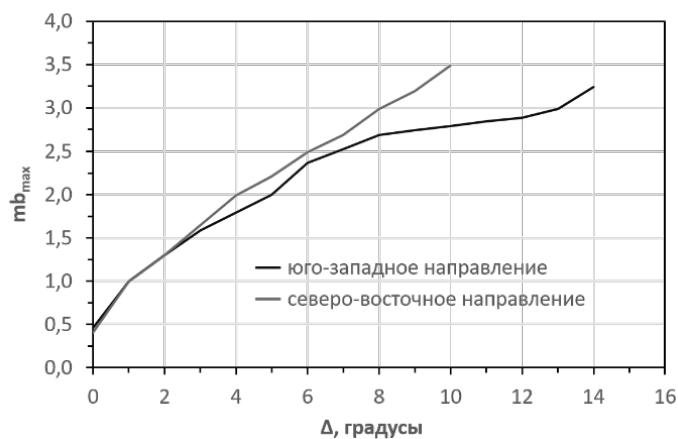


Рисунок 7 – График азимутальных различий в чувствительности станции PS23-Маканчи

Различие в уровнях графиков начинается, как и в случае с Каратау, на 300–400 км. По абсолютным значениям разница достигает 0.7–0.9 единиц магнитуды mb. Это примерно то же, что мы наблюдаем и по Каратау, только по Маканчи график построен в магнитудах, а по Каратау в классах.

Этот факт подтверждается и картой минимальных энергетических классов по сейсмическим группам (рисунок 8). Видна асимметрия в значениях энергетических классов сейсмических событий вокруг Каратау. На юг от станции слабые события регистрируются на больших расстояниях, чем на восток.

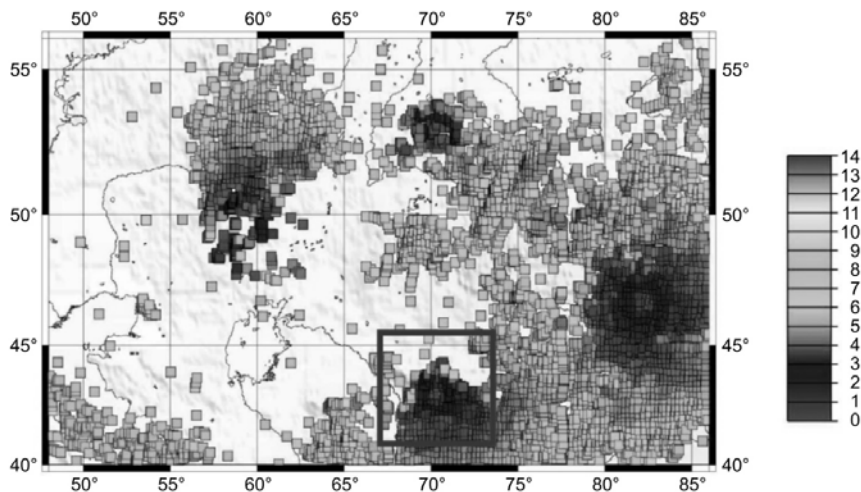


Рисунок 8 – Карта минимальных энергетических классов К по сети ИГИ НЯЦ РК. Красный квадрат отмечает область вокруг станции Каратау

Заключение.

1. По станции Каратау сделана оценка предельных и представительных значений магнитуд и энергетических классов на разных расстояниях. Получен вывод о том, что станция Каратау является одной из самых эффективных в сейсмическом мониторинге Центральной Азии.
2. Отмечена четкая азимутальная зависимость в магнитудной чувствительности регистрируемых землетрясений на юг и восток от станции.
3. Исследования по этому направлению будут продолжены для установления причин резкого различия магнитудной чувствительности на разных азимутах. Предполагается изучение влияния разного поглощения сейсмических волн от источников на разных глубинах (коровых и глубокофокусных).

Исследование выполнено при поддержке финансирования Министерством Энергетики Республики Казахстан (программа BR09158470).

Литература

1. Mikhailova N.N., Sokolova I.N. Monitoring system of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre 2016 January-June. 2019. V. 53. Issue 1. P. 27–38.
2. Михайлова Н.Н., Вольф Н.А., Синёва З.И. Сейсмичность районов, окружающих новые сейсмические группы Маканчи и Каратау // Вестник НЯЦ РК. 2003. Вып. 2 (14). С. 94–99.
3. Узбеков Р.Б., Сейнасинов Н.А. Ядерное испытание в Северной Корее в 2016 году // Вестник НЯЦ РК. 2016. Вып. 4 (68). С. 85–91.
4. Марченко В.Г., Неделков А.И., Комаров И.И. Новая сейсмическая группа “Каратау” в Казахстане // Вестник НЯЦ РК. 2002. Вып. 2 (10). С. 9–13.
5. Михайлова Н.Н. Комаров И.И. Спектральные характеристики сейсмического шума по данным казахстанских станций мониторинга // Вестник НЯЦ РК. 2006. Вып. 2 (26). С. 19–26.
6. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Калибровочная функция для определения магнитуды MPVA землетрясений Северного Тянь-Шаня // Комплексные исследования на Алма-Атинском прогностическом полигоне. Алма-Ата: Наука. 1986. С. 41–47.
7. Раутиан Т.Г. Об определении энергии землетрясений на расстояниях 3000 км. // Труды ИФЗ АН СССР. 1964. № 32 (199). С. 72–98.
8. Veith K.F., Clawson G.E. Magnitude from shortperiod P-wave data // Bulletin of the Seismological Society of America. 1972. Vol. 62. No. 2. P. 435–452.
9. Михайлова Н.Н., Синева З.И. Оценка эффективности сейсмической группы PS23-Маканчи при регистрации региональных и телесеизмических событий // Вестник НЯЦ РК. 2004. Вып. 2 (18). С. 13–21.

ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СЕЙСМОБИОМОНИТОРИНГА СЕЙСМООПАСНОЙ ЗОНЫ АЛМАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

Серазетдинова Б.З., Нью В.А., Ариффулова И.И., Суровцева Н.В.

bella80@mail.ru, nu_viktoriya@mail.ru, arif_irina@mail.ru, natali.s71@mail.ru

Институт сейсмологии Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Казахстан, г. Алматы, Республика Казахстан

На территории Казахстана наиболее сейсмическую активность проявляет земная кора Северного Тянь-Шаня, у подножья которого находится город Алматы. Как известно, здесь в 19-20 веках происходили сильные и разрушительные землетрясения. В целях обеспечения сейсмической безопасности от их последствий создана наземно-космическая система мониторинга современных геодинамических и сейсмических процессов. В состав такой системы включены сейсмобиологические наблюдения.

Ключевые слова: методы, технология обработки данных, землетрясение, биополигон, биопредвестники, сейсмобиомониторинг.

Проблема выделения полезного сигнала в поведении животных, обусловленного сейсмическим процессом, в большей степени зависит от качества и эффективности работы наблюдательной сети.

Основное требование к сети для всех видов наблюдений, в том числе и биологических – сосредоточение пунктов наблюдений в сейсмоопасных регионах и сведение влияния антропогенных помех к минимуму. В связи со спецификой биологических наблюдений наиболее важными требованиями к системе сейсмобиомониторинга являются:

- выбор территории для размещения биологических пунктов наблюдений в сейсмически опасном регионе;
- выбор информативных объектов наблюдения;
- определение стандартного видового и количественного набора животных, достаточного для получения статистически значимых данных;
- объективизация наблюдений при использовании автоматизированных комплексов регистрации активности животных, работающих в непрерывном режиме;
- обеспечение бесперебойной работы связи для передачи информации в центр анализа.

Для поиска наиболее эффективных биологических критериев в системе комплексного краткосрочного прогноза в 1985 – 2021 гг. реализованы основные этапы выполнения научно-методических работ, из которых важнейшим является создание экспериментальной базы – биополигона, представляющего собой локальную сеть сейсмобиологических наблюдений за поведением животных. В настоящее время биологическая информация поступает из 5 биостационаров (б/с), расположенных в сейсмически опасных зонах в пределах координат Алматинского прогностического полигона $\varphi = 42^\circ - 44^\circ$, $\lambda = 75^\circ - 80^\circ$

Технология обработки данных сейсмобиомониторинга сейсмоопасной зоны Алматинского полигона включает следующие основные этапы:

1. Анализ фоновых значений вариаций активности животных.
2. Выявление аномальных периодов вариаций активности животных.
3. Оценка длительности и амплитуды аномальных периодов.
4. Генетическая классификация аномалий в поведении животных.
5. Анализ времени формирования аномальных периодов у одних и тех же видов животных на разных пунктах наблюдений.

6. Анализ пространственно-временных закономерностей формирования аномалий у животных различных систематических групп.
7. Анализ массовости возникновения и развития аномалий.
8. Прогнозные оценки аномалий по месту, времени и силе ожидаемого землетрясения.

Наблюдения за поведением животных в условиях сейсмобиомониторинга позволяют выявить ранние признаки отклонений от фона, возникновение и развитие аномалий в пространстве и во времени. На пунктах наблюдений используются животные различных систематических групп, обладающие специфическими сенсорными возможностями восприятия таких внешних факторов как ультра- и инфразвуки, высоко- и низкочастотные колебания, вибрации, газовые компоненты и др. Из более 65 видов был осуществлен выбор наиболее информативных биообъектов исследования (дикобразы, кролики, змеи, ящерицы, гекконы, мешкожаберные сомы, волнистые попугайчики, голуби, куры-бентамки), которые находятся в полувольных условиях содержания (вольеры, террариумы, аквариумы, клетки). Это позволяет в комплексе с анализом вариаций регистрируемых на полигоне геофизических полей выявить стадии развития сейсмического процесса и подготовки землетрясений.

Для оценки информативности активности животных используются визуальные и инструментальные наблюдения.

Технология обработки данных визуальных наблюдений

Для получения круглосуточной информации созданы универсальные методики визуальных наблюдений и программные средства обработки биологических данных. Наблюдения за поведением животных на сейсмобиостационарах проводятся с дискретностью 3 часа: в 06, 09, 12, 15, 21, 24 часа. Результаты заносятся в информационные карты, разработанные для каждого вида животных, находящихся под наблюдением.

Для обработки биологических данных разработаны программы, позволяющие архивировать закодированные в цифровом виде данные наблюдений за поведением животных на биополигоне, преобразовывать биологическую матрицу во временные ряды с последующим представлением данных о поведении животных (этограмму) в графическом виде для анализа активности животных, выявления аномалий в их поведении для краткосрочного прогноза землетрясений [1].

Так, например, для оценки активности рептилий Серазетдиновой Б.З. [1] была разработана экспресс-шкала, позволяющая определять степень активности террариумных животных. Согласно данной шкале коэффициентов типичное поведение рептилий ранжируется от нормального до аномального и аномального предвестникового. Также информативными параметрами являются изменение амплитуды вариаций двигательной активности, рассогласование и инверсия суточного ритма. Коэффициенты активности рептилий заносятся в базу данных программы Excel для дальнейшей обработки и анализа. На основании среднесуточных и среднемесячных данных строятся графики суточных, годовых и сезонных вариаций активности террариумных животных, выявляются аномальные вариации, которые в дальнейшем анализируются в связи с воздействием различных геомагнитных и атмосферных параметров, а также с сейсмическими событиями [2,3].

Данные визуальных наблюдений за поведением бентамок (домашних кур декоративной карликовой породы) обрабатываются в специальном программном модуле «Биополигон», разработанном на основе *VISUAL FoxPro* с использованием графического редактора *Delphi* и позволяющем переводить данные визуальных наблюдений в цифровой ряд [4]. Полученный цифровой ряд переносится в программу Excel для дальнейшей обработки и анализа. На основании среднесуточных и среднемесячных данных строятся графики годовых и сезонных вариаций активности бентамок для выявления аномальных вариаций. Информативными параметрами являются нарушения биоритма суточных вариаций, превышение порога аномалий в пределах 3-3,7 отн.ед. [1].

В работе [5] представлен анализ вариаций активности бентамок. Авторами выявлено, что у бентамок четко выражены сезонные ритмы, пики активности приходятся на периоды с

наиболее высокой температурой воздуха. Анализ зависимости активности кур-бентамок от атмосферных и космических факторов выявил четкую связь параметров биологической активности птиц с атмосферными факторами.

Технология обработки инструментальных наблюдений

Технология основана на аппаратурных (измерение электрического сопротивления кожи норных млекопитающих, метеопараметры) и автоматизированных наблюдениях (регистрация двигательной активности змей и волнистых попугайчиков).

Одним из перспективных направлений в сейсмобиологии является аппаратурная регистрация электрических параметров кожи [1]. Разработанная методика аппаратурной регистрации электрических параметров кожи наружной ушной раковины кроликов в биологически активных точках (БАТ) на теории и практике Чжень-Чжу. Данная методика позволяет получить вариации численных значений параметра, которые могут быть не только индикатором состояния организма, но и отражать воздействие на него внешних факторов - геогенных и космогенных. Изучение электрического сопротивления (ЭС) в БАТ ушной раковины кроликов даёт возможность оценить физиологическое состояние живого организма в норме и при воздействии неадекватных факторов среды, например в период подготовки землетрясения. Методика даёт возможность исследования живого объекта в условиях его нормальной жизнедеятельности.

Методика обработки и анализа полученных данных заключается в следующем:

1. Полученные в результате экспериментальных замеров данные подвергаются математической обработке по программе Excel. На основе преобразованного исходного ряда данных строится исследовательская база данных (ИБД).

2. Определяют фоновые значения параметра «электрическое сопротивление кожи» и среднеквадратичные отклонения σ .

3. Определяют фоновые значения σ и «зеленый коридор» показателей σ , в пределах которого фиксируются вариации параметра σ на воздействие метеополей, солнечной активности и других геофизических полей и биологических факторов.

4. Превышение порога фонового уровня в пределах 2-3 σ дает основание к определению «желтого уровня опасности» и свидетельствует об аномалиях активности животных.

5. «Красный уровень опасности» определяется по вариациям $\sigma > 3$.

В работе [6] автором проанализированы и обработаны ряды наблюдений за период 2009-2019 гг для выявления аномальных вариаций электрического сопротивления (ЭС) кожи в биологически активных точках (БАТ). Выявлено, что землетрясения с $10 \leq K \leq 12$ вызывают потерю устойчивости адаптационных процессов у животных, при этом значение среднеквадратичного отклонения σ находится в пределах «зеленого коридора». В группе ранжирования землетрясений с $K \leq 10$ значения σ составляют 2,1-3,1. Период потери устойчивости адаптационных процессов составляет от 2 до 10 суток. В группе землетрясений с $10 \leq K \leq 12$ значение σ колеблется от 2,1 до 2,7, при этом период потери устойчивости адаптационных процессов составляет от 1 до 10 суток. Землетрясения с классом $K \geq 12$ вызывают адаптационные перестройки в организме животных, период которых составляет от 1 до 13 суток.

Землетрясение с энергетическим классом $K=14.7$ (28.01.2013 г. ,420 31'; 790 40') вызвало появление аномалий в БАТ кроликов за 20 дней до начала сейсмического события. Значение σ достигало 4.5, превысив уровень «зеленого коридора» в 2 раза.

Детальный анализ данных позволил выявить зависимость аномального повышения значений среднеквадратичного отклонения от энергетического класса и расстояния от эпицентра сейсмического события, а также разработать критерии оценки поведения животных накануне сильных землетрясений, представляющих угрозу жизни и приводящих к разрушениям.

Результаты исследования активности животных инструментальными методами в режиме сейсмобиомониторинга показали высокую чувствительность используемых

технологий, что может послужить одним из объективных критериев оценки сейсмической уязвимости региона на основе комплексного подхода к краткосрочному прогнозу сильных землетрясений.

Технология обработки метеорологических параметров

Аномалии в вариациях активности животных могут быть обусловлены воздействием атмосферных факторов на биологические объекты. С целью выделения «предвестниковых» аномалий, связанных с подготовкой землетрясения, необходимо знать, какие отклонения в поведении животных от суточного и сезонного фона вызваны изменением метеопараметров.

С этой целью на всех пяти биостационарах Алматинского прогностического полигона ТОО «СОМЭ» («Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция»), ведется регистрация метеопараметров посредством метеостанции М-49 с дискретностью 3 часа и графическим представлением результатов в виде суточных и сезонной вариации атмосферного давления и температуры воздуха.

Все наблюдения за вариациями метеопараметров проводятся синхронно на всех пунктах биополигона. Для выявления погрешностей при регистрации метеопараметров и корректировки данных, а так же сходимости полученных данных в разных точках биополигона, проводятся расчеты коэффициентов корреляции между вариациями температуры воздуха и атмосферного давления на всех станциях.

Технология обработки данных регистрации двигательной активности животных

Для автоматизированных наблюдений за двигательной активностью животных были разработаны специальные приборы-регистраторы: «РДА-1», в последствие – «РДА-2» (регистратор двигательной активности змей) и «РДА-П» (регистратор двигательной активности волнистых попугайчиков) [1].

Двигательная активность змей регистрируется бесконтактным способом с использованием фотодатчиков, в автоматическом режиме фиксирующих число проходов животных в различные отсеки террариума и время перемещения пресмыкающегося [1,7,8]. В конструкции прибора для регистрации двигательной активности попугайчиков 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 [1,9,10]. Информативными параметрами при автоматизированных видах наблюдений являются изменение амплитуды параметра относительно фона, рассогласование и инверсия суточного ритма. Обработка данных включает в себя расчёт значений среднего квадратического отклонения (σ) и выявление аномальных значений, превышающих пороги $\sigma = \pm 2$ (отклонения от фонового уровня) и $\sigma = \pm 3$ (критический уровень, отражающий аномалии предвестникового характера) [11].

Согласно данным ряда авторов [1,7,8] систематические наблюдения за двигательной активностью представителей двух видов змей, содержащихся в условия террариума на Алматинском прогностическом полигоне позволили выявить всплеск двигательной активности змей за сутки до ощутимых землетрясений, произошедших в радиусе 40-80 км от эпицентра в 2014 и 2015 гг. Также анализ данных многолетнего мониторинга двигательной активности волнистых попугайчиков, содержащихся в вольерных условиях на одном из биологических стационарных пунктах Алматинского прогностического полигона [9] выявил аномальные вариации активности волнистых попугайчиков накануне ряда сейсмических событий.

Таким образом, автоматизированные методы измерения двигательной активности животных, содержащихся на стационарных биологических пунктах в сейсмоопасном регионе г. Алматы показывают свою эффективность в плане выявления предвестниковой аномальной активности в связи с сейсмическими событиями.

Как показали макроскопические исследования, наиболее интенсивные аномалии в поведении животных (биопредвестники) проявляются в эпицентральных зонах разрушительных землетрясений, т.е. в областях локализации деформаций разрушения горных пород [1].

Биологические предвестники относятся к разряду краткосрочных. Однако согласно данным Б.З. Серазетдиновой[1] они могут формироваться за месяц и более, накануне сильных землетрясений с магнитудой $M \geq 7,0$.

Результаты исследования активности животных визуальными и инструментальными методами в режиме сейсмобиомониторинга показали высокую чувствительность используемых технологий, что может послужить одним из объективных критериев оценки сейсмической уязвимости региона на основе комплексного подхода к краткосрочному прогнозу сильных землетрясений.

Литература

1. Серазетдинова Б.З. Сейсмобиология: теория, методы, практика прогноза землетрясений. Алматы: Эверо. 2012. 364 с.
2. Ариффулова И.И. Исследование активности рептилий в системе сейсмобиомониторинга в зоне сейсмического риска // Abstr. 9th Kazakhstan-China Internat.Symp. «Earthquake Prediction, Seismic Hazard and Seismic Risk Assessment in Central Asia», 25-27 oct. 2017. Kazakhstan, Almaty, 2017. P. 214-218
3. Arifulova I.I. Variations in reptile activity in the seismic risk zone due to short-term earthquake forecast in Kazakhstan // The Tenth Tianshan International Symposium on Earthquake Research, 15-16 Sept, 2021. Collection of paper abstracts. China, Urumqi, 2021. P. 66-67.
4. Серазетдинова Б.З., Жунусова А., Кауазов А.М. Оценочные шкалы как критерии аномального поведения животных в сейсмически уязвимом регионе Казахстана // Abstr. 8th Kazakhstan-China Internat.Symp. on Tianshan Earthquakes, 23-26 Sept., 2013. China, Urumqi, 2013. P. 45.
5. Ариффулова И.И., Нью В.А., Суровцева Н.В. Анализ вариаций активности кур-бентамок и ее зависимости от атмосферных и космических факторов в системе сейсмобиомониторинга в зоне сейсмического риска // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. XI Междунар. конф. молодых ученых и студентов. В 2 т. Т. 2. Бишкек. 2019. С. 39-42.
6. Surovtseva N.V. Variations in the electrical resistance of biologically active skin points of rabbits living in burrows at a biological station in a seismically active area near the city of Almaty // The Tenth Tianshan International Symposium on Earthquake Research, 15-16 Sept, 2021. Collection of paper abstracts. China, Urumqi, 2021. P. 69-70.
7. Серазетдинова Б.З., Ариффулова И.И., Кузьмина Е.Е. Междисциплинарный подход к проблеме оценки информативности вариаций активности животных в связи с краткосрочным прогнозом сильных землетрясений в Казахстане // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. VIII Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек. 2016. С. 233-239.
8. Ариффулова И.И., Суровцева Н.В., Бекбаулиева Н.Н., Нью В.А., Кан М.Р. Бесконтактный метод регистрации активности животных в системе сейсмобиомониторинга на Алматинском прогностическом полигоне // Актуальные проблемы современной сейсмологии. Сб. докл. Междунар. конф., г. Ташкент, 12-14 октября 2016 г. Ташкент. 2016. С. 188-191.
9. Нью В.А., Ариффулова И.И., Суровцева Н.В. Мониторинг двигательной активности волнистых попугайчиков в зоне сейсмического риска г. Алматы // Материалы Международной Юбилейной научной конференции, посвященной 15-летию со дня образования Центрально-Азиатского Института прикладных Исследований Земли (ЦАИИЗ) г. Бишкек «Дистанционные и наземные исследования Земли в Центральной Азии», г. Бишкек, 17-18 сент. 2019 г. Бишкек. 2019. С. 55-58.
10. Нью В.А., Ариффулова И.И., Суровцева Н.В. Междисциплинарный подход к анализу вариаций активности птиц в связи с краткосрочным прогнозом сильных землетрясений в Казахстане // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. XII междунар. конф. молодых ученых и студентов, г. Бишкек, 22-24 апреля 2020 г. Бишкек. 2020. С. 421-435.
11. Серазетдинова Б.З., Адильгиреева С.Х., Ариффулова 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.

БАЗА ДАННЫХ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА

Соколов А.Н., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.

asokolov@kndc.kz

Филиал «Институт геофизических исследований» Национального ядерного центра
Республики Казахстан, г. Курчатов, Республика Казахстан

В работе приводится анализ результатов обработки аналоговых и цифровых записей станций сильных движений из района восточного Казахстана. Полученные параметры акселерограмм были включены в базу данных, которая содержит более 150 записей на эпицентральных расстояниях от 7 до 4883 км. Максимальное ускорение за этот период было получено станцией Буран для афтершока Зайсанского землетрясения в 1990 г.

Ключевые слова: Восточный Казахстан, Зайсанское землетрясение, сильные движения, интенсивность.

Введение. В настоящее время значительно возрос интерес к изучению сейсмической опасности территории восточного Казахстана и западного Алтая. Интерес обусловлен прежде всего наличием большого количества добывающих и перерабатывающих производств, наличием действующих исследовательских ядерных реакторов, инфраструктуры бывшего ядерного Семипалатинского полигона, Банка низкообогащенного урана, а также других ответственных объектов [1]. В связи с этим, оценка сейсмической опасности региона является актуальной задачей, по современным требованиям она должна проводиться в двух вариантах – в значениях интенсивности колебаний в баллах макросейсмической шкалы и в количественных характеристиках колебаний грунта (ускорениях, скоростях и смещениях). При задании сейсмических нагрузок для сейсмостойких сооружений требуется знание возможных параметров сейсмических воздействий на площадке строительства при ожидаемых сильных землетрясениях. Чтобы получить такие характеристики, требуется регистрация колебаний приборами сильных движений для получения реальных записей физических параметров колебаний грунта на конкретных площадках и использования их в дальнейшем для прогноза сейсмических воздействий при будущих возможных сильных землетрясениях. В настоящей работе предпринята первая попытка обобщения всех накопленных за 30 лет инструментальных данных по количественным параметрам сильных движений грунта по станциям, расположенным в восточном Казахстане.

Историческая и современная сейсмичность восточного Казахстана. Для территории восточного Казахстана недостаточно хорошо изучена историческая сейсмичность. Самый полный обзор сейсмичности региона с середины XVIII до начала XX века был представлен в исторической справке Чеканинского И.В. [2], а также в работе Мушкетова И.В., Орлова А. [3]. В этих работах приводятся сведения, что на территории Семипалатинской губернии и ее окрестностей происходят ощутимые землетрясения слабой и средней силы, а также ощущаются колебания от сильнейших далеких землетрясений из района Алтая, Китая и Северного Тянь-Шаня. Максимальная интенсивность $I=7$ баллов наблюдалась у землетрясения 21 мая 1901 г. в селе Глубокое [2].

В 1990 году неожиданно для сейсмологов в восточном Казахстане произошло сильное разрушительное Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г., с $M_w=6.6$ [4]. С наибольшей интенсивностью землетрясение проявилось в населенных пунктах Рожково и Бакасу, находящихся соответственно в 22 и 37 км южнее эпицентра, где сила сотрясений достигала 8 баллов [4].

За инструментальный период сейсмологических наблюдений самым крупным землетрясением на территории Алтае-Саянской складчатой области [6] стало Чуйское землетрясение 27 сентября 2003 г. в 11 часов 33 минуты по Гринвичу. Магнитуда землетрясения $M_w=7.3$ (координаты эпицентра - 50.04 с.ш., 88.07 в.д.). Землетрясение в зоне эпицентра вызвало сотрясения почвы более 10 баллов по шкале MSK-64. На территории восточного Казахстана землетрясение ощущалось во многих населенных пунктах: Семей, Усть-Каменогорск, Курчатов – 4 балла, Зайсан и Маканчи – 3 б [5].

На рисунке 1 представлена карта сейсмичности восточного Казахстана и прилегающих территорий за период 1760-2020 гг. За период 2003-2020 гг. представительная магнитуда $m_{rv}=3.5$, угол наклона графика повторяемости по магнитуде $\gamma=1.08$.

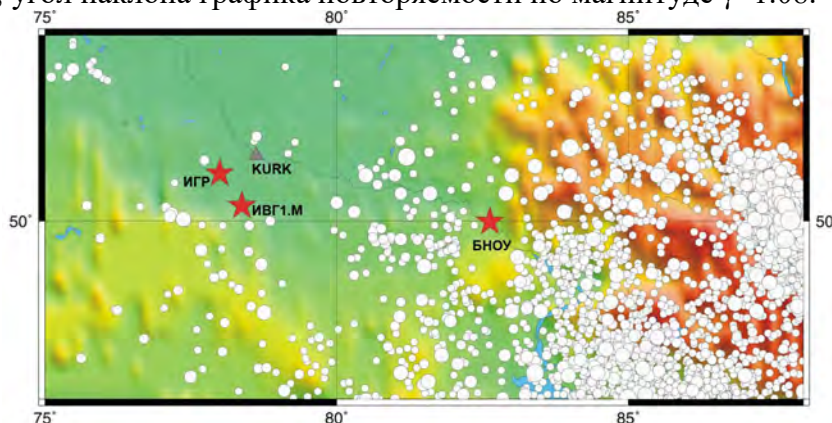


Рисунок 1 – Карта расположения эпицентров землетрясений Восточного Казахстана и прилегающих территорий (кружки), объектов атомной отрасли (звездочки), сейсмических станций (треугольник)

Аналоговые станции восточного Казахстана. Несмотря на то, что инструментальная регистрация землетрясений на территории Восточного Казахстана началась в 1934 году (станция Семипалатинск (SEM)), долгие годы это была единственная станция, записи которой были доступны для исследований на огромной территории Восточного Казахстана.

Кроме станции SEM на территории Восточного Казахстана были развернуты лаборатории-воинских частей специального сейсмического контроля (ССК), так в Курчатове в 1957 г. была создана Семипалатинская лаборатория, в 1970 г. в 60 км от границы с КНР была установлена сейсмическая станция Маканчи. К концу 1969 г. на территории Семипалатинского полигона была установлена первая экспериментальная сейсмическая группа «Крест» [6]. Однако данные станций ССК использовались исключительно для мониторинга ядерных испытаний, они не привлекались для решения задач оценки сейсмической опасности.

После сильного Зайсанского землетрясения 1990 г. в регионе были установлены первые приборы для регистрации сильных движений. Станция Буран была установлена вскоре после основного толчка на расстоянии 19 км от эпицентра (рисунок 2). Кроме станции Буран, в июле 1990 г. была открыта новая стационарная сейсмическая станция Зайсан [7], на которой кроме стандартного чувствительного сейсмометра СКМ, также был установлен прибор сильных движений ИСО, в 1991 г. в этом районе был открыт еще один переносной пункт сильных движений Рожково (рисунок 2). Запись проводилась в ждущем режиме на фотопленку.

Оперативная установка приборов сильных движений в очаговой области сильного Зайсанского землетрясения позволила уже в первые же месяцы на пункте СД Буран для сильнейшего афтершока Зайсанского землетрясения 3 августа 1990 г. с $M_w=6.1$ [4, 7] прибором ИСО-ИМ+С5С получить запись по двум горизонтальным компонентам с чувствительностью 0.1 с [4]. На рисунке 3 представлена велосиграмма по компоненте В-3. Измерения показали, что максимальная амплитуда колебательной скорости составила 11.4

см/с на периоде 1.2 с [4]. Велосиграмма по компоненте В-З была оцифрована и обработана [11] (рисунок 3), по ней были рассчитаны спектры реакции в терминах ускорения, скорости и смещения. Максимум в спектре ускорения наблюдался на периоде 0.2 с. Интерпретация полученных данных с точки зрения связи инструментальных характеристик с макросейсмическими показала, что значение максимального ускорения 115 см/с^2 по расчетной акселерограмме соответствует 7 баллам [4]. Следует отметить, что зарегистрированное станцией Буран ускорение остается пока максимальным за всю историю наблюдений сильных движений в Восточном Казахстане. Для землетрясения 28 мая 1995 г. на эпицентральной расстоянии 93 км, станция Зайсан зарегистрировала сильные движения с максимальной колебательной скоростью $A_{\max}=0.24 \text{ см/с}$ (таблица 1).

Таблица 1 – Параметры записей СД по аналоговым станциям сильных движений Восточного Казахстана

дата	t0, ч.м.с.	$\varphi^{\circ}\text{N}$	$\lambda^{\circ}\text{E}$	Ms	Стан-ция	Δ , км	I_0 , балл	V , см/с E-W	V , м/с N-S	T, с	d, с
1990.08.03	09:15:07	47.80	84.77	6.1	BURN	38	6-7	11.4		1.2	2
1995.05.28	21:46:55.1	47.417	85.417	4.9	ZSN	93	4	0.24	0.20	0.36	1.5

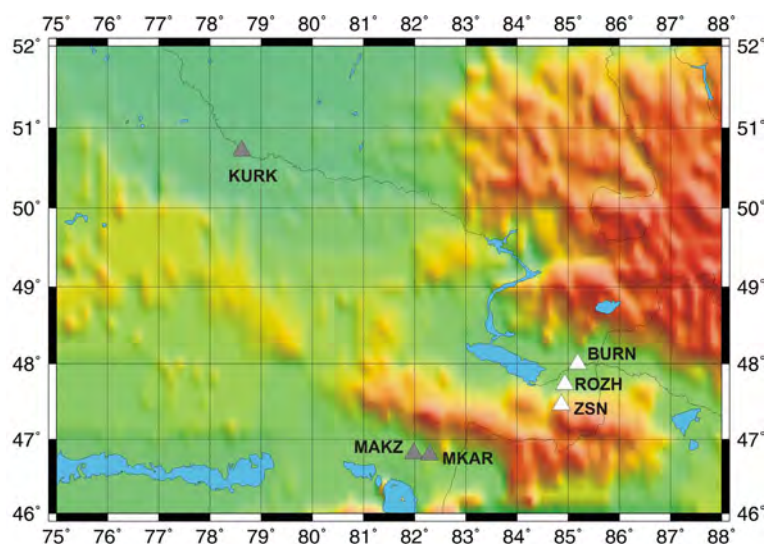


Рисунок 2 – Карта расположения станций сильных движений Восточного Казахстана. Белые треугольники – аналоговые станции ИС АН КазССР, серые треугольники – цифровые станции ИГИ НЯЦ РК

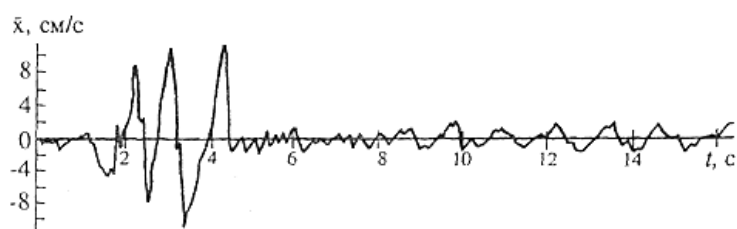


Рисунок 3 – Велосиграмма сильного афтершока Зайсанского землетрясения 3 августа 1990 года [4]

Цифровые станции сильных движений ИГИ НЯЦ РК на территории ВК. В 1994 г. ССК передали в НЯЦ РК станции ССК бывшего СССР - Курчатова и Маканчи, после чего на этих станциях были установлены современные широкополосные цифровые станции. В 1994 г. установлена станция глобальной сейсмической сети IRIS IDA KURK и в 1996 г. - станция глобальной сейсмической сети IRIS GSN MAKZ [8]. На сейсмической станции IRIS GSN в Маканчи в 1996 г. был установлен акселерометр сильных движений FBA23 [9-10],

такой же акселерометр был установлен на станции KURK II в 1999 г. Кроме того, для анализа используются также цифровые записи трехкомпонентной станции MKAR (MK31) сейсмической группы Маканчи [8, 10] (рисунок 2). На станции установлен чувствительный скважинный акселерометр, его динамический диапазон не позволяет регистрировать ускорения с амплитудами больше 0.4 см/с^2 . Но, тем не менее, его использование позволяет улучшить статистику по данным СД, расширить территорию исследований. Станции СД MAKZ, KURK работают в триггерном режиме, MKAR в непрерывном режиме. Обработка данных проводится при помощи программного обеспечения ViewWave, разработанного Т.Кашимой [12]. За время работы станций сильных движений были созданы каталоги параметров записей и соответствующих спектров реакции. Обработке подлежали все записи с $A_{\max} \geq 0.1 \text{ см/с}^2$.

Использованные материалы. В настоящее время база данных СД для района Восточного Казахстана содержит информацию по 150 записям землетрясений (рисунок 4). Записью считается сейсмограмма по всем имеющимся на приборе СД каналам. Всего зарегистрировано 142 землетрясения за период с 1996 г. до июля 2021 г. Диапазон магнитуд M землетрясений составляет от 1.1 до 8.4. Наибольшее количество очагов землетрясений, данные которых зарегистрированы и обработаны, расположены в Восточном Казахстане вблизи сейсмической станции Маканчи. Среди зарегистрированных есть и удаленные землетрясения из районов Тянь-Шаня, Тибета, Гиндукуша, Охотского моря (рисунок 4).

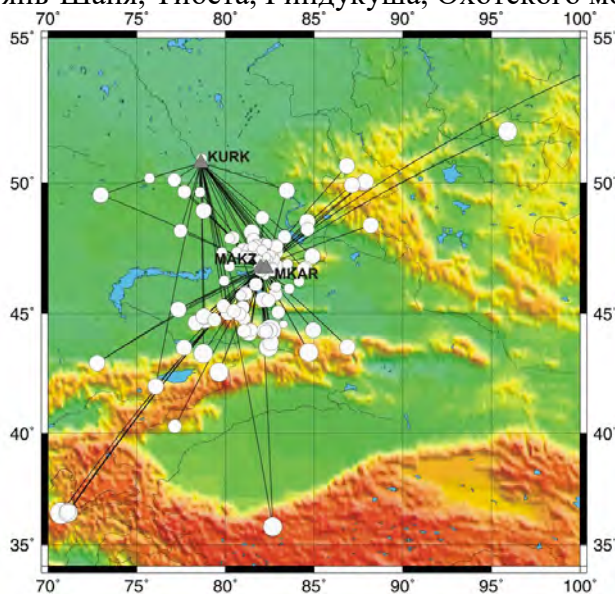


Рисунок 4 – Карта расположения станций СД в Восточном Казахстане и эпицентров землетрясений, данные которых обработаны

Параметры сейсмических воздействий по станциям сильных движений ИГИ НЯЦ РК. По результатам регистрации сильных движений создана база данных, диапазон эпицентральных расстояний от 7 до 4883 км. Максимальное ускорение за исследуемый период цифровых наблюдений зарегистрировано при землетрясении 28 ноября 2002 г. с $m_b=4.8$ станцией MAKZ на расстоянии 101 км от очага, $A_{\max}(EW)=5.6 \text{ см/с}^2$ (рисунок 5).

В таблице 2 представлена характеристика записей СД по станциям. Наибольшее количество записей имеется по станции MAKZ.

На рисунке 6 представлено распределение по магнитудам и расстояниям всех полученных записей сильных движений сети РГП ИГИ. Имеющаяся выборка демонстрирует скоррелированность значений расстояний и магнитуд: все сильные землетрясения зарегистрированы, как правило, на больших расстояниях, а на малых расстояниях имеются записи только слабых событий. Это распределение свидетельствует о том, что получить надежную зависимость для затуханий максимальных ускорений только по данным ИГИ для исследуемого региона пока невозможно. На рисунке 7 представлена зависимость максимальных амплитуд сильных движений от расстояния для землетрясений с магнитудами

$m_b=4.8 \div 5.2$, зарегистрированных станцией МАКЗ, видно, что амплитуды быстро затухают с расстоянием.

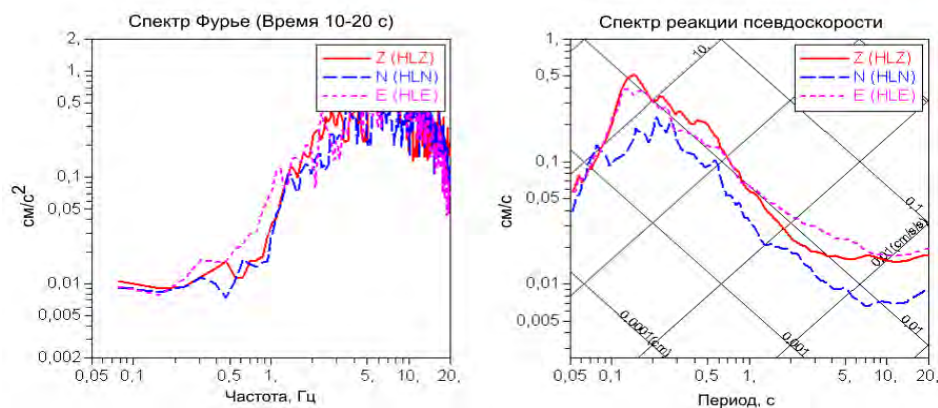


Рисунок 5 – Спектры Фурье и реакции для землетрясения 28 ноября 2002 г. с $m_b=4.8$, станция МАКЗ, эпицентральное расстояние 101 км

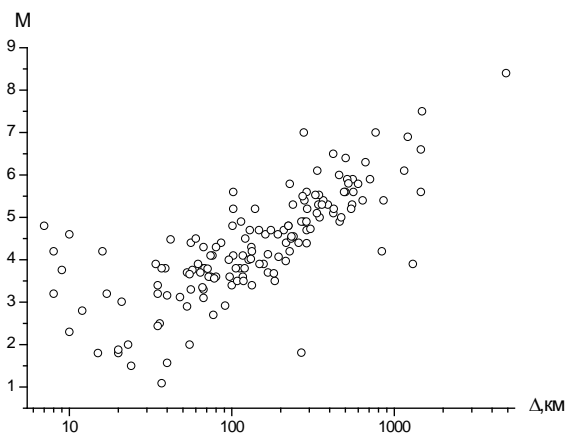


Рисунок 6 – Распределение записей сильных движений по магнитудам и расстояниям

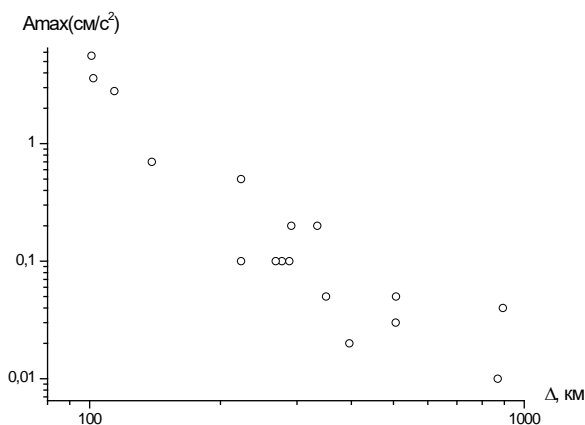


Рисунок 7 – Зависимость максимальных амплитуд сильных движений от расстояния для землетрясений с магнитудами $m_b \sim 5$

Таблица 2 – Характеристика записей СД по станциям ИГИ НЯЦ РК

Станция	Количество событий	Период	Диапазон Δ , км	Диапазон магнитуд m_{pv}	A_{max} , cm/c^2
МАКЗ	124	1996-9.2021	7-4883 км	1.1-8.4 (Mw)	5.6
KURK	17	1996-9.2021	11-768 км	3.2-7	0.9
MKAR	9	2003-09.2021	161-859 км	4.5-5.9	0.4

Заключение. Создана база данных сильных движений, в которой содержатся цифровые записи и результаты обработки как аналоговых, так и цифровых станций из района Восточного Казахстана. В базу данных вошли более 150 записей по цифровым данным сети сильных движений ИГИ НЯЦ РК, а также по аналоговым станциям ИС МОН РК на эпицентральных расстояниях 7-4883 км. Максимальное ускорение, равное 115 см/с^2 , за этот период было получено станцией Буран для афтершока Зайсанского землетрясения в 1990 г.

Полученные данные – это лишь начало создания информационной базы для оценки сейсмической опасности района Восточного Казахстана в количественных характеристиках колебаний грунта. Их необходимо учитывать при поиске региональных соотношений затухания пиковых ускорений и колебательных скоростей, чтобы использовать в практическом аспекте при будущих работах по сейсмическому районированию территории Восточного Казахстана, а также при прогнозе сейсмических воздействий на площадках строительства АЭС и других ответственных объектов.

Актуальным является расширение сети станций сильных движений на территории Восточного Казахстана, в районе крупных городов и площадок размещения объектов атомной отрасли.

Исследование выполнено при финансировании Министерством Энергетики Республики Казахстан (программа BR09158470).

Литература

1. Аристова И.Л., Соколова И.Н., Великанов А.Е., Соколов А.Н. Использование данных сети мониторинга ИГИ НЯЦ РК для безопасности объектов атомной отрасли // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2021. № 2 (18). С. 11-22.
2. Чеканинский И.В. Материалы о сейсмических явлениях в Семипалатинской губернии с 1760 по 1927 гг. // Зап. Семипалатинского отдела ИРГО. Семипалатинск. 1927. Вып. XVI. С. 14–73.
3. Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи // Тип. Императорской Академии наук. СПб. 1893. 582 с.
4. Нурмагамбетов А., Садыков А., Тимуш А.В. и др. Зайсанское землетрясение 14 июня 1990 г. // Землетрясения в СССР в 1990 году. М.: ГС РАН. 1996. С. 54–60.
5. Гольдин С.В., Селезнев В.С., Еманов А.Ф. и др. Чуйское землетрясение 2003 года ($M=7.5$) // Вестник отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук РАН. 2003. № 1. С. 11-20.
6. Бекбулатова Д.Б., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н. Исторические записи ядерных взрывов в архиве Института геофизических исследований // Вестник НЯЦ РК. 2020. Вып. 3. С. 65–72.
7. Михайлова Н.Н., Неверова Н.П. Землетрясения Северного Тянь-Шаня // Землетрясения в СССР в 1990 году. М.: ГС РАН. 1996. С. 43–45.
8. Mikhailova N.N., Sokolova I.N. Monitoring System of the Institute of Geophysical Research of the Ministry of Energy of the Republic of Kazakhstan // Summary of the Bulletin of the International Seismological Centre. 2016. January–June. 2019. Vol. 53, Iss. 1. P. 27–38.
9. Соколов А.Н., Михайлова Н.Н. Регистрация и база данных сильных движений на казахстанских станциях ядерного мониторинга // Вестник НЯЦ РК. 2014. Вып. 1. С. 125–131.
10. Соколов А.Н., Михайлова Н.Н. Регистрация и база данных сильных движений по Казахстанским станциям ядерного мониторинга для оценки воздействий на ответственные промышленные объекты // Вестник НЯЦ РК. 2013. Вып. 3. С. 125–131.
11. Михайлова, Н.Н. Сейсмическая опасность в количественных характеристиках колебаний грунта. Дис. ... д-ра физ.-мат. наук. М. 1996. 250 с.
12. Kashima T. 2002. ViewWave Help, ISEE, BRI.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PGA ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА

Тилек кызы Г., Рахмединов Э.Э., Байкулов С.К.

Gulka0788@mail.ru, rahimdinov@gmail.com, Sultan-baikulov@mail.ru

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

Большое число разрушений и погибших в результате землетрясений показывает, что сейсмический риск остается высоким во всем мире. В то время как сейсмической опасности уделяется большое внимание, значительная неопределенность, связанная с подверженностью и уязвимостью, привела к более ограниченному анализу потенциального воздействия будущих землетрясений. По нашему мнению, поскольку и подверженность, и уязвимость являются уменьшаемыми факторами риска, оценка их важности и изменчивости позволяет определить приоритетность наиболее эффективных действий по снижению риска бедствий. Нами эта задача решена с помощью моделирования сценария землетрясений на примере г. Бишкек.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмический риск, пиковое ускорение грунта.

Землетрясения считаются одним из самых серьезных природных катастроф во всем мире, поскольку они могут привести к огромным человеческим жертвам, значительному материальному ущербу и значительным экономическим потерям. Землетрясения, которые происходят вблизи крупных и густонаселенных городов из-за потенциала, который может вызвать разрушения зданий и сооружений, наносят наиболее огромный ущерб. Сильные землетрясения происходили в прошлом, происходят сейчас и могут повториться в будущем. Поскольку интервалы повторения между разрушительными землетрясениями в большинстве районов составляют более 100 лет, местное население, как правило, забывает о предыдущих крупных землетрясениях и считает место, где когда-то произошла сейсмокатастрофа безопасным. К сожалению, до сих пор невозможно контролировать или точно прогнозировать время землетрясения, и поэтому они остаются катастрофой, которой нельзя избежать. Одним из наиболее эффективных способов снижения воздействия землетрясения на людей и имущество является сценарная оценка риска землетрясения. Однако оценка риска сейсмических бедствий является сложным процессом, поскольку необходимо интегрировать несколько пространственных параметров из разных мест [1].

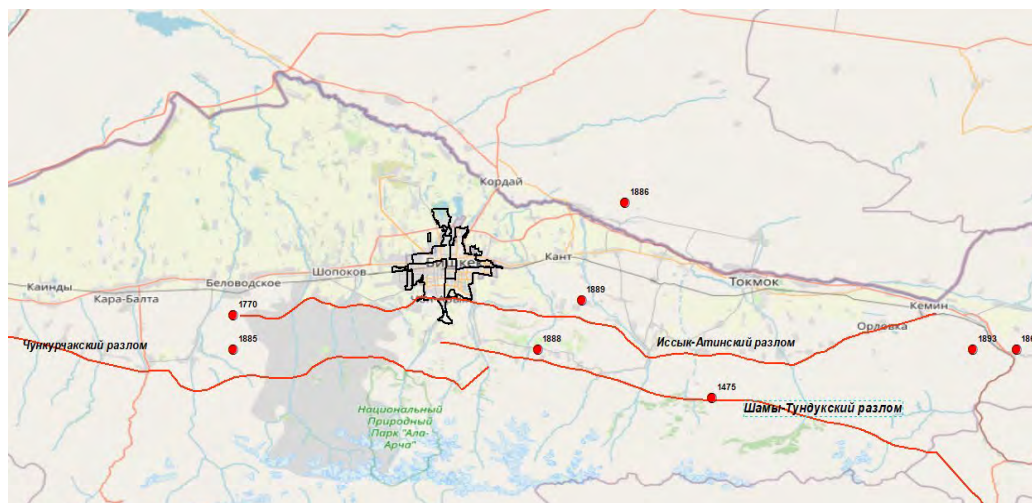


Рисунок 1 – Карта Чуйской впадины и местоположения г. Бишкек с нанесением активных разломов и очагов исторических крупных землетрясений (красные кружочки)

Эти параметры включают: геоморфологию, инженерную геологию, поведение человека и плотность населения. Несмотря на свою сложность, исследования по оценке сейсмического риска оказались очень полезным инструментом для разработки планов подготовки к чрезвычайным ситуациям и содействию снижения сейсмического риска.

Город Бишкек столица страны и крупный город с большой экономикой, расположен в центральной части Чуйской впадины (рис. 1). На границе южной части города у подножия адыров простирается активный тектонический разлом – Ысык-Атинский, а в привалках Кыргызского хребта (к югу от города) активные разломы Чункурчак, и Шамы-Тундук (рис. 1) которые оказывают влияние в области сейсмичности на Чуйский регион на протяжении веков, включая разрушительные землетрясения. Так, в 1885 г. произошло Беловодское землетрясение силой 9 баллов, эпицентр которого находился в северных предгорьях Кыргызского хребта. Были разрушены дома, погибло 54 и ранено 77 человек [1].

Учитывая прошлые сейсмособытия сценарная оценка сейсмического риска имеет важное значение для региона, поскольку она может служить ориентиром для учений по реагированию на чрезвычайные ситуации и определения соответствующих резервов оказания чрезвычайной помощи. Оценка сейсмического риска может дать цифры вероятных потерь, вызванных землетрясением, в том числе для жилищной инфраструктуры, экономики, жертв. [5].



Рисунок 2 – Сценарий распределения пиковых ускорений грунта от землетрясения магнитудой 7,5, если очаг связан Шамши-Тундукским разломом

Пиковое ускорение грунта (PGA) является очень важным фактором в инженерной сейсмологии, поскольку оно влияет на разрушение инфраструктуры, пострадавшей от сейсмодкатастрофы, а также является основным фактором при определении магнитуды землетрясения. На PGA в основном влияет магнитуда землетрясения и расстояние до активного разлома. Поэтому в данной работе предлагается метод, который использует PGA землетрясения, вызванные данным сейсмособытием. В отличие от шкалы магнитуды Рихтера, это не показатель силы землетрясения, а скорее того, насколько сильно земля сотрясается в данной географической области. Эти уровни сотрясения грунта используются, в основном, для разработки строительных норм и для проектирования зданий [2].

Население и инфраструктура в основном сосредоточены в городах. Таким образом, пиковое ускорение грунта в этих местах было выбрано в качестве входного фактора для оценки риска с магнитудой $M=7,5$ для всех разломов и представлены результаты для сравнения.



Рисунок 3 – Сценарий пикового ускорения грунта при землетрясении магнитудой 7,5, если очаг связан с Чнкурчакским разломом



Рисунок 4 – Пиковое ускорение грунта Иссyk-Атинского разлома с магнитудой 7,5

Пиковое ускорение грунта от землетрясения $M=7,5$, связанного Иссyk-Атинским разломом интенсивнее, чем от события, связанного с Шамшы –Тундукским. Результаты анализа PGA, которые получены нами с помощью программы OQ engine, по Шамшы-Тундукскому разлому колеблются от 0,48g до 0,61g, по Иссyk-Атинскому разлому - 0,11-0,88g, по Чнкурчакскому разлому от 0,06-0,66g. Распределение этих значений PGA показаны на рисунках 2, 3, 4.

Пиковое горизонтальное ускорение (PGA) является наиболее часто используемым в инженерных приложениях. Оно также используется в сейсмической инженерии, (включая сейсмические строительные нормы и правила), и обычно наносится на карты сейсмической опасности.

Литература

1. Абдрахматов К.Е., Джумабаева А.Б. Сегментация Иссyk-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Вестник Института сейсмологии НАН КР. 2014. №1 (3). С. 24-30.
2. Akkar, S., Sandikkaya, M.A., and Bommer, J.J. Empirical ground-motion models for point- and extended-source crustal earthquake scenarios in Europe and the Middle East // *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2014, 12, 359–387, <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>, <https://doi.org/10.1007/s10518-013-9461-4>, 2014.
3. Chiou, B.S.-J. and Youngs, R.R. Update of the Chiou and Youngs NGA Model for the Average Horizontal Component of Peak Ground 35 Motion and Response Spectra // *Earthquake Spectra*, 2014, 30, 1117–1153, <https://doi.org/10.1193/072813EQS219M>, <https://doi.org/10.1193/072813EQS219M>, 2014.
4. <https://earthquake.usgs.gov/data/vs30/>
5. GEM: The OpenQuake-engine User Manual. Global Earthquake Model (GEM) Open-Quake Manual for Engine version 3.2.0, Tech. rep., <https://doi.org/10.13117/GEM.OPENQUAKE.MAN.ENGINE.3.2.0>, 2018
6. Самигулин И.М. И вздрогнула земля: Из истории землетрясений в Семиречье. 1885-1912 гг. Алматы: ЛЕМ. 2011. 760 с.

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ СУДОЧЬЕГО ПРОГИБА УСТЮРТСКОГО РЕГИОНА

Тошкуллов А.Д.

Toshkulov.anvar78@mail.ru

Государственный комитет Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

В работе представлены результаты геологоразведочных работ в пределах Судочьего прогиба Устюртского региона, полученные сотрудниками Государственного комитета Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам.

Ключевые слова: геологоразведка, Узбекистан, Устюртский регион

За годы независимости в Республике Узбекистан произошли значимые изменения, которые затронули многие отрасли, в том числе и в сфере геологоразведки, и поиска нефтегазовых месторождений.

Президент Республики Узбекистан уделяет огромное внимание геолого-геофизическим работам на нефть и газ нашей страны. Особое значение имеют проводящиеся работы по поиску и открытию новых перспективных нефтегазовых месторождений на территории Приаралья и Устюртского региона.

С этой целью, помимо проводимых в Устюртском регионе сейсморазведочных работ МОГТ-2Д, поручением по Госкомгеологии РУз, со стороны АО “Узбекгеофизика” в 2020г организована мобильная Каражарская сейсморазведочная партия № 20/20-23, выполняющая работы МОГТ-3Д, с использованием высокотехнологичного, многоканального полевого оборудования и созданием новых рабочих мест в Муйнакском районе.

Поисковые и детальные сейсморазведочные работы МОГТ-2Д проводились в пределах исследуемой территории с целью изучения условий залегания юрских и доюрских отложений и поиска в них ловушек углеводородов, с последующей были подготовлены и переданы нефтегазоперспективные объекты к глубокому бурению. В результате проведенных работ были открыты такие месторождения как Урга, Сургиль, Бердах, Вост. Бердах, Шагырлык, полученные, при испытании скважин на площадях Сев.Урга и Сев. Арал притоки газа, свидетельствовали о промышленной региональной нефтегазоносности юрского комплекса отложений в Приаралье и доказали, что этот регион считается первоочередным объектом для постановки поисковых работ на нефть и газ.

Территория исследований включает несколько объектов, характеризующихся различной степенью изученности сейсморазведкой и бурением, и различными полученными результатами.

В пределах Судочьего прогиба до настоящего времени выявлены две зоны нефтегазонакопления (ЗНГН): Ургинская и Аральская. Если в пределах Ургинской ЗНГН открыты два месторождения Урга и Дали, где залежи приурочены к верхне- и среднеюрским отложениям, то в пределах Аральской ЗНГН промышленные притоки получены из отложений средней и нижней юры (Арал и Аралык). Таким образом, наличие нефтегазоперспективного комплекса нижней юры подтверждено и в Судочьем прогибе.

В структурном плане по кровле нижнеюрских отложений выделены три зоны развития антиклинальных складок, ориентированных преимущественно в северо-западном направлении: Ургинская, Аральская, Каражарская, которые разделены не только прогибами, но и тектоническими нарушениями.

Последние годы во всем мире характеризуется все возрастающим применением трехмерной сейсморазведки (3Д), являющейся развитием её двумерной модификации МОГТ-

2Д. Ранее эти работы не получили широкого применения из-за отсутствия необходимых аппаратных и программных средств, а также высокой стоимости работ. Переход на пространственную сейсморазведку обоснован с позиции более полного использования энергии, генерируемой различными источниками сейсмических колебаний, и получения объемной и более надежной информации об изучаемых объектах.

В мировой практике пространственная сейсморазведка 3Д получила широкое применение на стадиях детального изучения нефтегазоперспективных структур, уточнения строения нефтяных и газовых залежей, а также мониторинга разрабатываемых месторождений. Особенно высокая эффективность была достигнута при разведке сложных геологических объектов (соляные купола, рифы, блоковые структуры, зоны тектонических нарушений).

Накопленный опыт работ по методике 3Д в различных сейсмогеологических и поверхностных условиях показал, что сейсморазведка МОГТ-3Д обеспечивает получение более точной геологической информации о строении изучаемых объектов, чем сейсморазведка МОГТ-2Д, сейсморазведка МОГТ-3Д может быть использована для моделирования месторождений. На примере можно рассмотреть разницу качества материалов по профилям на временных разрезах МОГТ-2Д ПР09970297 и МОГТ-3Д In Line 3570 (рис.1, 2). Преимущества сейсморазведки 3Д стали очевидными для многих нефтегазовых компаний. Чтобы сделать её экономически эффективной, были разработаны: методика проведения полевых работ, сверх многоканальные сейсмические станции и программные комплексы для обработки данных на самых мощных вычислительных машинах, включая рабочие станции.

В последние годы в связи с открытием ряда месторождений газа значительно повысился интерес к Судочьему прогибу и Бердахскому валу.

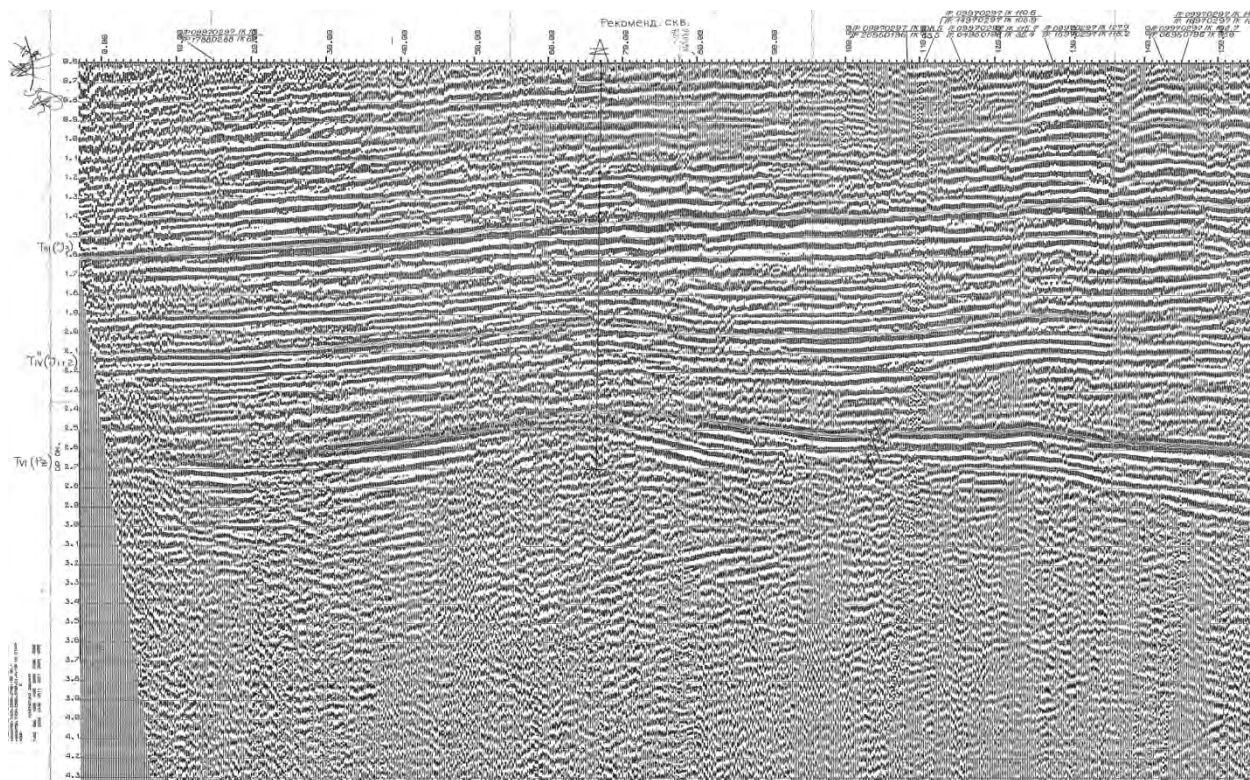


Рисунок 1 – Фрагмент временного разреза по профилю ПР09970297
(Аральская с/п 2Д № 02/97-00, 1997 год)

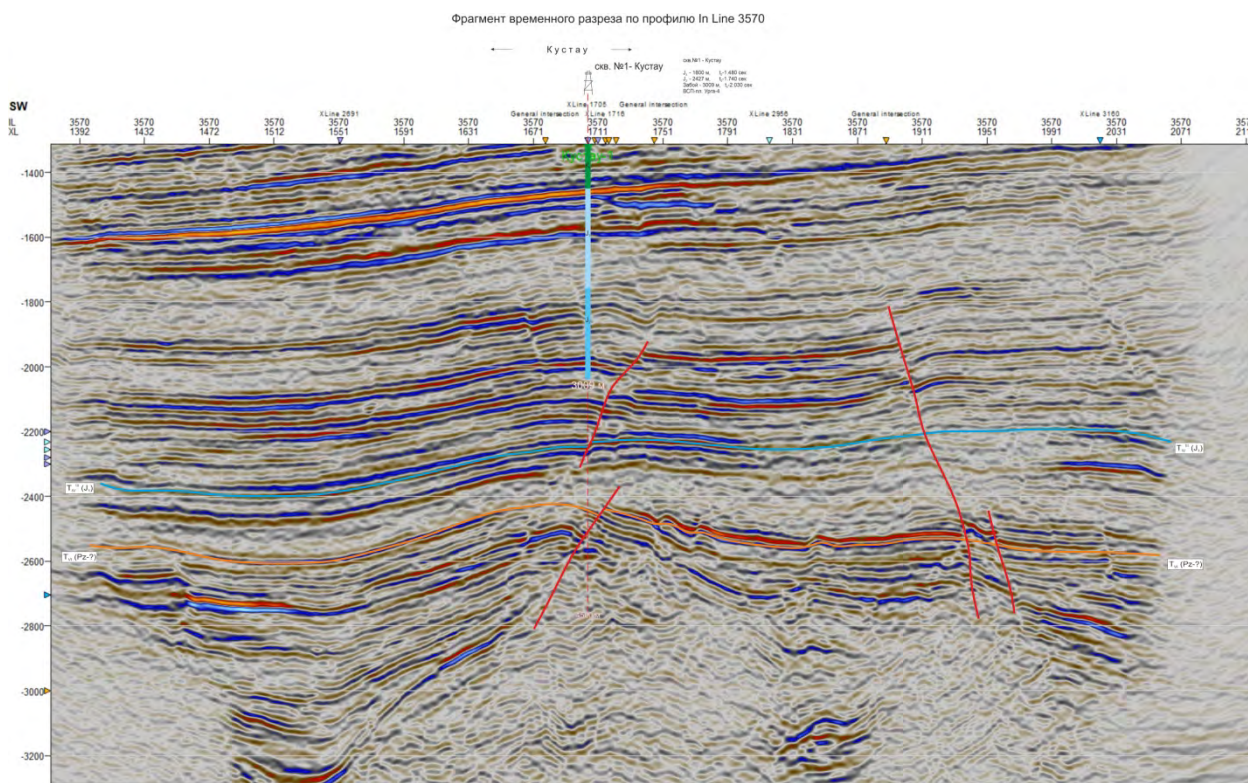


Рисунок 2 – Фрагмент временного разреза по профилю In Line 3570 (Каражарская с/п 3Д № 20/20-23, 2021 год)

Примерами служат: Аралык №1, в интервале 3900-3840м которого, в открытом стволе из нижнеюрских отложениях (J_1) получен промышленный приток газа дебитом $Q_g = 800$ тыс.м³/сут., Куйи западный Сургиль в интервале 4100м (J_1) - $Q_g = 1$ млн.м³/сут., Куйи Шаркий Бердах (3900-4200м) (J_1) $Q_g = 1$ млн. м³/сут. В скважине №1 площади Куйи Сургиль, в результате испытаний в открытом стволе в интервале 3571-3640м также получен промышленный приток газа $Q_g = 612$ тыс. м³/сут.

Кроме того, в западной части Судочьего прогиба в верхне-среднеюрских отложениях открыты месторождения: Урга, Дали, Арал, а также, в северо-западной части Судочьего прогиба пробурена поисковая скважина Камка №1 до глубины 4701 м, с забоем в палеозойских образованиях. Отложения палеозойского возраста представлены песчаниками и гравелитами с прослоями аргиллита и алевролита. Гравелит серый, песчанистый, слабо глинистый полимиктовый, плотный с редким включением углистых частиц. Песчаник серый светло-серый, разномерный (в основном, крупно- и среднезернистый), слабо пористый, крепкий. Аргиллит-алевролитовый зеленовато-серый, глинистый очень плотный и крепкий. В интервале 4291-4294 м вскрыты черные аргиллиты с рассеянным органическим веществом $C_{орг} 2,26\%$ вышекларковый концентрации. Вниз по разрезу наличие органики увеличивается по её содержанию и метаморфизованности породы были отнесены к газоматеринским. По ФЕС породы довольно плотные, особенно гравелиты, пористость которых составляет менее 2%. Относительно лучшими коллекторскими свойствами характеризуются песчаники (7,0-8,0%).

При проведении отбора проб на каротажном кабеле, в точках отбора на глубинах 3958м, 4331, 4468м низах нижней юры палеозое получен газ. При опробовании палеозойских отложений получены слабые притоки газа.

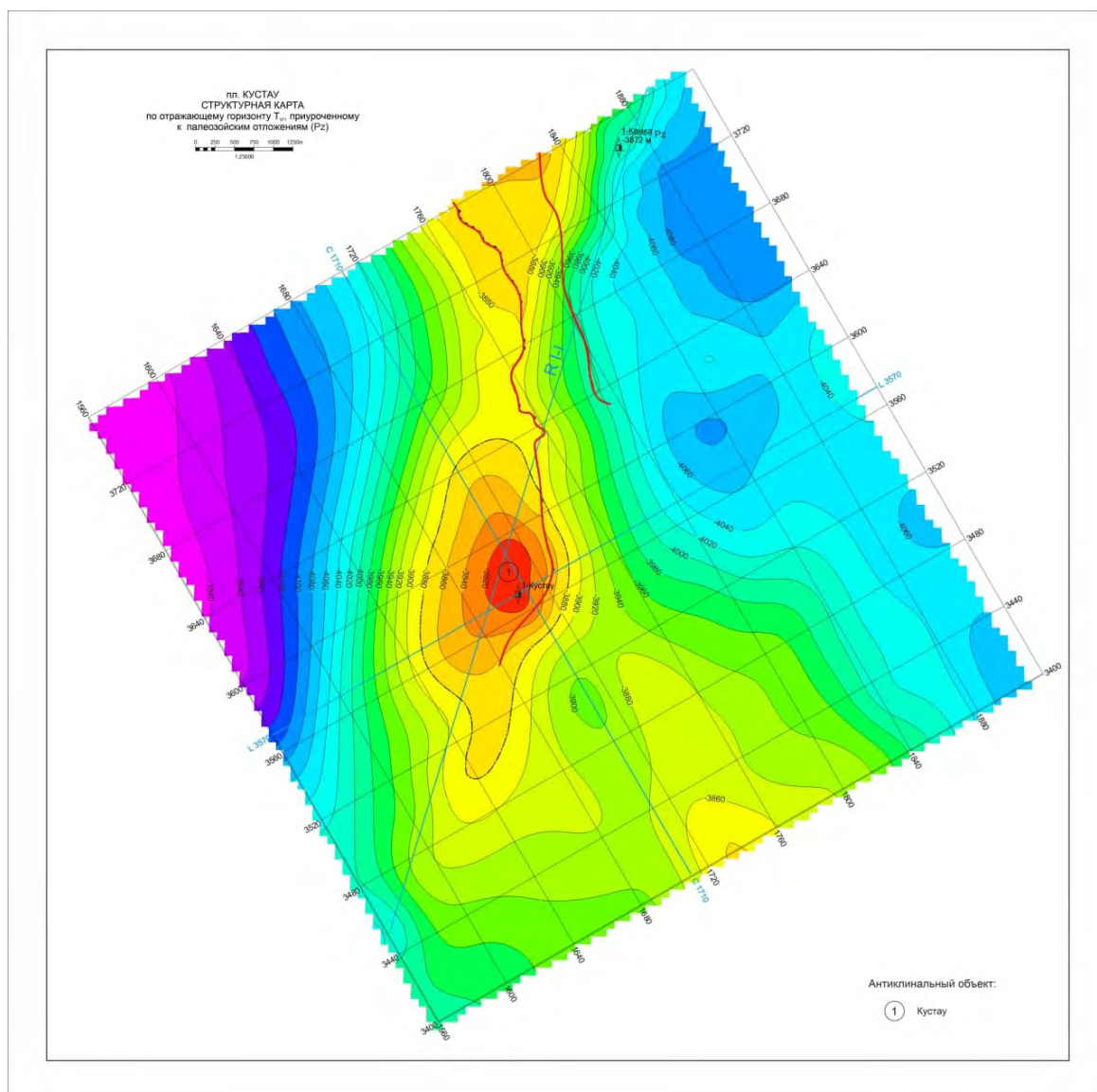
Следует отметить, что в пределах Судочьего прогиба палеозойские образования вскрыты немногочисленными скважинами (Урга №1п, Арал №1п, Камка №1), представлены терригенными образованиями, которые датированы верхнекарбонным и нижнепермским

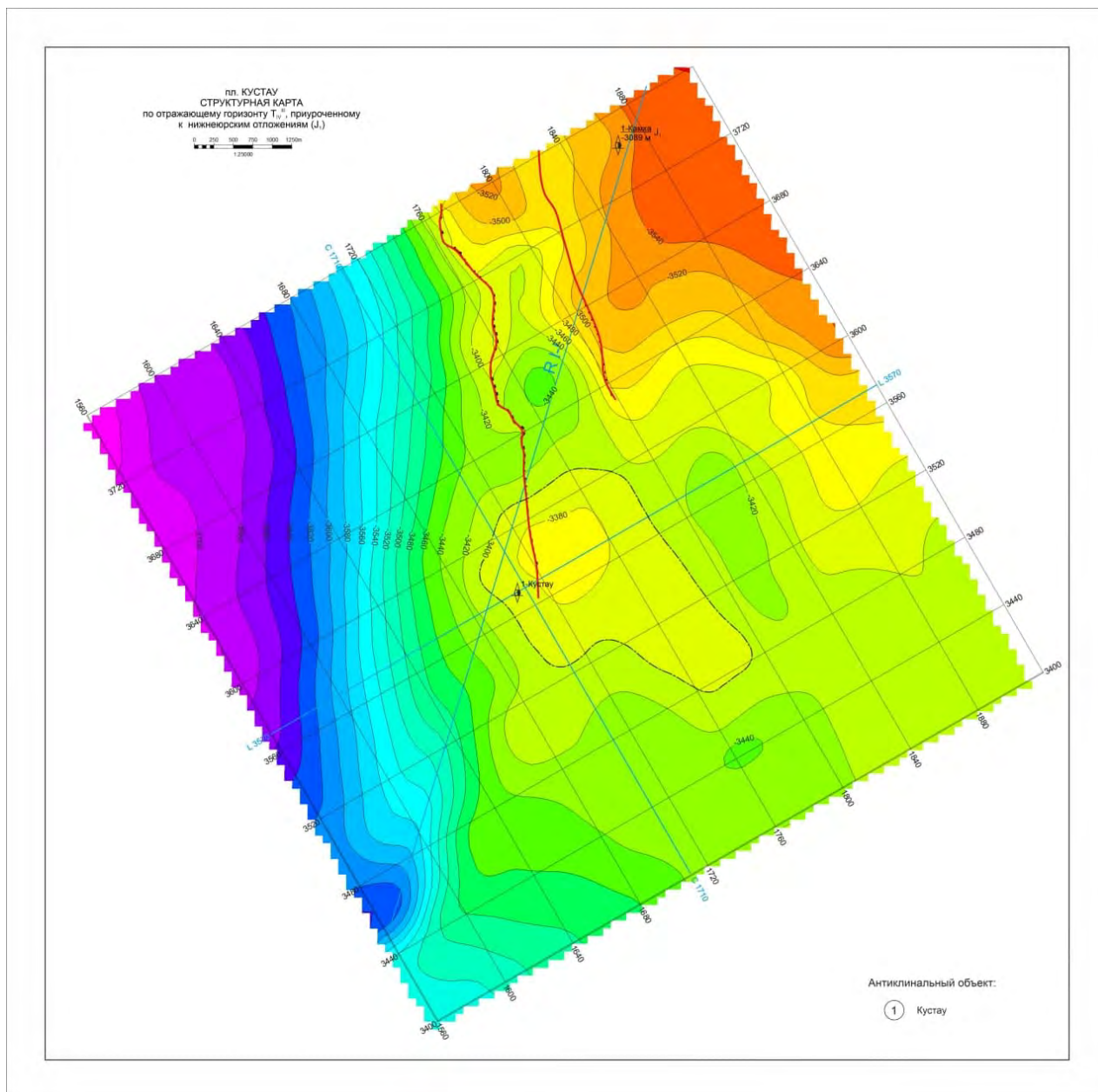
возрастом (С₃-Р₁) разрез которых сложен песчано-аргиллитовыми породами, имеющими различные коллекторские свойства.

В заключении необходимо отметить, что к настоящему времени сложилась определенная методология планирования съёмок 3Д, которая базируется на основных положениях метода и на опыте работ. Она предусматривает определение целей и задач работ, а также их аппаратно-техническое и материальное обеспечение. Проводятся сбор и анализ имеющихся геолого-геофизических данных, критически рассматриваются результаты предыдущих исследований, а также оценивается физико-географическая обстановка района съёмки. На основании обобщения всех собранных материалов определяются основные и вспомогательные виды работ и их параметры (кратность, максимальные и минимальные удаления пунктов возбуждения от пунктов приема, способ возбуждения колебаний и др.).

Таким образом, целью настоящего исследования является иллюстрация особенностей методики сейсморазведочных 3Д исследований в пределах Судочьего прогиба с применением 9000 канального сейсморазведочного комплекса G3I компании «INOVA», по методике широко азимутальной съёмки 3Д.

Автором статьи рекомендовано широкое применение данной методики сейсморазведки 3Д, так как при соответствующей технической оснащённости она является наиболее оптимальной при изучении ниже-среднеюрских и доюрских отложений Устьуртского региона и позволит с достаточным разрешением, требуемой глубиной (кратностью) и высокой достоверностью решать не только задачи поискового, но и разведочного этапов.





Литература

1. Бабаджанов Т.Л., Кунин Н.Я., Лук-Зильберман В.И. Строение и нефтегазоносность глубокопогруженных комплексов Средней Азии по геофизическим данным. Ташкент: Фан. 1986. 150 с.
2. Юлдашева М.Г. Отчет на тему: «Прогнозирование зон распространения неантиклинальных ловушек в ниже-среднеюрских отложениях Бердахского вала (Устюртский регион)». Ташкент. 2018.
3. Эшов Ж. Проект на тему: «Проведение поисково-детализационных сейсмических работ МОГТ-3Д в пределах западной части Судочьего прогиба Устюртского нефтегазоносного региона».

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БУХАРО-ХИВИНСКОГО РЕГИОНА

Хожиев Б.И.

bixojiyev@mail.ru

Государственный комитет Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

В статье освещены особенности геологического и тектонического строения западной части Бухаро-Хивинского региона, описаны размеры и строение крупных тектонических элементов, охарактеризована перспективность мезозойских отложений в нефтегазоносном отношении, дана подробная характеристика продуктивным горизонтам. Проанализированы объемы и виды проведенных геолого-геофизических и буровых работ, в результате чего на основании фактических данных рекомендовано целенаправленное изучение меловых и юрских отложений. Обоснована нефтегазоперспективность слабоизученных территорий и рекомендовано проведение дополнительных сейсморазведочных работ и далее постановка поискового бурения на этих участках.

Ключевые слова: поднятие, горизонт, литология, стратиграфия, ловушки, бурение, скважина.

Введение. За годы независимости в Республике Узбекистан наблюдается интенсивный рост потребления углеводородного сырья, что требует наращивания темпов геологоразведочных работ, обеспечивающих достаточно высокий прирост запасов нефти и газа. На сегодняшний день основные проблемы в нефтегазовой отрасли связаны с обеспечением восполнения запасов углеводородов, за счет открытия новых месторождений углеводородов. Для решения этих вопросов необходимо увеличить качество проводимых геологоразведочных работ и целенаправленно проводить сейсморазведочные и буровые работы на относительно малоизученных территориях, необходимо провести комплексный анализ старого фонда скважин.

Тектоника. Площадь исследуемой территории составляет 19680 км² и охватывает часть Бухарской тектонической ступени (Газлинское поднятие, Тузкойский прогиб, Янгиказганское поднятие, Дашкалинский прогиб и Мешеклинское поднятие) и часть Чарджоуской тектонической ступени (Кандымское поднятие, Кульбешкак-Питнякское поднятие, Каракульский прогиб, Учкыр-Кимерекский вал, Биргутлинский прогиб) (рис.1).

Самым западным является *Мешеклинское поднятие* размерами 65 x15 км. Здесь Бухарская ступень имеет наименьшую ширину, это объясняется сближением Предкызылкумской и Учбаш-Каршинской флексурно-разрывных зон.

Дашкалинский прогиб размерами 30x40 км. Поверхность фундамента погружается в юго-западном направлении от 1000 до 1500 м. Прогиб ограничивает с запада Мешеклинское поднятие, с востока – Янгиказганское поднятие, с юга – Учбаш-Каршинская флексурно-разрывная зона.

Янгиказганское поднятие размерами 60км x 50км имеет почти изометричную форму. С запада и востока оно ограничено соответственно Дашкалинским и Тузкойским прогибами, с севера и юга – Предкызылкумской и Учбаш-Каршинской флексурно-разрывными зонами, с востока – Тузкойским прогибом.

Тузкойский прогиб представляет собой котловину размерами с юга на север – 70 км и шириной – 50 км, осложнённую в погруженной части многочисленными малоамплитудными структурами различного типа. Северный борт имеет крутой угол наклона и превышение его от центра составляет 400-450 м. Поверхность фундамента погружается в юго-западном

направлении от 1000 до 2000 м. Тузкойский прогиб ограничивает с запада Газлинское поднятие.

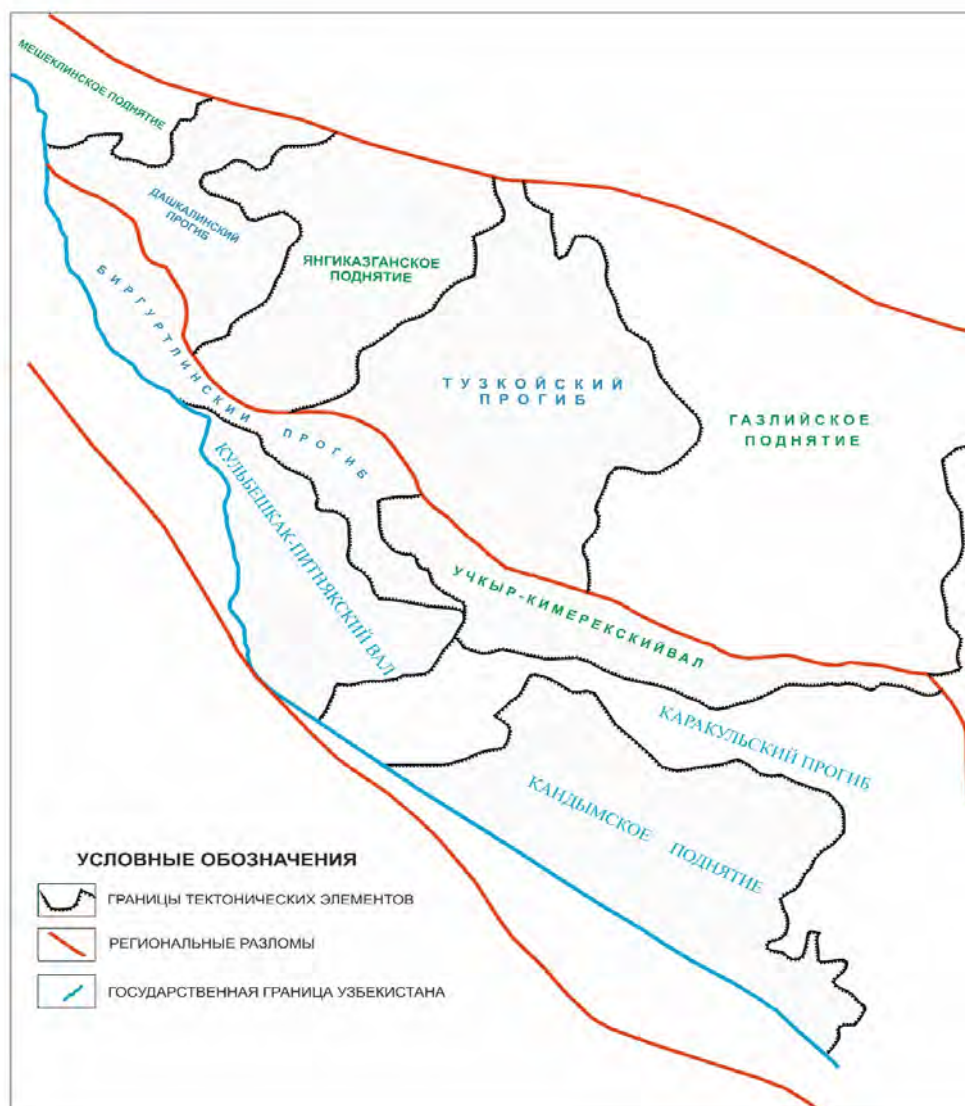


Рисунок 1 – Схема тектонического районирования западной части Бухаро-Хивинского региона. Составили: Б.И.Хожиев (по данным Ж.Мамирова и др.).

Газлинское поднятие (80x60 км) имеет субмеридиональное простирание. С юга и с севера ограничено Учбаш-Каршинской и Предкызылкумской флексурно-разрывными зонами соответственно, с востока – Рометанским прогибом. Южная часть поднятия осложнена Кимирекским грабеном. Палеозойский фундамент залегает на глубине 1,2-1,6 км. Наиболее крупными здесь являются Газлинская и Ташкудукская антиклинали, в своде последней два продольных нарушения также образуют грабен.

Кульбешкак-Питнякский вал (200x15 км) – приразломная структура, состоящая из двух звеньев, различные простирания которых (северо-западное и широтное) определяются положением Амударьинской флексурно-разрывной зоны и южной периклиналью структуры Кульбешкак.

С северо-востока Кульбешкак-Питнякский вал ограничивается *Биргутлинским прогибом*, границей которого является Учбаш-Кашинская флексурно-разрывная зона. Биргутлинский прогиб отделяет Кульбешкак-Питнякский вал от Мешеклинского и Янгиказганского поднятий Бухарской ступени. Северо-восточный борт его крутой, местами оборванный разломом. Размеры его 140x15 км, простирание северо-западное, максимальное погружение фундамента 3,2 км.

Восточнее выделен *Учкыр-Кимерекский вал*, который протягивается на 150 км при ширине 15-20 км, вдоль Учбаш-Кашинской флексурно-разрывной зоны от структуры Карамой – на западе до структуры Ирмон – на востоке. Был выделен в результате проведенных исследований. С юга вал ограничивает Каракульский прогиб.

Каракульский прогиб протяженностью 100 км и шириной 20 км имеет северо-западное простирание. Северо-восточный борт прогиба крутой, юго-западный – сравнительно пологий, со сложными очертаниями, повторяющими конфигурацию ограничивающих Каракульский прогиб поднятий.

На северо-западе Каракульский прогиб ограничен Кульбешкак-Питнякским валом, который представляет собой диагональную перемычку, разделяющую Каракульский и Биргутлинский прогибы.

Кандымское поднятие расположено южнее *Каракульского прогиба*, имеет брахиантиклинальную форму, северо-западное простирание и размеры 90x40 км. Из всех поднятий Бухаро-Хивинского региона оно самое приподнятое. Глубина залегания поверхности основания на площади Кандым (2435 м). Наблюдается резкое сокращение мощности терригенных среднеюрских отложений и эвапоритов титона (85 и 100 м).

Литолого-стратиграфическая характеристика.

Западная часть Бухарской ступени. Мезозойские отложения с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на дислоцированной поверхности палеозойских отложений. Они представлены породами юрской и меловой систем.

Среднеюрские терригенные отложения западной части Бухарской ступени, мощностью от 100 до 200 м, представлены, в основном, терригенными осадками континентального и немного прибрежно-морского генезиса. В разрезе выделяются XVIII и XVII проницаемые горизонты.

В средне-верхнеюрских карбонатных отложениях западной части Бухарской ступени выделяются (снизу-вверх): XVI, XVa, XV – горизонты и представлены, в основном, известняками. Мощность юрских карбонатных отложений варьирует от 20 м (Газлинское поднятие) до 200 м (Янгиказганское поднятие). В пределах западной части Бухарской тектонической ступени отложения соляно-ангидритовой толщи полностью выклиниваются.

Отложения мелового возраста залегают на размытой поверхности верхнеюрских карбонатов. Нижнемеловые отложения представлены красноцветными терригенными образованиями неокомских надъярусов и аптских, альбских ярусов. В них выделяются XI, XII, XIII, XIV промысловые горизонты, представленные проницаемыми песчаниками. Мощность отложений нижнего мела варьирует от 300 м до 516 м.

Отложения верхнего мела представлены породами сеноманского, туронского ярусов и сенонского надъяруса, сложенными сероцветными терригенными осадками с редкими прослоями известняков и мергелей. В них выделяются VIII, IX, X промысловые горизонты, представленные проницаемыми песчаниками. Мощность отложений нижнего мела меняется от 350 м до 900 м.

Западная часть Чарджоуской ступени. Мезозойские отложения с угловым и стратиграфическим несогласием залегают на дислоцированной поверхности палеозойских отложений и представлены породами юрской и меловой систем. Триасовая система в исследуемом районе отсутствует.

Разрез юрской терригенной формации подразделяется на пять ритмосвит – кимерекская (нижняя юра), гурудская (аален-нижний байос), дегибадамская (верхний байос), тангидувальская (нижний-средний бат), байсунская (верхний бат-нижний келловей). В исследуемом районе нижнеюрские отложения (кимерекская свита – XXI горизонт) отсутствуют. Среднеюрские терригенные отложения представлены толщей, в основном, глинистых пород, содержащих отличные по толщине пачки песчаников и гравелитов, выделяемых как XVII, XVIII, XIX промысловые горизонты. Мощность юрских терригенных отложений варьирует от 100 м до 600 м.

В разрезе карбонатной формации (КФ) в Западной части Чарджоуской ступени выделяются снизу-вверх: XVI, XV-а проницаемые горизонты келловейского яруса средней юры и XV-1, XV-2, XV-3 проницаемые горизонты оксфорд-кимериджского яруса верхней юры.

Далее в геологическом разрезе на отложениях карбонатной формации залегают породы соляно-ангидритовой формации (САФ) – гаурдакская свита, мощность которых на исследуемой территории изменяется в небольших пределах от – 10 до 100 м.

Меловые отложения в районе работ представлены нижним и верхним отделами и залегают со стратиграфическим несогласием на верхнеюрских отложениях. Общая мощность меловых отложений исследуемого района составляет от 1400 до 1800 м.

Отложения нижнемелового возраста по литологическим особенностям и палеонтологическим определениям подразделяются на следующие: неокомский надъярус, аптский и альбский ярусы. Они представлены континентальными и лагунно-морскими образованиями, выделяемые как XI, XII, XIII, XIV промысловые горизонты.

Верхнемеловые отложения подразделяются на сеноманский, туронский ярусы и нерасчлененный сенонский надъярус. В них выделяются VIII, IX, X промысловые горизонты, представленные проницаемыми песчаниками.

Нефтегазоносность Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона, являющегося частью Амударьинского нефтегазового бассейна.

В результате проведенных геологоразведочных работ в западной части Чарджоуской ступени открыт ряд месторождений: Даяхатын, Кульбешкак, Учкыр, Ходжиказган-Учбурган, Северная Сузьма, Хаккуль, Атамурад, Аккум-Парсанкуль, Западный Ходжи, Ходжи, Чегаракум, Четкум, Тумарис и др. Основные продуктивные комплексы приурочены к среднеюрским (XVII, XVIII, XIX – горизонты), верхнеюрским (XV-1, XV-2, XV-3 горизонты) и нижнемеловым отложениям (XII, XIII – горизонты).

В западной части Бухарской ступени продуктивность связана с юрскими (XV, XVa – горизонты) и меловым отложениями (IX, X, XI, XII, XIII, XIV – горизонты), и открыты следующие месторождения: Газли, Янгиказган, Ёркин, Муллахол, Тошкудук, Гарби.

На сегодняшний день в Западной части Бухаро-Хивинского региона основной объем геологоразведочных работ и поисково-разведочного бурения сконцентрирован в пределах основных тектонических элементов – Кандымского поднятия, Кульбешкак-Питнякского поднятия, Учкыр-Кимерекского вала, Газлинского поднятия, Тузкойского прогиба, Янгиказганского поднятия, и соответственно, все открытые месторождения расположены в контуре этих тектонических элементов.

А в пределах слабоизученных сейсмическими работами и поисково-разведочным бурением Мешеклинского поднятия, а также Дашкалинского прогиба, северной части Каракульского и Биргутлинского прогибов, не имеется месторождений углеводородов.

Заключение. Для увеличения ресурсной базы западной части Бухаро-Хивинского региона необходимо:

– нефтегазоперспективность исследуемого района связана с многопластовыми ловушками и каждые отложения, горизонты по фильтрационно-ёмкостным свойствам, литологическим особенностям отличаются от друг друга. В связи с этим рекомендуется проводить целенаправленную поэтажную разведку месторождения;

– в пределах Мешеклинского поднятия, северной части Каракульского, Дашкалинского и Биргутлинского прогибов увеличить объем сейсмических и буровых работ с целью оценки перспективности в отношении углеводородов.

Литература

1. Абидов А.А. Нефтегазоносность литосферных плит. Ташкент: Фан. 2009. 28 с.
2. Хожиев Б.И. Перспективы юрских терригенных отложений Кандымского поднятия на обнаружение литологических залежей нефти и газа // Узбекской журнал нефти и газа. 2017. № 1. С. 20-24.

ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРРИГЕННОЙ ЮРСКОЙ ФОРМАЦИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧАРДЖОУСКОЙ СТУПЕНИ

Хожиев Б.И.¹, Юлдашев Н.Н.²

bixojiyev@mail.ru

¹ Государственный комитет Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Построена структурная карта по кровле отложений терригенной юры с учётом всех имеющихся геолого-геофизических данных. С учетом фактических данных бурения проведена интерпретация новых отработанных сейсморазведочных профилей МОГТ-2Д, в результате была уточнена геолого-геофизическая модель района работ, которая показывает, что продуктивные пласты юрской терригенной формации распространяются с запада на восток по всей Чарджоуской ступени. Для получения подтверждения вышесказанного, в восточной части Чарджоуской ступени необходимо пробурить поисковую скважину со вскрытием на полную мощность юрской терригенной формации.

Ключевые слова: промышленные запасы, залежь, юрская терригенная формация, газоносность, углеводородное сырьё, структурная карта, геолого-геофизическая модель.

Одной из важнейших проблем нефтегазовой отрасли Республики Узбекистан, на фоне постоянно растущего потребления продуктов углеводородного сырья (УВ), является улучшение состояния сырьевой базы (своевременное обеспечение нефтегазоперерабатывающих заводов и комплексов), как в количественном (увеличение объёмов прироста запасов), так и в качественном (учитывая рост доли труднодоступных и трудноизвлекаемых запасов) отношениях.

Основные промышленные запасы нефти и газа в Республике Узбекистан сосредоточены в карбонатных отложениях юры Бухаро-Хивинского региона. Верхнеюрские карбонатные отложения до сих пор рассматриваются в качестве главного поисково-разведочного объекта с большой степенью опосредованности геофизическими методами и глубоким бурением. Терригенная юрская формация, несмотря на выявление в ней промышленных запасов газа, до сих пор остается второстепенным объектом [1].

В настоящее время, в связи с ощутимым сокращением ресурса перспективных ловушек в карбонатной формации, особое внимание уделяется юрской терригенной формации.

После открытия, в течении последних десятилетий, новых газоконденсатных месторождений в юрских терригенных отложениях северо-западной части Бухаро-Хивинского региона, происходит развертывание исследований по разработке новых подходов прогнозирования, поисков и разведки структурных и нетрадиционных ловушек и залежей УВ в исследуемом комплексе пород терригенной юры [2].

Необходимо отметить, что нижне-среднеюрский терригенный комплекс пород имеет сложное геологическое и литолого-стратиграфическое строение и сравнительно большие глубины залегания, поэтому ощущаются сложности при постановке поисковых работ по их изучению, с не установленными закономерностями распространения углеводородов, по разрезу и площади. В настоящее время выполняемые исследования направлены на детализацию строения нижне-среднеюрских отложений в северо-западной части региона, где почти отсутствуют отложения САФ, на площадях месторождений, связанных с развитием юрских рифовых и рифогенных пород; на площадях карбонатных пород с развитием биогермов, а также на площадях месторождений, связанных с карбонатными отложениями в

лагунной зоне накопления.

В северо-западной и центральной части Чарджоуской ступени в терригенной юрской формации последнее время открыты многопластовые месторождения: Гарбий Хаккуль, Чакакум, Муродтепа, Андакли, Узунчак, Уртабулак (терригенная юра), Раззокбобо и др., это доказывает перспективность терригенной формации. Геолого-геофизические материалы и результаты бурения показывают, что продуктивные пласты юрской терригенной формации распространяются от запада до востока по Чарджоуской ступени. Для получения подтверждения в восточной части Чарджоуской ступени необходимо целенаправленно пробурить поисковую скважину со вскрытием на полную мощность юрской терригенной формации. Анализ геолого-геофизических материалов показывает, что самое оптимальное местоположение поисковой скважины – месторождение Ойдин (терригенная юра).

Структура Ойдин расположена в Гузарском районе Кашкадарьинской области. Ближайший населенный пункт г. Гузар находится в 17 км к северо-западу от площади. В тектоническом отношении месторождение Ойдин находится на юго-востоке Гузарского куполообразного поднятия на восточном борту Бешкентского макропрогиба Чарджоуской ступени.

В орографическом отношении район представляет собой слабо всхолмленную равнину, абсолютные отметки местности колеблются в пределах от 647 м до 658 м над уровнем моря. Структура Ойдин выявлена в 1995 г. при проведении поисковой сейсморазведки МОГТ-2Д, подготовлена в 2009 г. в результате поисково-детализационных работ МОГТ-2Д. В 2011 году началось бурение поисковой скважины № 1, при опробовании которой получены промышленные притоки газа из карбонатных отложений юрского возраста. В 2011 г. структура введена в разряд месторождений. Всего с 2011 г. по 2019 г. пробурено 4 поисковые скважины (№№ 1, 2, 3, 4), общим метражом 11458 м. В контуре газоносности находятся все 4 скважины. Всего на месторождении с отбором керна пройдено 53 пог.м, при этом отобрано 26,55 пог.м керна, что составило 50,1 % от проходки. Вскрытый разрез на месторождении Ойдин представлен породами юрского, мелового, палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов.

По кровле XV горизонта верхнеюрских карбонатных отложений структура представляет собой брахиантиклинальную складку, ограниченную со всех сторон разрывными нарушениями. Размеры структуры по изогипсе «-2300 м» составляют: длина 5,75 км, ширина 4,5 км, высота 379 м, площадь 25,88 км².

В процессе бурения поисковой скважины №1 площади Ойдин в открытом стволе проведено испытание интервала 2774-2595 м, получен приток газа дебитом 423,97 тыс.м³/сут на 14 мм штуцере, и площадь была переведена в разряд месторождений.

В поисковой скважине №2, после спуска эксплуатационной колонны на глубину 2675 м, проведено испытание 1-го объекта в интервале 2772-2675 м в открытом стволе. Притока не получено. При испытании 2-го объекта (XV- XVa горизонт) в интервалах 2729-2725 м, 2687-2683 м, 2659-2646 м, 2646- 2643 м, 2637-2621 м получен приток газа дебитом 19,5 т.м³/сут на 12 мм штуцере.

Промышленная газоносность на месторождении Ойдин связана с XV-XVa горизонтами верхнеюрских отложений. Дебиты газа изменяются от 7,6 тыс.м³/сут (скв. № 4) через 8 мм штуцер до 326,1 тыс.м³/сут (скв. № 1) через 14 мм штуцер. Тип залежи пластово-массивный, тектонически экранированный. ГВК условно принят на абсолютной отметке «-2261 м». Размеры залежи: XV горизонт - длина 5,5 км, ширина 4,15 км, высота 331 м; XV-a горизонт - длина 4,8 км, ширина 2,75 км, высота 178 м. Пластовое давление составляет 281,24 атм.

Эффективная газонасыщенная толщина для XV горизонта составляет 17,3 м, для XV-a горизонта – 30,35 м. Коэффициенты открытой пористости и газнасыщенности составляют соответственно: для XV горизонта – 0,0743 и 0,8222; для XV-a горизонта – 0,0962 и 0,6883.

Все скважины месторождения вскрыли полный разрез соляно-ангидритовой формации (САФ). В своде структуры мощность САФ от 30 м (скв. №1), до 217 м (скв.№2). По

составляют 4,5х1,7 км, амплитуда 200 м, площадь 6,2 кв.км.

Для выяснения нефтегазоперспективности терригенной юрской формации, считаем целесообразным пробурить поисковую скважину на структуре Ойдин по терригенным отложениям юры, с целью обнаружения в них залежей УВ.

Литература

1. Бабаев А.Г., Габрильян Р.А., Салямова С.К. Терригенная формация юрского возраста Бухаро-Хивинского региона и Юго-Западного Гиссара и её нефтегазоносность. М.: Недра. 1977. 137 с.
2. Хожиев Б.И. Перспективы юрских терригенных отложений Кандымского поднятия на обнаружение литологических залежей нефти и газа // Узбекский журнал нефти и газа. 2017. № 1. С. 20-24.

ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮГА УЗБЕКИСТАНА

Холбаев Б.М., Жураев Ф.О.

Xolbayev_b @ mail.ru, fazliddin_ng@mail.ru

Каршинский инженерно-экономический институт, г. Карши, Республика Узбекистан

В статье приведены геолого-геоморфологические особенности юга Узбекистана. Дается подробный анализ истории геологического изучения территории юга Узбекистана.

Ключевые слова: эпизодический маршрутный характер, геологическое строение, осадочно-метаморфические и магматические породы полеозоя.

История геологического изучения территории юга Узбекистана связана с именами многих исследователей. В XVII веке геологические исследования носили эпизодический маршрутный характер. Самыми известными исследователями того времени были: И.В.Мушкетов (1879), А.Крафт (1901), В.Н.Веберг (1905), Я.С.Эдельштейн (1909), С.Н.Михайловский (1914), А.Д.Архангельский (1916).

Вопросам геологического строения и тектоники бассейна р.Кашкадарьи посвящены работы и монографии: А.С. Аделунга, С.И. Клуникова, С.А. Кушнарля, А.П. Марковского, С.Ф. Машковцева, В.А. Николаева, Н.А. Смирнова, П.Н. Сонопова, К.Н. Ведланда, М.Г. Кабапиной, Н.Д. Зеленко, В.Д. Чехович, Р.Ю. Музаффаровой, И.Е. Губина, В.А. Вахрамеевича, А.В. Пейве, П.П. Чуенко, Б.А. Борнемалова, Г.А. Беленького, С.Х. Миркамаловой, Г.С. Чикрызова, Х.В. Рыскиной, Б.А. Яснович, А.К. Алферова, Ю.К. Лященко, О.Ю. Пославской, Х.М. Абдуллаева, С.В. Екшибарова, В.Л. Шевченко, Ш.Д. Давлятова, И.Х. Хамрабаева, И.В. Артюшкова, С.П. Карсакова, В.Ф. Зелениной, Н.А. Зеленина [1,2,3,4,5].

В геологическом строении нижней части Кашкадарьинской области принимают участие осадочно-метаморфические и магматические породы полеозоя и осадочные отложения мезо-кайнозоя, заполняющие эту впадину.

Северная часть степи-горная зона (отроги Зеравшанского хребта) - в основном сложена горными породами палеозойского возраста; юго-восточная предгорная зона (предгорья Гиссарского хребта); сложена преимущественно породами мезо-кайнозойского возраста; западная равнинная зона покрыта мощным чехлом четвертичных отложений [2,3].

Самые древние среди полеозойских пород – силурские зеленые глины и сланцы, переходящие в черные битуминозные, имеющие мощность около 80 м. сланцы развиты в горах Каратюбе и вскрываются по высокоподнятым частям рек Калкамы, Аякчи, Мадрида, Варганзы и Аксу. Широкая полоса их выходов наблюдается в верховьях Танхаздарьи и прослеживается в широтном направлении до Гульдары.

На сланцах силура залегают самые массивные кристаллические и слоистые известняки девона. Видимая мощность их составляет 500-600 м. известняки развиты в горах Каратюбе, протягиваются от Калкамасая до р.Аксу. Они отмечены по саям Калкама, Аякчи, Кеньгузар.

Осадочно-метаморфическая толща пород полеозойского возраста прорвана мощными интрузиями гранитной магмы, а гранитовидные породы получили небольшое развитие в верховьях р. Аксу. Толща палеозойских пород смята в сложные северо-западного, местами широтного простирания и разбита многочисленными разрывами того же простирания. Нарушения эти не затрагивают толщу мезокайнозоя.

В остальных участках палеозойские породы вскрываются скважинами на глубине 1530-2000 м., представлены метаморфическими и изверженными породами. Отложения мезозойского возраста непосредственно лежат на палеозое. В бассейнах р.Танхаздарьи и Яккабага юрские породы лежат без углового несогласия на зеленых сланцах. В Карнабской степи юра отсутствует, меловые отложения непосредственно лежат на палеозое.

Юрские отложения представлены серых глин, серых среднезернистых песчаников и зеленых слабоцементированных кварцевых гравелитов. Общая мощность отложений колеблется от 20 до 2000 м.

Отложения мела в исследуемом районе развиты очень широко. Большинство их обнаруживается в юго-западных отрогах Гиссарского хребта, где они, как юрские, имеют самые мощные и самые полные из известных в Центральной Азии разрезы. В юго-западных отрогах Гиссарского хребта четко выделяются отложения нижнего и верхнего мела. Мощность отложений в западной части территории 656 м., в восточной – 490 м.

Верхнемеловые отложения – сеноман, турон, сенон обнажаются в сводовых частях антиклинальных складчатых структур (Кунгуртау, Кассантау, Майманактау), а также вскрываются разведочными скважинами на глубинах 360 м. и повсеместно согласно залегают на нижнемеловых отложениях.

Палеогеновые отложения представлены толщей морских осадков бухарского, сузакского, алайского, туркестанского, местами сумсарского ярусов. В отложениях содержатся известняк, доломиты, глины, мергели, общая мощность сокращается с юго-востока на северо-запад от 120 до 50 м.

Палеогеновые отложения в описываемом районе согласно перекрываются мощной красноцветной континентальной толщей моласс, отнесенной к неогену, которые представлены серыми многократно чередующимися песчаниками и глинами с прослойками алевролитов и паттумов. Многие геологи – съемщики разделяют неогеновые красноцветные континентальные молассы на несколько толщ, которые отличаются по литологическому составу.

Четвертичные отложения как продукты разрушения описанных коренных пород в пределах нижней части Кашкадарьинской области имеют весьма неравномерное распространение [3]. Наибольшую площадь они занимают в западной равнинной части, образуя современный рельеф этой территории, и приурочены к долине Кашкадарьи и ее притоков

В результате тектонических процессов и выветривания коренных пород водные потоки переносили продукты разрушения в наиболее пониженные участки, что обусловило накопление генетически различных рыхлых отложений.

В качестве агента осадконакопления наряду с водными потоками значительную работу выполнял ветер, особенно в западной части впадины, где скопления эолового песка занимают обширную площадь. Несмотря на сохранение аридных условий с конца неогена и в течение всего четвертичного периода, основную роль в осадконакоплении играли водные потоки. Продукты их деятельности в значительной степени являлись исходным материалом и для эоловых накоплений.

Амударьинский комплекс отложений развит по днищам предгорных и горных саев, межгорных впадин, а также равнин, слагающих обширные сухие дельты, в том числе современную дельту Кашкадарьи. К амударьинскому комплексу относится аллювиально-пролювиальные, озерные, делювиальные, аллювиальные, золовые генетические типы отложений. Они отличаются плохой сортировкой.

Наиболее широко распространены аллювиальные отложения по долинам современных потоков в водосборном бассейне, они слагают I-II надпойменные террасы речных долин Кашкадарьи и Амударьи.

Отложения II надпойменной террасы довольно изменчивы вниз по долинам, что ярко выражено у Гузардарьи и ее составляющих Ката-Урадарьи и Кичик-Урадарьи. Отложения в верхнем течении этих рек, слагающих I террасу, представлены грубообдомочным материалом, слабоокатанным и плохо отсортированным.

В составе аллювиальных осадков I-II надпойменных террас Кашкадарьи преобладают пески, галечники с линзами супеси и глин, прикрытых супесчано-суглинистым чехлом мощностью 5-8 м. II надпойменная терраса сложена желтовато – серыми, коричневатожелтыми суглинками, супесями и в очень незначительной мере песками. I надпойменная терраса образует довольно широкие поверхности. Высота ее над поймой колеблется от 1 до 8

м., сложена она в основном галечником или рыхлым щебнем, сверху покрыта слоем мелкозема.

Пойменные отложения аналогичны I надпойменной террасе и отличаются меньшими мощностями мелкозема и преобладанием крупнообломочного материала.

Мощность современных аллювиальных отложений меняется от десятков сантиметров до 55 м. в районе слияния Кашкадарьи и Танхаздарьи [1,4,5].

Озерно-химические осадки залегают на размытой поверхности палеогеновых и неогеновых отложений. Они сильно засолены, представлены пухлыми корковыми солончаками. В районах Шорсай, Тудакуль, Денгизкуль и других, эти осадки представлены в нижней части темно-серыми, темно-голубыми глинами с соляным покровом.

Отложения сукайтинского комплекса (Q_3) развиты главным образом в равнинной зоне, где они слагают обширные плоские пространства пролювиального шлейфа и III надпойменной террасы р.Кашкадарьи, Кичик – Урадарьи и Катта – Урадарьи, Гузардарьи, Кызылдарьи, Танхаздарьи, Амударьи и других. Нижняя часть этих отложений представлена валунами, конгломератами, сцементированными песчано-известковым цементом, а верхняя часть – лессовидным суглинком серого цвета, пористого сложения с остатками корней растений, с включением галек среднего размера.

В равнинной части Кашкадарьи отложения этого комплекса слагают 3 террасу реки с превышением над дном к востоку от г.Карши на 13 и 18 м., в пределах горных и предгорных участков до 17 – 20 м. [1,5].

По левобережью Кашкадарьи, у подножья юго-западных отрогов Гиссара развиты в III террасе пролювиальные красноцветные суглинки и конгломерато-галечниковые отложения плоских конусов выноса рек Лянгара, Гузардарьи и др. На правом берегу Кашкадарьи они выполняют плоские днища Алачабофсая, Кайтсая и др. На конусах выноса в районе Караулбазара и Мубарека комплекс этих отложений имеет интенсивную красновато-бурую окраску. Сукайтинские отложения также отмечаются отдельными площадями и ниже по течению Кашкадарьи в пределах плоской сухой современной дельты, развитой к северу от Денгизкуля.

Другая характерная генетическая разновидность отложений III террасы – озерно-аллювиальные осадки, развитые вдоль притоков реки. Они представлены слоистыми светло-серыми глинами, подстилаемыми желтовато-серыми песками мощность в несколько метров.

По данным ряда исследователей, III надпойменная терраса сформировалась во второй половине верхнего плейстоцена и соответствует позднему горизонту сукайтинского комплекса; высота террасы 6-7 м. Мощность III террасы не превышает 3-4 м. В низовье Гузардарьи при переходе ее в пролювиальную равнину мощность суглинка увеличивается до 16 м. По данным картировочных скважин, в Нишанской равнине она превышает 75 м., в Талимаржанской равнине - 60 м.

Карнабский комплекс (Q_2) связан с новыми тектоническими движениями, обусловившими аккумуляцию грубообломочного материала в равнинной зоне.

В результате тектонических поднятий процессы регрессивной эрозии зашли вглубь гор, тем самым удлинился путь сноса обломочного материала, увеличилось его измельчение. Обработка грубообломочного материала предопределила накопление мощных отложений мелкозема, что способствовало созданию обширного лессового предгорного шлейфа и равнин.

В процессе боковой эрозии по долинам рек формировались широкие террасы – Карнабская и Шуркудукская, сложенные внизу галесниками, сверху лессовыми породами. Карнабский комплекс в горной части р.Аксу (вблизи поселка Кайнарбулак) представлен V и VI террасами, которые возвышаются над дном реки на 22 и 45 м. Наиболее мощные лессовые накопления имеются в районе слияния рек Кашкадарьи и Джиндыдарьи. Мощность отложений этого комплекса увеличивается от гор к равнине; в пределах Джамской степи она равна 10-12 м., а в предгорных прогибах, по данным картировочного бурения, достигает 250 м. (Зирабулак – Карнаб). На водоразделах рек Танхаздарья – Аксу и Танхаздарья –

Кызылдарья, Кызылдарья – Таркапчигайсай мощность лессовых пород изменяется от 15 до 58,8 м. (разрез Бузтепа, Фаттахов, 1963 г.).

Карнабский комплекс отложений представлен конгломератами и слабоцементированными галечниками в горной части, а на равнине суглинками лессового облика. Подобными отложениями характеризуются предгорные шлейфа, волнистые, слаборасчлененные и плоские равнины.

На юге степи отложения этого комплекса слагают обширные площади урочищ Арабдашт и Каратепа. Высота Арабдашта над поверхностью нижележащей террасы устье реки около 140 м., а Каратепа-100 м. и более. Ниже по течению Кашкадарьи мощность этих отложений сокращается до 40-50 м. В районе Мубарека они вскрываются бурением на глубине 20 м., вблизи Караулбазара-12 м. (Л.П.Ким, 1950).

В этом районе отложения данного комплекса представлены песчаниками.

В районе г.Карши в южной части впадины отложения Шуркудуксай террасы (Q₂) представлены породами лессового облика с галечниками в основании, общей мощностью 10-25 м. [1,2,3,4,5].

Отложения азкамарского комплекса (Q₁) дислоцированы в предгорных прогибах; этот комплекс представлен сильноуплотненными супесями и суглинками лессового облика с линзами песка, галечника и конгломерата в основании. В результате последующего размыва, обусловленного неотектоникой и обилием осадков, нижнечетвертичные отложения сохранились на ограниченных площадях и некоторых участках, занимающих водоразделы высокоподнятые участки склоново. К ним относятся отложения предгорий по обоим берегам Кашкадарьи в верхнем течении, а также ее крупных притоков Джиньдарьи, Кичик-Урадарьи, предгорной части р.Танхаздарьи, Кызылдарьи и других.

Литература

1. Юнусходжаева М.Т. Структурно-механические свойства лессовидных пород Каршинской степи (по данным экспериментальных исследований) // Узбекский геологический журнал. 1971. № 2.
2. Акрамов З.М., Пославская О.Ю., Хисамов А.В. Некоторые вопросы географического изучения Каршинской степи // Известия географического общества Узбекистана. 1964. № 8. С. 5-8.
3. Исламов А.И., Тетюхин Г.Ф. Четвертичные отложения и геоморфология // Гидрогеология СССР. Т. 39. Узбекская ССР. М.: Недра. 1971.
4. Кадыров Э.В., Мавлянов Э.В., Пулатов К.П. и др. Инженерно-геологическая характеристика четвертичных отложений юго-западной части Каршинской степи // Гидрогеология и инженерная геология аридной зоны СССР. Вып. 5. Ташкент: ФАН. 1969.
5. Мавлянов Э.В., Пулатов К.П. О классификации лессовых пород Каршинской степи // Узбекский геологический журнал. 1969. № 6. С. 46-48.

«ИНДИКАТОР ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ» НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO

Шаякубова М.З., Рахматов А.Р., Алимов Б.Г.
muxtabar.muxtabar.shayakubova@mail.ru
Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

В статье приводятся сведения о разработанном в Институте сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан приборе «Индикатор интенсивности сейсмических воздействий» на базе микроконтроллера ARDUINO UNO. Приведены особенности работы индикатора, алгоритм оценки интенсивности сейсмических воздействий, преимущества нового прибора.

Ключевые слова: землетрясение, акселерометр, вибрация, Arduino UNO, оповещения, сейсмические волны, тектоника, фошшоки, энергия, толчки.

Введение. Основная часть населения Земли проживают в сейсмически активных зонах, где происходили происходят и будут происходить сильные землетрясения. Например, в Средиземноморско-Азиатском поясе проживает более 4 миллиардов человек. Поэтому, проблемы обеспечения сейсмической безопасности населения, обеспечения населения достоверной информацией о произошедших землетрясениях, а также раннее оповещение землетрясений являются актуальной. К настоящему времени в Японии разработана и функционирует система раннего оповещения землетрясений, которая автоматически включает систему остановки высокоскоростных поездов, систем электро- и газоснабжения. Это система также отправляет экстренные сообщения о произошедших землетрясениях на мобильные телефоны населения.

Кроме этого, в области сейсмологии важнейшей проблемой является оперативная оценка интенсивности сейсмических воздействий. Эта оценка необходимо для организаций и ведомств, занимающихся предотвращением и ликвидацией последствий чрезвычайных ситуаций. оценка интенсивности сейсмических воздействий. С целью оперативной оценки интенсивности сейсмических воздействий разработаны различные индикаторы. В Институте сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан разработан и изготовлен «Индикатор интенсивности сейсмических воздействий» на базе микроконтроллера ARDUINO UNO.

Основная идея заключается в том, что система фокусируется на мониторинге и вибрации земли с помощью датчиков и генерирует предупреждающий сигнал, когда уровень вибрации земли пересекают пороговое значение. Обнаружение S-волн (сейсмических волн) или высокочастотных вибраций на входе Arduino Uno через акселерометр, который даст нам указание на землетрясении.

Алгоритм работы. Алгоритм работы индикатора интенсивности сейсмических воздействий землетрясений проста. Использование МЭМС-акселерометра для обнаружения вибраций землетрясения по любой из трех осей, чтобы всякий раз, когда возникают вибрации, акселерометр обнаруживал вибрации и преобразовывал их значение АЦП. Затем эти значения АЦП считываются Arduino и отображаются на ЖК-дисплее 16x2 [1,2,3]

Затем нам нужно вычистить эти выборочные значения из фактических показаний, чтобы получить реальные показания. Эта калибровка необходима для того, чтобы Arduino UNO не отображало оповещения относительно обычных окружающих вибраций. Arduino UNO сравнивает эти значения с максимальным и минимальным значениями, если пороговое число изменений больше или меньше предопределенных значений любой оси в обоих направлениях (отрицательное и положительное), тогда запускается сирена и отображается состояние предупреждения на ЖК-дисплее 16x2, а также включается светодиод. Мы можем

настроить чувствительность детектора землетрясений, изменив предварительно определенные значения в коде Arduino.

Работа этого детектора землетрясений на базе Arduino UNO довольно проста. Как мы упоминали ранее, мы использовали акселерометр для обнаружения вибраций землетрясения по любой из трех осей, чтобы всякий раз, когда возникают вибрации, акселерометр обнаруживал эти вибрации и преобразовывал их в эквивалентное значение АЦП. Затем эти значения АЦП считываются Arduino и отображаются на ЖК-дисплее 16x2, как реализована в схеме (Рис 1).

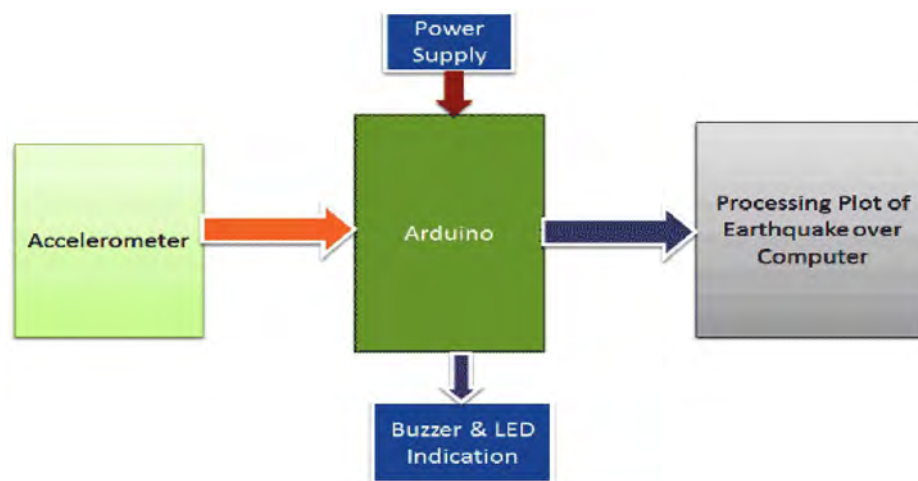


Рисунок 1 – Алгоритм обработки данных.

Затем нам нужно вычестить эти выборочные значения из фактических показаний, чтобы получить реальные показания. Эта калибровка необходима для того, чтобы он не отображал оповещения относительно обычных окружающих вибраций. Найдя реальные показания, Arduino сравнивает эти значения с predetermined максимальным и минимальным значениями. Если Arduino обнаружит, что какие-либо значения изменений больше или меньше predetermined значений любой оси в обоих направлениях (отрицательное и положительное), тогда Arduino запускает зуммер и отображает состояние предупреждения на ЖК-дисплее 16x2, а также включается светодиод. Мы можем настроить чувствительность детектора землетрясений, изменив предварительно определенные значения в коде Arduino [4,5].

Принцип работы сейсмического датчика оповещения землетрясений Arduino UNO также проста. Arduino UNO, позволяет считывать аналоговое напряжение акселерометра и преобразует его в цифровые значения. Arduino UNO также управляет сиреной, светодиодом, ЖК-дисплеем 16x2, вычисляет и сравнивает значения и предпринимает соответствующие действия. МЭМС акселерометр - это акселерометр, который обнаруживает вибрацию земли и генерирует аналоговые напряжения по трем осям (X, Y и Z). ЖК-дисплей используется для отображения изменения значений по осям X, Y и Z, а также для отображения предупреждающего сообщения. Этот ЖК-дисплей подключен к Arduino в 4-битном режиме. Контакты RS, GND и EN напрямую подключены к 9, GND и 8 контактам Arduino, а остальные 4 контакта данных ЖК-дисплея, а именно D4, D5, D6 и D7, напрямую подключены к цифровым контактам 7, 6, 5 и 4 Arduino. . Зуммер подключен к контакту 12 Arduino через транзистор NPN BC547. Резистор в 10k также используется для управления яркостью ЖК-дисплея (Рис 2)

Всякий раз, когда в земле нет вибрации, значения находятся на нулевых осях. Если во время землетрясения движение достаточно сильное и превышает определенный порог, т. е. максимальный предел достигает (20) по оси x (синий цвет), загорается светодиод, звучит

зуммер, а также отображается предупреждающее сообщение на ЖК-дисплее. Детектор землетрясений на основе Arduino с использованием акселерометра был протестирован и работает удовлетворительно. Установлено, что все компоненты системы работают должным образом. Обнаружение землетрясения с помощью акселерометра и подачи предупредительного сообщения в заранее определенное время будет достигнуто успешно. Акселерометр ADXL345 определяет вибрации перед землетрясением и выдает аналоговое напряжение, эквивалентное приложенному ускорению по осям X, Y и Z [6,7,8,9].

Три аналоговых выхода применяются к выводам АЦП Arduino Uno. Любое ускорение, вызванное движением по любой из осей, обнаруживается акселерометром и, следовательно, АЦП Arduino. Если во время землетрясения движение достаточно сильное и превышает определенный порог, загорается светодиод, звучит зуммер, а также отображается предупреждающее сообщение на ЖК-дисплее, а график можно построить с помощью программного обеспечения IDE (Рис 2), разработка собранного продукта с передачей данных через Ethernet можно видеть на (Рис.3).

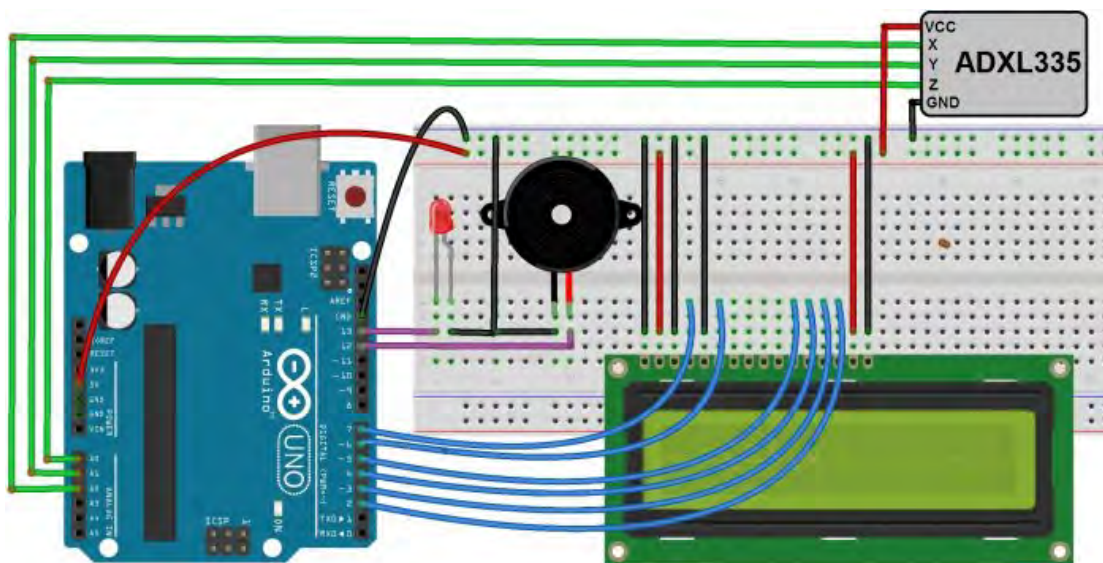


Рисунок 2 – Схема реализации датчика оповещения на базе Arduino Uno с выводом на ЖК-экран

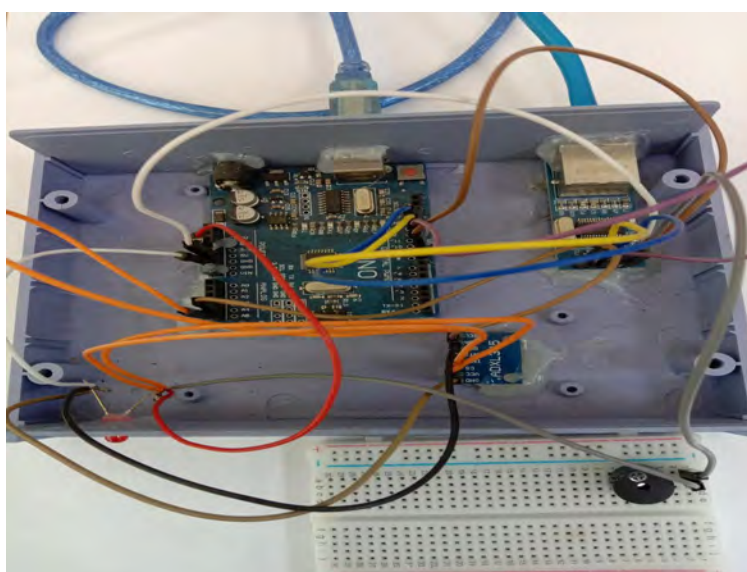


Рисунок 3 – Собранный продукт с последующей передачей данных по Ethernet

Программный код:

```
#include<LiquidCrystal.h> // lcd Header
LiquidCrystal lcd(7,6,5,4,3,2); // pins for LCD Connection

#define buzzer 12 // buzzer pin
#define led 13 //led pin

#define x A0 // x_out pin of Accelerometer
#define y A1 // y_out pin of Accelerometer
#define z A2 // z_out pin of Accelerometer

/*variables*/
int xsample=0;
int ysample=0;
int zsample=0;
long start;
int buz=0;

/*Macros*/
#define samples 50
#define maxVal 20 // max change limit
#define minVal -20 // min change limit
#define buzTime 5000 // buzzer on time

void setup()
{
  lcd.begin(16,2); //initializing lcd
  Serial.begin(9600); // initializing serial
  delay(1000);
  lcd.print("EarthQuake ");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Detector ");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.print("Calibrating.....");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Please wait...");
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  pinMode(led, OUTPUT);
  buz=0;
  digitalWrite(buzzer, buz);
  digitalWrite(led, buz);
  for(int i=0;i<samples;i++) // taking samples for calibration
  {
    xsample+=analogRead(x);
    ysample+=analogRead(y);
    zsample+=analogRead(z);
  }

  xsample/=samples; // taking avg for x
  ysample/=samples; // taking avg for y
  zsample/=samples; // taking avg for z

  delay(3000);
  lcd.clear();
  lcd.print("Calibrated");
  delay(1000);
  lcd.clear();
  lcd.print("Device Ready");
```



```

delay(1000);
lcd.clear();
lcd.print(" X Y Z ");
}
void loop()
{
int value1=analogRead(x); // reading x out
int value2=analogRead(y); //reading y out
int value3=analogRead(z); //reading z out

int xValue=xsample-value1; // finding change in x
int yValue=ysample-value2; // finding change in y
int zValue=zsampl-value3; // finding change in z

/*displying change in x,y and z axis values over lcd*/
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(xValue);
lcd.setCursor(6,1);
lcd.print(yValue);
lcd.setCursor(12,1);
lcd.print(zValue);
delay(100);

/* comparing change with predefined limits*/
if(xValue < minVal || xValue > maxVal || yValue < minVal || yValue > maxVal || zValue < minVal || zValue > maxVal)
{
if(buz == 0)
start=millis(); // timer start
buz=1; // buzzer / led flag activated
}

else if(buz == 1) // buzzer flag activated then alerting earthquake
{
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Earthquake Alert ");
if(millis()>= start+buzTime)
buz=0;
}

else
{
lcd.clear();
lcd.print(" X Y Z ");
}

digitalWrite(buzzer, buz); // buzzer on and off command
digitalWrite(led, buz); // led on and off command

/*sending values to processing for plot over the graph*/
Serial.print("x=");
Serial.println(xValue);
Serial.print("y=");
Serial.println(yValue);
Serial.print("z=");
Serial.println(zValue);
Serial.println(" $");
}

```

Результаты и обсуждение. Индикатор интенсивности сейсмических воздействий землетрясений может быть полезным устройством домашней безопасности, поскольку он

предупреждает людей о землетрясении до того, как оно произойдет; простой интерфейс и прочная конструкция. Данная система удобна и портативна, поэтому ее можно переносить с одного места на другое и схема не настолько сложна, и ремонт пригодна. Данная система включает в себя сирену(зуммер), и она эффективнее других систем сигнализации, доступных на рынке, акселерометр можно использовать для определения наклона, а также динамического ускорения в результате движения, удара или вибрации.

Выводы. Результаты этого исследования показывают, что прибор дает возможность получения количественных методов обнаружения различных природных катаклизмов, а также технологии позволяющие внедрения процессов для повышения безопасности и спасения жизней. Таким образом с целью уменьшить разрушения, вызванные землетрясением, предупреждая людей. Для решения проблемы автоматического обнаружения и классификации подземных толчков за один шаг с использованием устройства обнаружения землетрясений на базе Arduino. В нашей системе большинство случаев предлагают реальные практические преимущества в случае землетрясения для защиты жизней и ресурсов.

Литература

1. Джадха А.Р., Гаурав С.Г., Амол Б.Ч., Кавалджит К.Т., Аникет Д.П. Система обнаружения и оповещения о землетрясениях и наводнениях на основе контроллера ARM // Международный журнал перспективных исследований в области инженерии и управления. 2017. Т. 3. № 4.
2. Венкатешгупта Н.Н., Ринеш С. Обнаружение землетрясений на основе ИОТ с помощью языка вещей // Международный журнал чистой и прикладной математики. 2018. Т. 119. № 16.
3. Аллу Суреш Бабу, Найду Г.Т., Минакши У. Обнаружение землетрясений и оповещение с помощью ИОТ // Международный журнал научной инженерии и прикладных наук. 2018. Т. 7. № 5.
4. Варгантивар Н.К., Барбад А.С., Шингаде А.П., Шир А.Н. Проектирование беспроводной сигнализации о землетрясении на основе акселерометра MEMS // Международный журнал перспективных исследований в области науки, техники и технологий. 2017. Т. 4. № 3.
5. Нирмалап Н., Рекхап К. Исследование обнаружения землетрясений с использованием машинного обучения // Международный журнал научной инженерии и прикладных наук. 2016. Т. 2. № 6.
6. Прабин Кумар Бера, Рашми Рекха Саху, Чираг Нанда. Система обнаружения и предупреждения о землетрясениях для автоматического отключения линий электро- и газоснабжения в целях безопасности // Международный журнал инновационных технологий и инженерно-геологических изысканий. 2020. Т. 9. № 3.
7. <http://www.arduino.cc/>
8. <https://how2electronics.com/arduino-adxl345-accelerometer-interfacing-processing/>
9. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-earthquake-detector-alarm-circuit>

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ GPS ИЗМЕРЕНИЙ ВОСТОЧНОГО УЗБЕКИСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ В СРЕДЕ GAMIT-GLOBK

Шукуров З.Ф.

zukhriddin85@mail.ru

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

В работе представлены результаты обработки и анализ результатов GPS измерений Восточного Узбекистана и прилегающих территорий за последние годы в среде GAMIT-GLOBK. На основе проведенного исследования были обработаны и проанализированы данные 16 станций GPS, расположенных в Восточном Узбекистане и прилегающих территориях. Предложенная методика обработки и анализа данных 16 станций GPS может быть использована для определения современных горизонтальных и вертикальных движений земной коры, а также систематически мониторить и анализировать современные вертикальные и горизонтальные движения земной коры.

Ключевые слова: GPS, GAMIT-GLOBK, горизонтальные и вертикальные движения

Введение. Процесс обработки данных GPS осуществлялся на основе программы GAMIT-GLOBK, разработанной учеными из Массачусетского технологического института в США, работающей под управлением операционной системы Linux/Unix. Преимущество программы в том, что она работает в полуавтоматическом режиме [1,2].

Измеренные данные GPS в поле, данные GPS партнерских организаций, данные публично доступны в интернете собираются в одном месте для обработки в виде диаграммы потока данных GPS, представленной ниже (рис.1) [3].



Рисунок 1 – Процесс обработки GPS-данных в ИС РАН (А.Н. Мансуров)

Процесс обработки. На первом этапе процесса обработки в программе GAMIT данные GPS, измеренные в партнерских организациях и в полевых условиях, приводятся в соответствие с данными мировых сетей GPS. То есть почти все характеристики GPS-

приборов выведены на один уровень. Причина в том, что процесс обработки полуавтоматический, необходимо поставить на место все данные, вошедшие в обработку.

Пока что на практике считается координаты, полученные в базе данных GPS, очень точными и безошибочными, но это не всегда так, так как есть несколько случаев, снижающих точность координат, полученных в базе данных GPS. Это источники ошибок: неточное определение времени; ошибки вычисления орбит; инструментальная ошибка приемника; многопутность распространения сигнала; ионосферные задержки сигнала; тропосферные задержки сигнала; геометрическое расположение спутников (PDOP - Position Dilution Of Precision) [4,5].

Работа по измерению GPS. Во-первых, «сырые» данные GPS, измеренные в поле, копируются на компьютер. Данные GPS конвертируются в формат RINEX с помощью специальной программы TEQC. Ниже приведен пример процесса обработки данных 16 GPS станций на 190, 191, 192, 193, 194 дня 2016 года совместно с данными GPS тех же дней 2017, 2018 года.

На втором этапе, т.е. когда обработка в программе GAMIT доходит до полуэтапа, получают графики, отражающие точность h-файлов станций GPS. По этим графикам проверяется точность h-файлов. Если точность h-файлов нас удовлетворяет, переходим к следующим шагам, в противном случае возвращаемся к первому шагу и проверяем, что все на месте и правильно, после чего процесс повторяется снова.

В процессе обработки из исходных значений координат X, Y, Z в файле RINEX программой GAMIT удаляются вариации вышеуказанных ошибок, и создается результирующий h-файл. При этом проверяется точность полученных h-файлов. После проверки h-файлов они добавляются, т.е. создаются glx-файлы. Обработанные файлы glx обрабатываются с помощью программы GLOBK.

На завершающем этапе обработки в программе GAMIT-GLOBK получают временные ряды координат реперов, каталог скоростей реперов (таблица).

Таблица – Среднегодовая скорость горизонтального и вертикального движения 16 станций GPS

Таблица значений скорости, полученных в Gamit-Globk									
Long	Lat	Evel	Nvel	dEv	N +/-	Rne	Hvel	H +/-	Site
градус	градус	мм/год	мм/год	мм/год	мм/год		мм/год	мм/год	
115,89249	39,60860	31,32	-11,56	0,76	0,76	-0,26	-0,31	2,72	BJFS*
107,05233	47,86507	28,22	-8,56	-0,01	572,59	0,00	0,80	572,59	ULAB
104,31624	52,21902	24,55	-7,17	-0,71	0,57	0,12	1,03	2,19	IRKM*
96,83397	-12,18834	45,05	64,71	1,14	4,15	-0,06	5,94	12,89	COCO
91,10403	29,65733	44,74	17,76	-1,15	1,30	-0,08	1,00	4,92	LHAZ*
87,60067	43,80795	31,82	6,88	0,00	1000,00	0,00	1,49	1000,00	URUM
82,90949	55,03050	24,67	0,21	-1,68	1,60	0,07	-3,53	4,78	NOVM*
77,57038	13,02117	45,88	38,79	3,06	1,70	0,02	0,89	5,21	IISC*
74,75110	42,99850	27,06	2,51	-0,25	0,84	0,05	-4,64	2,89	CHUM*
74,69427	42,67977	27,81	4,96	-0,02	0,53	0,03	-1,36	1,99	POL2*
72,77750	40,52993	27,46	9,09	27,46	0,82	-0,03	-1,28	2,89	OSHK
71,78410	40,37440	27,99	9,43	27,99	0,88	0,06	-0,35	3,11	FGNA
69,29557	41,32805	24,02	3,27	-0,67	0,67	0,11	-2,97	2,48	TASH*
66,88545	39,13477	28,73	4,72	0,64	1,71	0,18	0,27	7,57	KIT3
58,56046	56,42982	25,85	5,81	0,58	0,73	-0,32	4,30	2,29	ARTU*
33,39645	35,14099	19,58	16,57	0,05	0,88	0,29	-1,63	3,08	NICO*

Среднегодовые результаты скоростей станций GPS в таблице на Восточном и Северном составляющих были проанализированы на основе программы Globk. Восточная

составляющая - это Гринвич, расстояние от меридиана 0° до станции GPS, а северная составляющая - расстояние от экваториальной линии Земли до станции GPS. На основе горизонтальных движений этих двух восточных и северных составляющих в 2016-2018 гг. построена векторная карта среднегодовых горизонтальных скоростей станций GPS относительно наземного центра (рис.2).

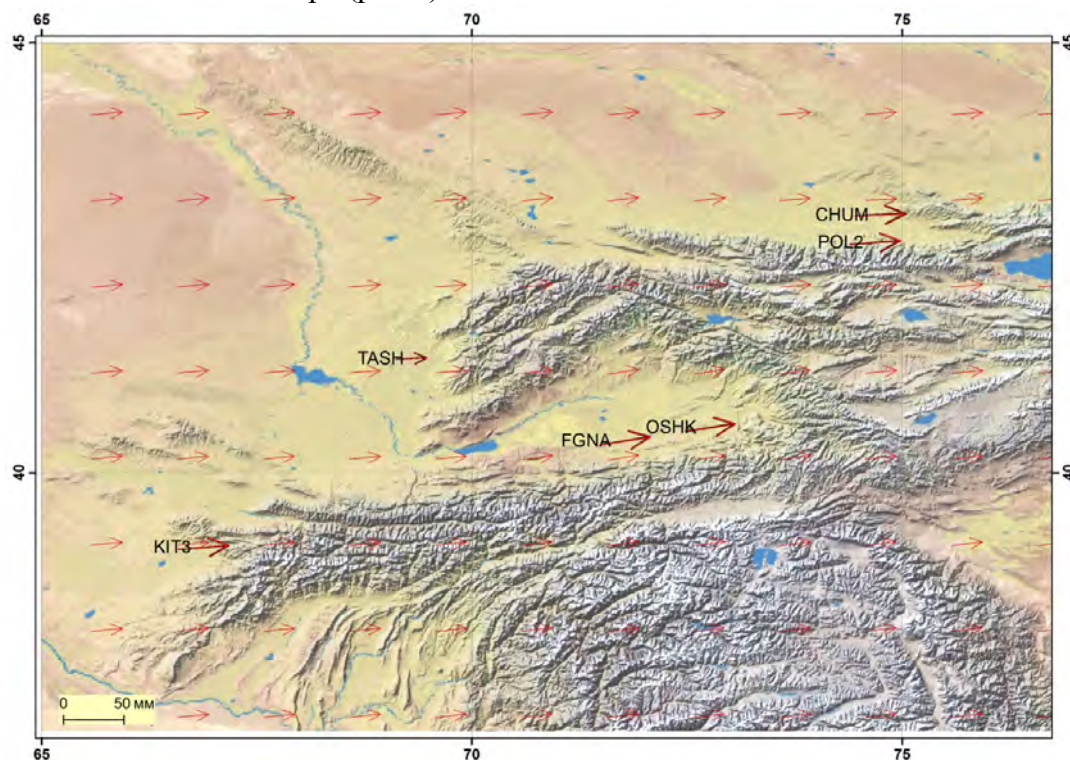


Рисунок 2 – Globk модель среднегодовой скорости горизонтального движения земной коры станций GPS Восточного Узбекистана и прилегающих территорий

Результаты. По карте видно, что годовые горизонтальные движения постоянных GPS станций, расположенных на территории Восточного Узбекистана в 2016-2018 гг., направлены на северо-восток. Годовые горизонтальные движения GPS станций «Фергана» и «Ташкент», расположенных на территории Восточного Узбекистана, составили 25 мм/год и 29 мм/год соответственно.

Выводы. В результате исследования на основе программы GAMIT-GLOBK результаты GPS-измерений Восточного Узбекистана и прилегающих территорий были сведены в единую региональную систему и предоставлены для обработки. Результаты позволили 16 станциям GPS определить современные горизонтальные и вертикальные движения земной коры, а также систематически мониторить и анализировать современные вертикальные и горизонтальные движения земной коры. На основе GPS-измерений для территории Восточного Узбекистана создана GLOBK-модель вектора скорости современных горизонтальных движений земной коры.

Литература

1. Herring T.A., King B.W., McClusky S.C. GAMIT. Reference manual. GPS analysis at MIT. Release 10.3 // EAPS. MIT. 2006. 182 p.
2. 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.
3. Мансуров А.Н. Автоматизация расчета скоростей геодезических марок по данным GPS-наблюдений // Вестник КГУСТА. Бишкек. 2014. № 6. С. 10-15.
4. <http://www.tk-chel.ru/download/doc/BasicGPS.pdf>
5. http://www.unoosa.org/documents/pdf/icg/2018/ait-GPS/09_M1.pdf

АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПОСТАНОВКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ

Эшметова Ш.У., Юлдашева М.Г., Бикеева Л.Р., Мамашарипов Ж.О.
yuldasheva@ing.uz

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

В работе выполнен анализ геолого-геофизических данных и рассмотрены перспективы нефтегазоносности юрских и палеозойских отложений южной части Судочьего прогиба Устюртского нефтегазоносного региона для проведения геологоразведочных работ с целью оценки территории для поиска месторождений нефти и газа.

Ключевые слова: перспективы, нефтегазоносность, юра, палеозой, сейсморазведка, прогиб, вал, структура.

Перспективность территорий Устюртского региона обуславливается наличием открытых месторождений и площадей с полученными признаками наличия углеводородов (газа, нефти и конденсата), к которым относится южное Приаралье, где располагаются южная часть Судочьего прогиба и Тахтакаирского вала. Дальнейшие перспективы наращивания запасов углеводородного сырья в ближайшие годы здесь связываются с юрскими отложениями, среди которых наиболее приоритетны нижнеюрские и роль которых в суммарном приросте запасов углеводородов будет неуклонно возрастать. Помимо отложений юрского возраста, определенные перспективы связываются с образованиями палеозойского возраста, в которых получены признаки газоносности и нефтеносности как в Устюртском регионе, так и на соседней территории Дарьялык-Дауданского прогиба [1].

История изучения территории была начата в 60-70-х гг. прошлого века, когда были заложены и пробурены параметрические и опорные скважины Кунград-1оп, Тахтакаир-1п, Раушан-1оп, которые дали важную информацию о геологическом строении разреза осадочного чехла и палеозойского комплекса пород, гидрогеологических и геохимических особенностей, общих закономерностей распространения комплексов отложений, результаты которых были использованы при разработке наиболее перспективных направлений поисковых работ в Южном Приаралье. В скважине Тахтакаир-1п, пробуренной до глубины 3800 м с забоем в отложениях нижней юры (рэт-лейас?), при испытании отложений средней юры получены слабые притоки газа дебитом 100 м³/сут. В скважине № 1 Раушан, вскрыт мезозой-кайнозойских отложений, в котором нижнеюрские отложения отсутствуют, юрские отложения залегают на палеозойских образованиях, представленных светло-серые, розовые биотитовые граниты, сильно трещиноватыми, выветрелыми, верхне-палеозойского возраста (пермь). Акрамходжаев А.М. (1962 г.) предполагал, что такие магматические породы относятся к формации геосинклинального этапа развития герцинского цикла.

В конце 80-гг. и начале 90- гг. Чекалиным Е.Н., Кимом Г.Б. в пределах юго-западной части Аральской впадины проведены сейсморазведочные работы МОГТ-2Д, в результате выявлены структуры Шагырлык, Шеге, Арка Кунград, которая была подготовлена к глубокому бурению.

Поисково-разведочными работами в юго-западном Приаралье, выполненными в 1996-2002 гг. Ешмуратовой З.С. Реймовым М.С. и др. изучено геологическое строение в пределах южной части Тахтакаирского вала и Судочьего прогиба по поверхности юрских отложений и предполагаемой поверхности палеозойских образований. Кимом Г.Б., Рыбачковым А.В. в 2002 г. подготовлена к глубокому бурению структура Шеге.

Следующий этап освоения территории глубоким бурением начался в 2000-х гг., когда были заложены скважины на площадях Арка Кунград и Шега.

Параметрическая скважина № 1п Арка Кунград была пробурена до глубины 4705 м с забоем в нижнеюрских отложениях, при бурении которых в интервалах 4193-4195 м были отмечены газопоказания до 10%, а до глубины 4197 м рост газопоказаний увеличился до 30%.

В северной части Тахтакаирского вала была введена в глубокое бурение структура Шега, на которой было открыто газоконденсатное месторождение в 2004 году, когда в поисковой скважине № 1 получены промышленные притоки газа из среднеюрских отложений дебитом 129 тыс.м³/сут при диаметре штуцера 8 мм (2043-2035 м) и 342 тыс.м³/сут при диаметре штуцера 14 мм (2039-2034 м).

В скважине № 2, пробуренной в 2 км к северо-востоку от скважины № 1, из верхнеюрских отложений (1176-1173 м) получена пластовая вода $Q_{в}=2,75$ м³/с, из среднеюрских отложений получены притоки пластовой воды со средним дебитом 7,22 м³/с. В скважине № 3, пробуренной на расстоянии 2,0 км к юго-востоку от скважины № 1, в нижнеюрских отложениях получена пластовая вода со слабым газом, из среднеюрских - получены притоки пластовой воды дебитом 65 м³/сут (2138-2152 м, 2153-2164 м).

По результатам выполненных работ по подсчету запасов (Сальников С.А., 2012 г.) представлена структурная модель по кровле продуктивного пласта J₂³, где в контуре газоносности только скважина № 1, а скважины №№2,3 за контуром газоносности, при этом структура представлена в виде антиклинальной складки разбитой на разломами северо-западного простирания. Последующими построениями (Юлдашева М.Г., Эшметова Ш.У., 2021 г.) было уточнено строение Шегинской складки, при этом установлено, что она унаследовано развивалась по юрским отложениям, в том числе по отложениям нижней юры. По имеющимся данным, прогнозируется увеличение мощности продуктивных горизонтов и улучшение коллекторских свойств в западном направлении. Но для создания достоверной модели месторождения, а тем более территории необходимо более полные геолого-геофизические данные.

В начале 2000-х гг. данная территория была выделена под инвестиционный блок, где проводились геофизические работы, нацеленные на изучению регионально-продуктивных юрских отложений, по материалам которых было уточнено особенности геологического строения территории. Было подтверждено, что в восточном направлении развивается мощный осадочный чехол, где существенным образом увеличиваются толщины его нижних секций.

Отчетливо наблюдается инверсионная структура Тахтакаирского вала (рис. 1), где по данным сейсморазведки мощности среднеюрских отложений увеличиваются в 2,5 раза по сравнению с Бердахским валом, где они потенциально продуктивны на всей территории, а мощности нижнеюрских отложений превышают 1000-1200 м [2]. Следует отметить, что несмотря на то, что первые работы по его изучению были опубликованы свыше 80 лет назад, степень его изученности достаточно низкая.

В западном направлении отложения нижней юры отсутствуют, что подтверждается результатами бурения параметрической скважины № 1п Раушан. Это свидетельствует о приподнятости этой территории в период мощного накопления отложений нижней юры, а возможно, сероцветных триасовых отложений, которые были вскрыты в пределах Южного Устюрта, а на соседней территории Казахстана являются продуктивными. Тахтакаирский вал по палеозойскому комплексу пород представлен тектонически ограниченными блоками [3], в основном, северо-западного простирания, с постепенным воздыманием в южном и юго-восточном направлениях.

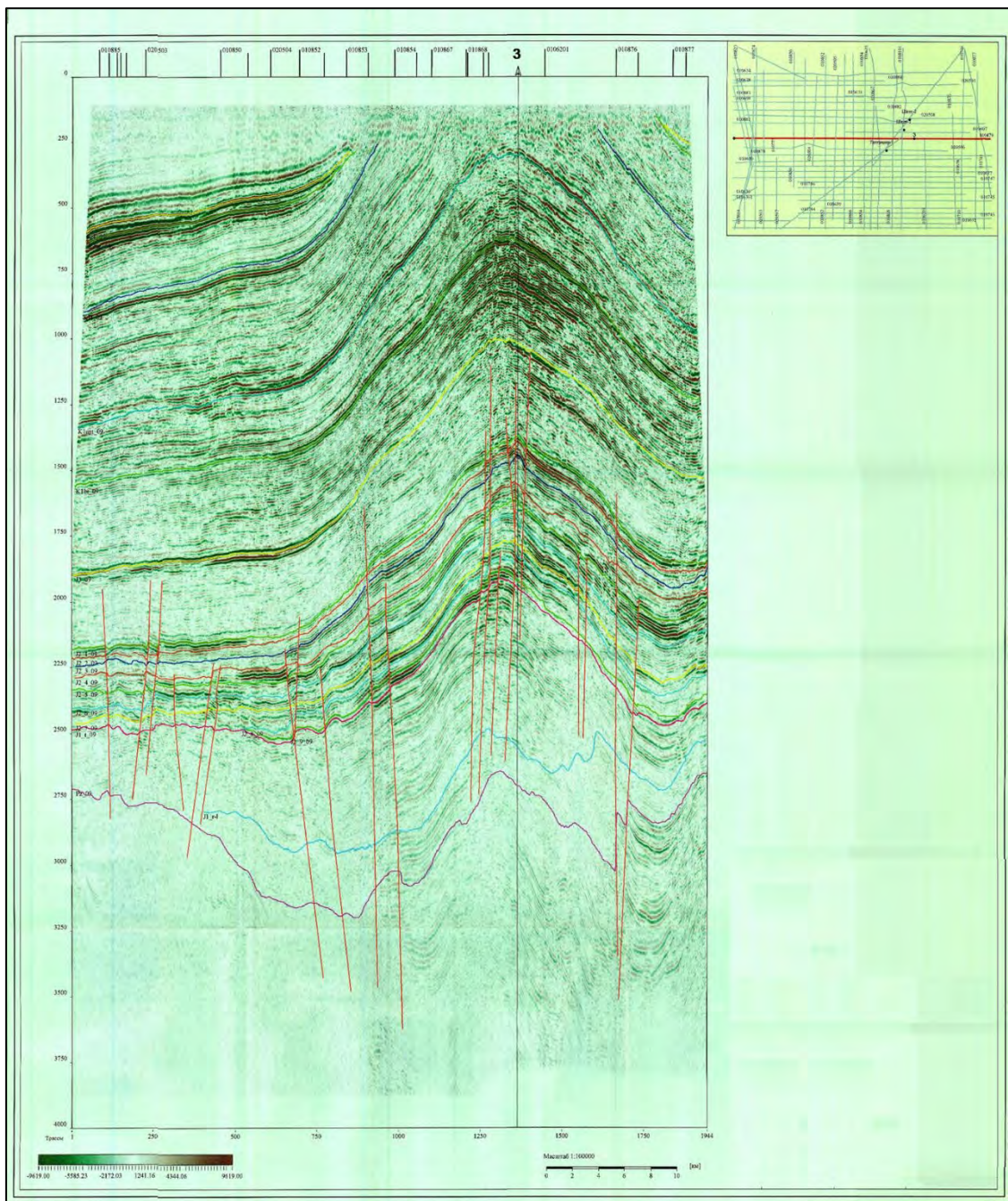


Рисунок 1 – Фрагмент временного разреза МОГТ-2Д

Имеющие геолого-геофизические материалы показывают, что на данной территории доюрский рифтогенез и последующее развитие бассейна привели к глубинным региональным разломам, которые возможно способствуют вертикальной миграции флюидов, что косвенно подтверждается получением признаков газоносности в единичных пробуренных скважинах в бортовых частях.

По данным дешифрирования, в пределах Тахтакаирского вала и южной части Судочего прогиба отмечается полоса развития субмеридионального направления и концентрация космоморфоструктурных аномалий (КФС) совпадающих с направлением Арало-Кызылкумского разлома. Сконцентрированные вдоль этой зоны объекты (Вост.Караджар, Вост.Шеге, Зап.Шеге, Кумысбугуль, Иткыр, Ю.В.Арка-Кунград, Вост.Саят и др.) отражают и подчеркивают ареал тектонической активизации. В юго-восточной части Судочьего прогиба выделяется крупный тектонический блок, ограниченный с востока региональным линеamentом северо-западного простирания северо-западный и южный борта блока ограничены линеamentами северо-восточного направления. В пределах этого блока выделена

серия геоинформационных аномалий, имеющих характерный рисунок элементов дешифрирования (Ишанколь, Джиликоль, Южн.Джиликоль и др.).

Оценивая в целом, по имеющимся предпосылкам, положительные перспективы нефтегазоносности юго-восточной части Устюртского региона, необходимо отметить слабую геолого-геофизическую изученность. Опубликованные литературные источники (главным образом статьи и данные геологических отчетов по пробуренным параметрическим и опорным скважинам территории) содержат далеко неполную информацию о тектонике, палеогеографии, стратиграфии и перспективам нефтегазоносности как нижнесреднеюрских, так и палеозойских отложений.

В связи с этим рекомендуется целенаправленное изучение данной территории сейсмической съемкой МОГТ-3Д с охватом глубокопогруженных отложений юрского и палеозойского комплекса пород с целью детализации строения нефтегазоперспективных структур и поиска новых объектов для поискового бурения.

Литература

1. Мелихов В.Н., Волкова И. Высокоперспективные направления разведки новых месторождений нефти и газа в Туркменистане // Геодинамика и углеводородный потенциал бассейнов Центральной и Восточной Азии. Междунар. науч.-техн. конф. Ташкент. 2005. С. 74-79.
2. Юлдашева М.Г. Выделение зоны газонакопления в нижнеюрских отложениях Бердахского вала Северо-Устюртской впадины // Актуальные проблемы геологии и географии Тянь-Шаня и сопредельных территорий. Материалы Междунар. науч. конф., г. Бишкек, 23 окт. 2020 г. Бишкек. 2020. С. 267-274.
3. Корбутяк А.Н. Новые данные о геологическом строении Арало-Кызылкумского вала // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 2014. № 4. С. 12-19.

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ В УСЛОВИЯХ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ

Юнусов А.И.

iunusov.a28@gmail.com

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

В работе рассмотрена возможность использования метода электротомографии с применением аппаратуры «Скала-48» на территории Тянь-Шаня. Представлены результаты интерпретации полевых данных с применением двух видов установок («Веннер» и «Шлюмберже»), полученных на профиле «Боом», заложенном в области восточного замыкания Чуйской впадины на Северном Тянь-Шане.

Ключевые слова: электротомография, метод сопротивлений, многоэлектродные установки, Северный Тянь-Шань.

Введение. С развитием аппаратного парка и программного обеспечения методы малоглубинной геофизики становятся более востребованными. Например, во многих районах и регионах мира все чаще и чаще возникает проблема нехватки воды, что имеет серьезные последствия для населения районов. Для решения данной проблемы можно применить электротомографию, как один из эффективных малоглубинных электроразведочных методов, позволяющий детально изучать геоэлектрическое строение грунта (на глубину до нескольких сотен метров) и разломных структур. Применение электротомографии целесообразно при всех детальных малоглубинных геофизических исследованиях – при инженерно-геологических и гидрогеологических изысканиях, изучении геологического разреза на малых глубинах. Для Научной станции РАН в г. Бишкеке очень актуально такое направление исследований, как изучение строения разломных структур, в том числе и скрытых под осадочными породами, и мониторинговые наблюдения за ними, как за объектами, которые наиболее чувствительны к геодинамическим процессам, происходящих в сейсмоактивных регионах [1, 2, 3, 4]. Трудности, связанные с выявлением и изучением разломных структур, перекрытых мощными кайнозойскими отложениями, зачастую можно преодолеть с помощью метода электротомографии. Поэтому, применение электроразведочной станции «Скала-48» для решения поставленных задач весьма логично.

Аппаратура. Аппаратура «Скала-48» (ООО «Конструкторское Бюро Электрометрии», г. Новосибирск) – 48-ми электродная электроразведочная аппаратура – предназначена для выполнения электроразведочных работ методами сопротивлений и вызванной поляризации в режимах электрического профилирования (ЭП), вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) и электротомографии (ЭТ) [5].

В аппаратуре реализован развитый пользовательский интерфейс, позволяющий полностью контролировать процесс работы и обладающий:

- интерактивным подбором параметров шаблона измерений;
- автоматической проверкой качества заземления электродов;
- оценкой стабильности каждого измерения;
- визуальным инструментарием контроля качества данных;
- автоматической фильтрацией и сглаживанием данных.

В комплект аппаратуры «Скала-48» входят две электроразведочные косы по 24 контакта каждая, соединители (с косы на электрод), электроды, аккумулятор, кабели для внешнего аккумулятора, USB кабель, флэш накопитель, программы SIBER TOOLS и RiPPP. В аппаратуре предусмотрено три режима работы: Instant - предназначен для работы в режиме электрического профилирования (ЭП); Manual - предназначен для работы в режиме

вертикального электрического зондирования (ВЭЗ); Automatic - предназначен для работы методом электротомографии (ЭТ).

Методика выполнения измерений. В 2021 году сотрудниками Научной станции РАН были выполнены работы с использованием метода электротомографии вдоль профиля «Боом», расположенного в районе поселка Жолбулак, Кеминского района (рис. 1.) с целью выявления скрытой разломной структуры (предполагаемым продолжением Иссык-Атинского разлома). Рельеф исследуемого участка имеет сложную форму, наибольшая высота 1685 м над уровнем моря.

Для проведения полевых работ методом электротомографии на профиле раскладываются косы (120 м) в противоположные стороны от центрального пункта наблюдений. После раскладки косы и заземления электродов, производится тестирование аппаратуры и тестовый замер измерений каждого электрода для оценки качества заземления. На профиле «Боом» электроразведочные работы выполнялись в режиме Automatic, при работе были задействованы многоэлектродные кабели, подключаемые к разъёмам «Коса 1 – 24» и «Коса 25 – 48», расстояние между электродами в каждой установке 5 метров (рис. 2). Регистрация полевых наблюдений осуществлялась с использованием запланированных типов установок. Результаты измерений сохранялись в формате *.d2d. Затем эти данные считывались и переносились на компьютер оператора для последующей обработки [6].

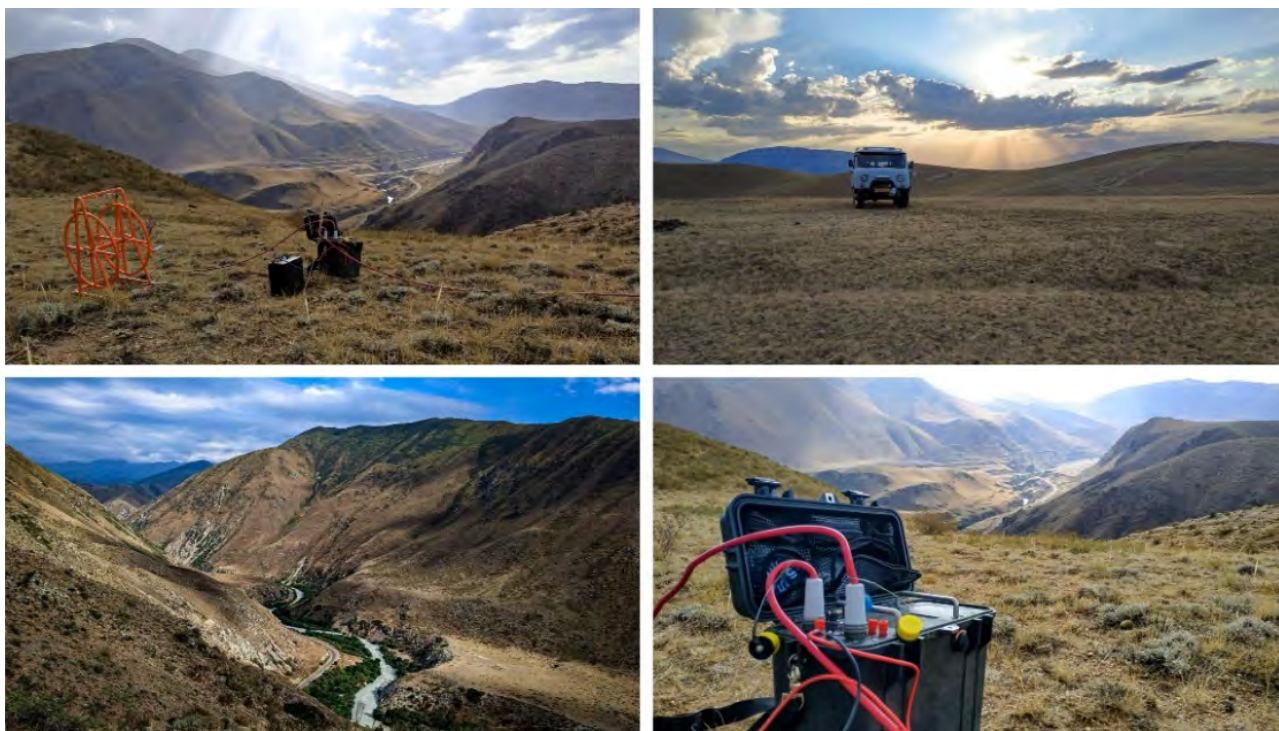


Рисунок 1 – Аппаратура «Скала-48». Полевые измерения на профиле «Боом»

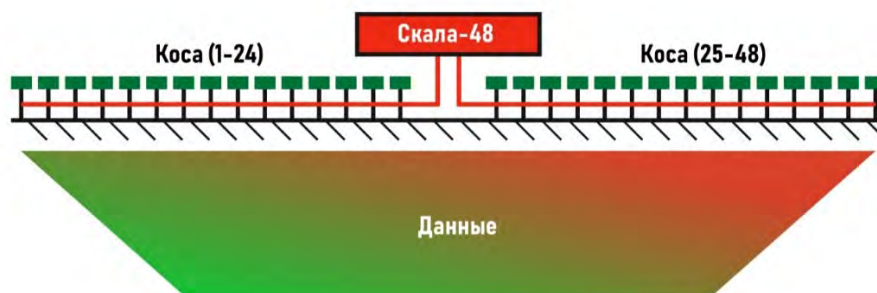


Рисунок 2 – Схема расстановки кос с электродами на электротомографическом профиле. Нумерация электродов начинается с дальнего электрода Косы 1 – 24, а заканчивается дальним электродом Косы 25 – 48 с шагом между электродами 5 м

Основы метода. Для проведения измерения методом сопротивлений на поверхности Земли размещаются и заземляются 4 электрода, которые в совокупности называются установкой: два питающих (А и В) и два приёмных (М и N). Каждой установке в наборе соответствует уникальное сочетание А, В, М, N. Основой метода сопротивлений является то, что регистрируется разность потенциалов, наблюдаемая на поверхности земли (ΔU_{MN}) при пропускании электрического тока (I_{AB}) через заземленные питающие электроды (рис. 3) [6, 7]. Зная коэффициент установки (K), можно вычислить очень важный физический параметр геологической среды – кажущееся электрическое сопротивление ρ_k :

$$\rho_k = K \frac{\Delta U_{MN}}{I_{AB}}, \quad (1)$$

где ΔU_{MN} - измерительная разность потенциалов между приемными электродами М и N, I_{AB} - ток в питающей линии, а K - геометрический коэффициент установки.

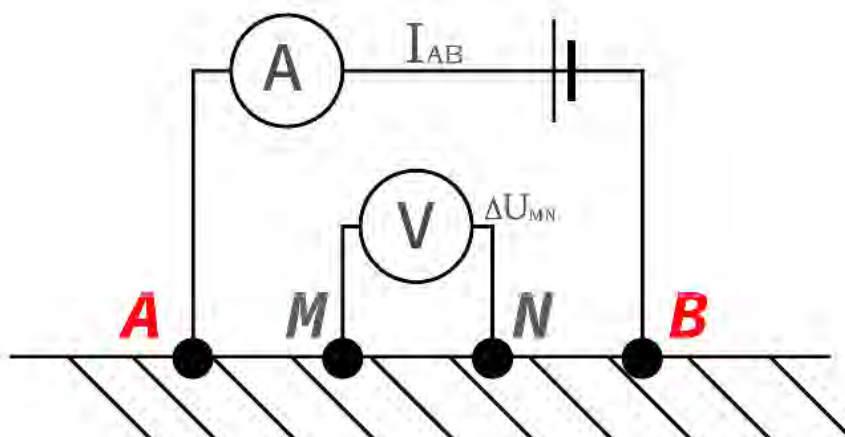


Рисунок 3 – Схема метода сопротивлений

В зависимости от соотношения расстояний между электродами А, В, М и N выделяют разные типы установок:

- Установка Веннера α , β , γ (Wenner Alpha, Beta, Gamma)
- Установка Шлюмберже (Schlumberger)
- Экваториальная дипольная установка (Equatorial Dipole-Dipole)
- Осевая дипольная установка (Inline Dipole-Dipole)
- Трёхэлектродная установка (Pole-Dipole)
- Двухэлектродная установка (Pole-Pole)

Обработка данных. Просмотр и визуализация данных, полученных аппаратурой «Скала-48», проводилась в программе SIBER TOOLS, которая предназначена для создания, редактирования файлов с описанием установок, а также первичной обработки данных – фильтрации, компоновки и экспорта в распространённые форматы [7, 8]. Данная программа позволяет создавать файлы шаблонов измерений S1D (содержащий информацию о типе используемой для ВЭЗ измерительной установки и о геометрии измерительных установок, входящих в данный комплекс измерений) и S2D (в режиме используется коммутатор) при работе задействованы многоэлектродные кабели, подключаемые к разъёмам.

Предварительная обработка данных удельного электрического сопротивления (УЭС) выполнялась с помощью программы RiPPP, которая также поставляется в комплекте со станцией. Программа визуализирует и позволяет редактировать данные, полученные аппаратурой «Скала-48» в формате *.d2d (файл измеренных данных) и *.top (файл высоты рельефа для каждого электрода). В ней можно фильтровать данные и экспортировать результаты предварительной обработки в формате *.dat. При наличии ошибочных или сильно

искажающих картину результатов, в программе есть возможность удаления измерений – отбраковки, на конкретных точках.

Отбраковка полевых измерений должна исключить искажённые данные из решения обратной задачи. Причиной искажений может стать как человеческий фактор, например, плохо заземлённый электрод, так и независимые от бригады, проводящей исследование, причины антропогенного характера. Для выявления искажений, вызванных причинами такого рода, очень важна предварительная информация о местности [6].

Результаты сравнения установок электротомографии: сопоставление и анализ.

Регистрация данных на профиле «Боом» выполнялась двумя видами установок: «Веннер» и «Шлюмберже». При инверсии были задействованы 4 косы, т.е. общая протяженность исследуемого участка составила 480 м. Результаты двумерной инверсии, полученные в программе DiInSo (<https://sourceforge.net/projects/diinso/>) представлены на рис. 4.

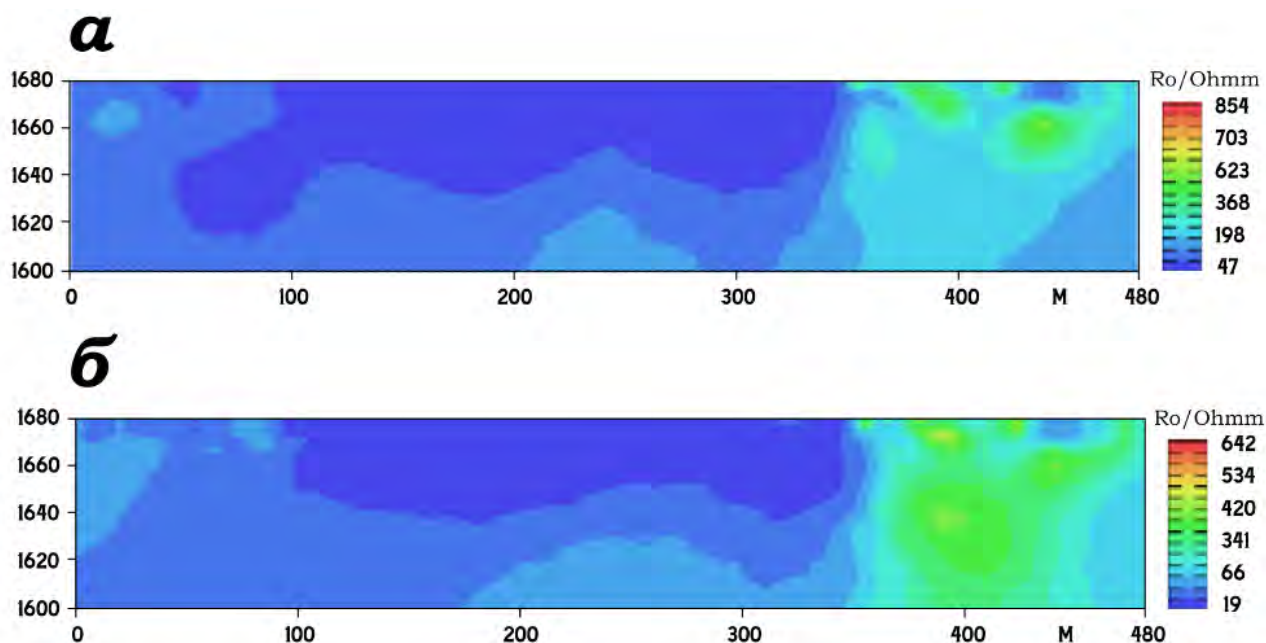


Рисунок 4 – Геоэлектрический разрез, после обработки данных электротомографии для участка профиля «Боом». Верхний разрез (а) – с использованием установки «Шлюмберже»; Нижний разрез (б) – с использованием установки «Веннер».

Выводы. Результаты инверсии наблюдаемых данных, полученных обеими установками, позволили выявить общие черты в характере распределения электрического сопротивления для правой части геоэлектрического разреза. Наиболее эффективной установкой для выполнения электротомографии следует считать установку Шлюмберже, так как она обладает одинаковой чувствительностью как к приповерхностным, так и к глубинным объектам. Кроме того, эта установка компактнее по горизонтали и максимальная глубина проникновения на 15% больше, чем для установки Веннера.

Литература

1. Рыбин А.К., Баталева Е.А., Баталев В.Ю., Матюков В.Е. Вариации электросопротивления земной коры по результатам магнитотеллурического мониторинга сейсмоактивных зон Тянь-Шаня // Вестник КРСУ. 2011. Т. 11. № 4. С. 29-40.
2. 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.

3. Баталева Е.А., Мухамадеева В.А. Комплексный электромагнитный мониторинг геодинамических процессов Северного Тянь-Шаня (Бишкекский геодинамический полигон) // Геодинамика и тектонофизика. 2018. № 2. С. 461-487.
4. Баталева Е.А., Матюков В.Е. Глубинное строение восточной части Иссык-Атинского разлома (Северный Тянь-Шань) // Тектоника и геодинамика земной коры и мантии: фундаментальные проблемы – 2022. Материалы 53-го тектонического совещания. М.: ГЕОС. 2022. С. 44-49.
5. Панин Г.Л. Многоэлектродная аппаратура методов сопротивлений «Скала-48» // Инженерная и рудная геофизика – 2008. Материалы конф. Геленджик. 2008. 2 с.
6. Мартыанов А.С. Разработка программных средств анализа данных аппаратурного комплекса СКАЛА. Дис. магистра информационных технологий. Новосибирск. 2013. 37 с.
7. Спичак В.В. Электромагнитная томография земных недр / Центр геоэлектромагнитных исследований ИФЗ РАН. М.: Научный мир. 2019. 374 с.
8. Балков Е.В., Панин Г.Л., Манштейн Ю.А., Манштейн А.К., Белобородов В.А. Электротомография: аппаратура, методика и опыт применения // Геофизика. 2012. № 6. С. 54-63.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ МАГНИТОМЕТРОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (GSM-19T И MB-01)

Юсупов В.Р.

valijon.yusupov@mail.ru

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

Приведены результаты измерительных работ, проведенных на различных магнитометрах для оценки значений локальной аномалии. Для исследования сейсмомагнитного эффекта при измерении полного векторного модуля магнитного поля земли использовались протонно-прецизионные магнитометры (ПМ-5, ТМП, МПП-102, MB-01). Точность этих магнитометров составляет 0,1-0,2 нТл.

Ключевые слова: магнитное поле, обсерватория, вариация, землетрясения, погрешность

Введение. Планета Земля обладает собственным магнитным полем, и впервые идею о Земле как о большом магните высказал в 1600 г. Уильям Гильберт. В отличие от упрощенных представлений Гильберта геомагнитное поле не только имеет сложную структуру, но и непрерывно изменяется в пространстве и во времени. Эти факты стали известны благодаря созданию чувствительных стрелочных деклинометров и инклинометров, которые позволили провести многочисленные тщательные измерения направления вектора геомагнитного поля в различных районах нашей планеты. Магнитное поле Земли представляет собой векторную сумму нескольких полей, каждое из которых имеет свои источники, как внутри планеты, так и в верхней атмосфере.

Непрерывные и разнообразные изменения во времени магнитного поля Земли привели к необходимости организации постоянных пунктов по контролю и регистрации этих вариаций. Огромная заслуга в создании сети магнитных обсерваторий и проведении синхронных наблюдений в начале XIX в. принадлежит Александру фон Гумбольдту. Он смог привлечь к участию в геомагнитных исследованиях ведущих ученых того времени, в числе которых был профессор астрономии Карл Фридрих Гаусс, создавший метод абсолютных измерений напряженности магнитного поля. «Магнитный союз», организованный Гумбольдтом и Гауссом, стал первым крупным международным проектом в истории геомагнетизма. С 1836 по 1841 гг. проводились одновременные визуальные наблюдения поля в 50-ти обсерваториях, которые выявили глобальный характер магнитных возмущений. В настоящее время в мировую сеть входит более 150 магнитных обсерваторий.

Магнитная обсерватория - это научное учреждение, в котором длительное время осуществляется непрерывная регистрация вариаций геомагнитного поля, производятся регулярные абсолютные наблюдения, первичная обработка и анализ достоверности данных. Основным материалом обсерваторий в течении более 100 лет были магнитограммы, - фотозаписи вариаций элементов геомагнитного поля. В последние десятилетия большинство обсерваторий перешло на цифровую систему получения и обработки данных, при которой основной продукцией являются ежесуточные файлы секундных и минутных значений вариаций ГМП с привязкой этих данных к абсолютным наблюдениям. Внедрение новых цифровых технологий позволило повысить точность измерений и автоматизировать часть процессов получения и обработки информации. Если несколько десятилетий назад считалась вполне удовлетворительной погрешность измерений ГМП в пределах 5-10 нТл (около 0,015% измеренных значений), то сейчас, в связи с развитием спутниковых измерений, перед магнитными обсерваториями ставится задача обеспечения погрешности наблюдений 0,1-0,5 нТл (около 0,001%). [1-4]

Максимально возможная точность измерений геомагнитного поля является главной целью каждой магнитной обсерватории. Для ведущих обсерваторий, на которых обычно работают опытные наблюдатели и научные сотрудники, усилия в достижении этой цели всегда являлись традиционными.

Второй важной задачей обсерваторий является обеспечение непрерывности регистрации вариаций ГМП. Пропуски в данных являются безвозвратными и могут привести к потере особо важной информации при неожиданных геофизических явлениях или техногенных катастрофах. Обсерватории являются источником оперативной информации о состоянии магнитного поля Земли, которая необходима в различных областях науки, при проведении геологических изысканий, в хозяйственной деятельности ряда предприятий.

Третьей функцией магнитных обсерваторий является контроль вековых вариаций магнитного поля Земли с помощью абсолютных наблюдений. Анализ вековых вариаций поля позволяет разрабатывать теории внутреннего строения планеты. Одновременно каждая магнитная обсерватория является хранителем уровней элементов геомагнитного поля, по которым производится сравнение рабочих магнитометров и буссолей.

Проблема оценки сейсмического риска и прогнозирования землетрясений сегодня является невероятно актуальной глобальной проблемой сейсмологических исследований. В частности, в связи с необходимостью разработки соответствующих решений для таких сложных задач, как прогнозирование землетрясений в мире, ведутся исследования по выявлению датчиков землетрясений на основе изменений магнитного поля Земли. Исследования сосредоточены на достоверности данных о геомагнитном поле, измеренных в полевых условиях. Достоверность полученной информации зависит от качества используемых магнитометров, точности их измерения поля. Поэтому перед запуском каждого магнитометра, используемого в геомагнитных исследованиях, например, в магнитной обсерватории "Янгибазар" проводится соответствующее обследование, определяется точность его измерения, оценивается средняя квадратическая ошибка его наблюдений, оцениваются общие технические характеристики магнитометра.

В последний раз Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан получил в 1991 году российский протонный предсезонный (балки прецессионный) магнитометр МВ-01 Российской Федерации. Спустя 30 лет в соответствии с постановлением Президента Республики Узбекистан от 9 августа 2017 года "О мерах по совершенствованию проведения научных исследований в области сейсмологии, сейсмостойкого строительства и сейсмической безопасности населения и территории Республики Узбекистан" ПП-3190 было приобретено 8 современных протонных магнитометров GSM-19T (Канада). Для определения качества работы этих магнитометров, оценки достоверности измеренных данных в магнитной обсерватории Янгибазар были проведены соответствующие исследования.

В Узбекистане наблюдения проводились с целью прогнозирования землетрясений, определения характеристик геодинамических и технологических процессов в магнитном поле Земли. Для оценки достоверности результатов наблюдений К.Н.Абдуллабеков, С.Х.Максудов, А.И.Туйчиев, М.Ю.Муминов, Е.Б.Бердалиев проводили научные исследования. Полученные результаты были опубликованы в ряде научных статей и монографий.

Аппаратура и методика обработки. В Институте сейсмологии для исследования сейсмомагнитного эффекта при измерении полного векторного модуля магнитного поля земли использовались протонно-прецизионные (прецессионные) магнитометры (ПМ-5, ТМП, МПП-102, МВ-01). Точность этих магнитометров составляет 0,1-0,2 нТл. Геомагнитные исследования проводились регулярно в течение разных лет, при этом значительное влияние на точность результатов при измерении аномальных вариаций оказало обновление магнитометров, применение относительно высокоточных, устойчивых магнитометров. Результаты измерительных работ, проведенных в разные годы на разных магнитометрах для оценки значений локальной аномалии, приведены в таблице 1 [5].

Таблица 1 – Магнитометрические приборы и погрешность их измерения [5]

Годы проведенных исследований	Тип магнитометра.	Ошибка измерения, нТл	Ошибка в распределении аномалий, нТл
1968-1970 гг.	ПМ-001, ПМ-5 магнитометр ПМП (Польша)	1,0÷2,0	2,0÷3,0
1971-1973 гг.	М-32, ММП-203	1,0÷1,5	1,5÷2,5
1974-1979 гг.	ТМП	0,1÷0,2	0,5÷0,8
1980-1990 гг.	ТМП, МПП-1, МПП-1М, МПП-102	0,1÷0,3	0,5÷0,8
		0,3÷0,5	0,6÷1,0
1990-2020 гг.	МПП-1,	0,1÷0,3	0,5÷0,8
	МПП-1М,	0,1	0,3
	МВ-01	0,1	0,3
	Geometrics	0,1	0,3
2021 г.	МВ-01	0,1	0,3
	GSM-19Т	+/- 0,2	0,3

Результаты и обсуждение. В Янгибазарской магнитной обсерватории проведены синхронные контрольно-наблюдательные исследования с использованием 5 новых современных магнитометров GSM-19Т и МВ-01. Дискретность наблюдения составила 2 минуты. Расстояние между магнитометрами составляет 10 метров. Результаты наблюдений были загружены в файл Excel через компьютерную программу GEMLink 5.4. Среднеквадратическая погрешность протонных магнитометров GSM-19Т определялась по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{n}} \quad (1)$$

где, ΔT - разность величин каждого прибора по отдельности, n-количество измерений.

Средняя квадратичная точность измерения: [4]

№ GSM-19Т 1018197

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{n}} = \sqrt{\frac{7,59}{68}} = \sqrt{0,11} = 0,33 \text{ нТл,}$$

№ GSM-19Т 1018198

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{n}} = \sqrt{\frac{9,18}{68}} = \sqrt{0,14} = 0,37 \text{ нТл,}$$

№ GSM-19Т 1018200

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{n}} = \sqrt{\frac{8,98}{68}} = \sqrt{0,13} = 0,36 \text{ нТл,}$$

№ GSM-19Т 1018201

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{n}} = \sqrt{\frac{4,36}{68}} = \sqrt{0,065} = 0,25 \text{ нТл,}$$

№ GSM-19Т 1018203

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{n}} = \sqrt{\frac{3,72}{68}} = \sqrt{0,05} = 0,23 \text{ нТл,}$$

№ МВ-01

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{n}} = \sqrt{\frac{6,8}{68}} = \sqrt{0,10} = 0,31 \text{ нТл},$$

Кроме того, среднеквадратичные погрешности протонных магнитометров GSM-19Т и MV01 были определены с использованием следующего уравнения путем определения разницы между синхронными измерениями двумя устройствами:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{2n-1}} \quad (2)$$

где, ΔT - разность показателей двух приборов, n - количество измерений.

МВ-01 - GSM-19Т средняя квадратическая погрешность между магнитометрами следующей:

№ GSM-19Т 1018197

$$\sigma = \sigma_{GSM} - \sigma_{MB-01} = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{2n-1}} = \sqrt{\frac{3,41}{2*68-1}} = \sqrt{0,025} = 0,15 \text{ нТл},$$

№ GSM-19Т 1018198

$$\sigma = \sigma_{GSM} - \sigma_{MB-01} = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{2n-1}} = \sqrt{\frac{2,24}{2*68-1}} = \sqrt{0,015} = 0,12 \text{ нТл},$$

№ GSM-19Т 1018200

$$\sigma = \sigma_{GSM} - \sigma_{MB-01} = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{2n-1}} = \sqrt{\frac{11,39}{2*68-1}} = \sqrt{0,084} = 0,29 \text{ нТл},$$

№ GSM-19Т 1018201

$$\sigma = \sigma_{GSM} - \sigma_{MB-01} = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{2n-1}} = \sqrt{\frac{110,31}{2*68-1}} = \sqrt{0,81} = 0,90 \text{ нТл},$$

№ GSM-19Т 1018203

$$\sigma = \sigma_{GSM} - \sigma_{MB-01} = \sqrt{\frac{\sum \Delta T^2}{2n-1}} = \sqrt{\frac{11,28}{2*68-1}} = \sqrt{0,083} = 0,28 \text{ нТл},$$

Среднеарифметическая точность магнитометров с использованием магнитометрических данных МВ-01 - GSM-19Т, проведенных в Янгибазарской магнитной обсерватории.

$$\sigma_{\text{ср}} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 + \sigma_4 + \sigma_5}{6} = 0,348 \text{ нТл}$$

Таблица 2 – Средняя квадратическая погрешность наблюдений магнитометров GSM-19Т

№	Серийный номер магнитометра.	$\sum \Delta T^2$	$2n - 1$	σ , нТл
1	№ GSM-19Т 1018197	3.41	135	0.15
2	№ GSM-19Т 1018198	2.24	135	0.12
3	№ GSM-19Т 1018200	11.39	135	0.29
4	№ GSM-19Т 1018201	110.31	135	0.90
5	№ GSM-19Т 1018203	11.28	135	0.28

График контрольных наблюдений геомагнитного поля, проведенных в магнитной обсерватории Янгибазар показан на рисунке ниже.

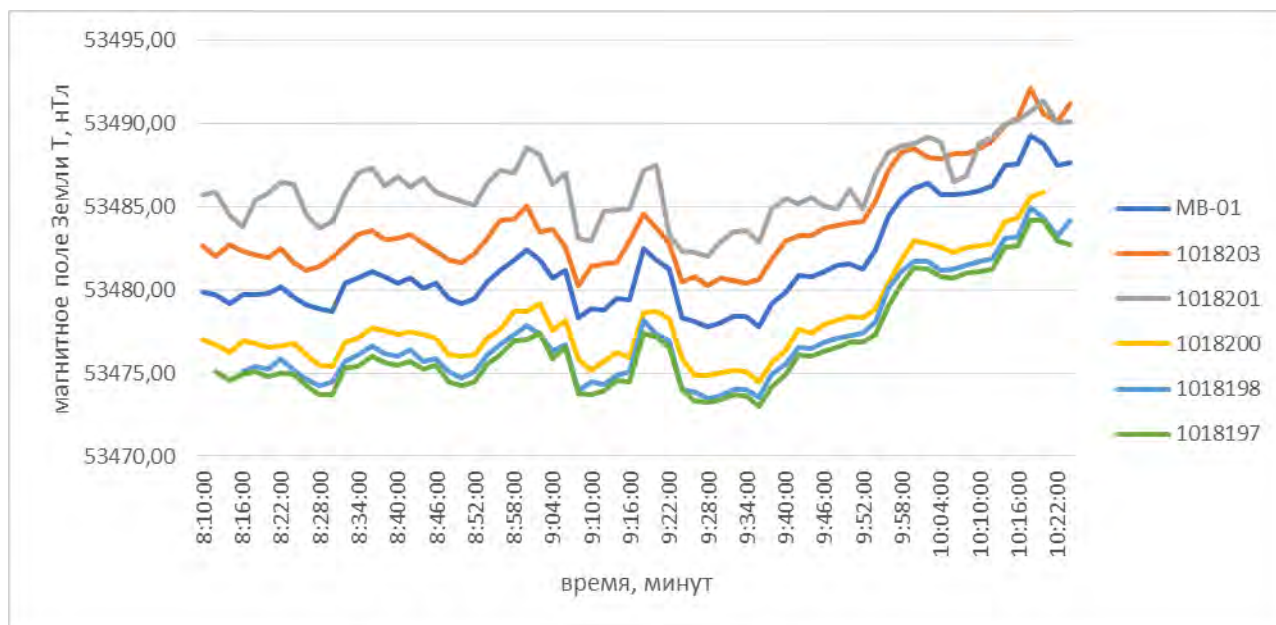


Рисунок 1 – Результаты исследований магнитного поля, проведенных в Янгибазарской магнитной обсерватории

Так, в результате контрольно-наблюдательных исследований, проведенных в Янгибазарской магнитной обсерватории, было проверено общее техническое состояние новых современных магнитометров GSM-19T. Установлено, что точность магнитометров при однократном измерении равна 0,1 нТл. Установлено, что среднеквадратичная погрешность проведенных наблюдений составляет 0,348 нТл.

Выводы. Полученные результаты служат для снижения погрешности наблюдений магнитного поля, решения вопросов по выявлению очагов землетрясений и их прогнозирования, поиска и разведки месторождений полезных ископаемых, могут быть использованы для повышения знаний и квалификации по дисциплине мониторинг разведка для студентов, обучающихся по направлениям геологии и геофизики.

Литература

1. Яновский Б.М. Морфология и теория магнитного поля земли и его вариаций. Л.: Изд-во ЛГУ. 1964. 445 с.
2. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х. Вариации геомагнитного поля сейсмоактивных районов. Ташкент: Фан. 1975. 128 с.
3. Абдуллабеков К.Н. Электромагнитные явления в земной коре. Ташкент: Фан. 1989. 232 с.
4. Абдуллабеков К.Н., Туйчиев А.И., Джиянов Т.П. Оценка точности абсолютных протонных магнитометров при высокоточных магнитных съемках // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. Ташкент: ИС. 2005. № 2. С. 162-166.
5. Абдуллабеков К.Н., Максудов С.Х., Туйчиев А.И. Инструкция по прогнозированию землетрясений магнитометрическим методом. Ташкент: Минитипография АН РУз. 2019. 16с.

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ

AN INVESTIGATION OF BARE-SOIL INDEX FOR SUBURBS OF BISHKEK, KYRGYZSTAN USING LANDSAT 8 DATA

Mamadbekov A.E., Orunbaev S.Zh., Nurgaziev M.

mamadbekov_a@auca.kg

American University of Central Asia, Bishkek, Kyrgyzstan

Bare soil is an important component of the urban landscape and plays an important function in urban settings. Separating bare soil from other land cover categories using remote sensing techniques, however, remains a major difficulty. There are numerous spectral indices based on remote sensing that can be used to detect barren areas, although their usefulness varies depending on land cover patterns and meteorological conditions. A new bare-soil index (BSI) has been devised and employed to map developing in the city of Bishkek using Landsat OLI/TIRS from 2017-2021, in this work. The results suggest that the BI has a positive effect on not only enhancing bare soil information but also inhibiting background information and improving detection accuracy. The findings of this study may have scientific and practical use in regional remote sensing monitoring and land use classification accuracy.

Key words: bare soil index, bare soil detection, remote sensing, Landsat 8

Introduction. The soil is a mixture of organic, mineral particles that are formed into layers by biological, chemical and physical processes. Like air and water, soil moisture should not be underestimated. It is the basis of an ecosystem that filters water, supplies nutrients to forests and fields, and participates in regulating the temperature of the earth [1].

There are three stages of soil type classification. Early soil classification (USDA 1938), which was mainly focusing on environmental process and the soil forming what leads to zonal classification (in which climate and vegetation had a major role in pedogenesis), as well as azonal and intrazonal pedogenesis (in which pedogenesis was mainly determined by time of development and parent material). The distinction between azonal and intrazonal soils was created based on the evolution of the soil profile. A latter development soil classification, which was focusing on the processes in the soil itself. Soil parameters were used to characterize these processes. The French categorization system is a good illustration of the latter technique (CPCS, 1967). And the last one is, with the publishing of the USDA Soil Taxonomy's 7th Approximation, modern soil classification began. There, "diagnostic soil horizons" were defined using carefully specified and quantified soil parameters alone or in combination. Numerical soil classification systems are included in postmodern soil classification approaches, which make considerable use of statistics and fuzziness (developed by Webster, Fitzpatrick and McBratney) [2]. This paper will mostly affect more modern methods of teaching the soil.

A big amount of remotely sensed data from Earth Observation Satellites are collected in any space mission. This information has to be analyzed and studied in order to beget precise and timely data about the Earth's recourses. Data compression methods or classification of numerous Earth features are used to minimize the volume of ground data. The clever sensor on the Rohini Series Development 2 (RS-D2) satellite, which was launched recently from Sriharikota in Andhra Pradesh, was a dual-band solid-state camera with ranges in the visible and near-infrared regions of the spectrum. The sensor had the ability to perform on-board classification of Land features into water, bare land areas, overgrown areas, and areas covered with clouds/snow (four broad classes of surface satellite features on Earth), in an attempt to reduce the basic time delay in providing information about object identification and location to remote sensing data users [3].

Existing soil survey data sets may be able to be extended using remote sensing. Its data can be used in a variety of ways. For starters, it may aid in segmenting the landscape into internally more or less homogeneous soil-landscape units, from which soil composition can be determined using

traditional or advanced sample methods. Second, soil qualities can be determined by analyzing remotely sensed data using physically based or empirical methods. Furthermore, remotely sensed images can be used to enhance digital soil mapping as a data source. Despite the fact that remote sensing and soil spectroscopy have been identified as potentially effective and cost-effective technologies, they are not being used consistently in soil surveys. Our understanding of how to utilize remote sensing breakthroughs to soil and terrain mapping is still limited [4].

The presence of bare soil in peri-urban and rural areas has made precise classification of urban land covers problematic. This is partly due to the fact that bare soil and urban features have spectral properties that are very similar [5]. The use of settlement goods (e.g., World Settlement Footprint-WSF) could help to reduce the amount of uncertainty to mask out urban areas [6]. Because these data are only pooled for a few specific time frames, data continuity is a disadvantage. Because agricultural bare soil is seasonal, and urban features are permanent, multitemporal data could be used to detect bare soil [7-8].

Data and methodology

Study area. The study of the topic takes place on the example of the city of Bishkek. It is located at an elevation of 2,500–3,000 feet (750–900 meters) in the Chu River valley near the Kyrgyz Mountains. The Ala-Archa and Alamedin rivers run through Bishkek, which intersects with the Bolshoy (Great) Chuysky Canal in the north [9].

Data and image pre-processing. Images were collected from US Geological Survey (USGS) website [10]. There were collected five Landsat 8-9 (OLI/TIRS) images from 2017 to 2021 mainly in the summer time (for more accurate time, see Figure 1). Landsat-8 was retrofitted with coastal aerosol and cirrus bands for cloud-related investigations, compared to other Landsat spacecraft. The biggest disadvantage of Landsat 8 data is the low resolution of thermal infrared bands, which is roughly 100 m compared to 60 m in Landsat 7, which affects the accuracy of detecting urban bare soil using the thermal band [11-12]. As a result, the thermal infrared band was dropped from potential indices, while the other bands were chosen to keep the index resolution at 30 m. SWIR bands were given special consideration since they can penetrate thin clouds and distinguish vegetation and soil [13]. Further changes to the processing of satellite images were made using the *QGIS v.3.20* program.

The Operational Land Imager (OLI), on board Landsat 8 measures in the visible, near infrared, and short-wave infrared portions of the spectrum [10]. Its images have 15 m panchromatic and 30 m multi-spectral spatial resolutions along a 185 km wide swath, covering wide areas of the Earth’s landscape while providing sufficient resolution to distinguish features like urban centres, farms, forests and other land uses (Tab. 1).

Table 1 – Landsat 8 band identification [10]

Band Reference Number	Band Description	Band Center (nm)	Resolution (m)
1	Coastal Aerosol (Operational Land Imager (OLI))	433-450	30
2	Blue (OLI)	451-510	30
3	Green (OLI)	530-590	30
4	Red (OLI)	640-670	30
5	Near-Infrared (NIR) (OLI)	850-880	30
6	Short Wavelength Infrared (SWIR) 1 (OLI)	1570-1650	30
7	SWIR 2 (OLI)	2110-2290	30
8	Panchromatic (OLI)	500-680	15
9	Cirrus (OLI)	1360-1380	30
10	Thermal Infrared Sensor (TIRS) 1	10600-11190	100
11	TIRS 2	11500-12510	100

Bare-soil Index (BSI) methodology. According to Samuel Akande, the Bare Soil Index (BSI) is used to extract bare land from satellite data. The index was created to analyze bare soil, as bare soil plays a major role in most dry locations by causing dust storms [14]. The Bare Soil Index (BSI) is a numerical indicator that captures soil differences by combining blue, red, near infrared, and short wave infrared spectral bands. These spectral bands are normalized before being used. The blue and near infrared spectral bands are utilized to highlight the presence of plants, while the short wave infrared and red spectral bands are employed to measure the soil mineral composition [15]. The index is based on the following *formula (1)*:

$$BSI = ((Red+SWIR) - (NIR+Blue)) / ((Red+SWIR) + (NIR+Blue))$$

Results

Five satellite images of the summer period were obtained, and a processed BSI presented below in a graph form (fig.1). Moreover, this particular area was chosen, since the authors has a good physical knowledge of the city. BSI-index peaks almost in all graphs around 55000. There are similarity in the graphs 2019 and 2021, slightly increasing around 70000, in the figure 1.

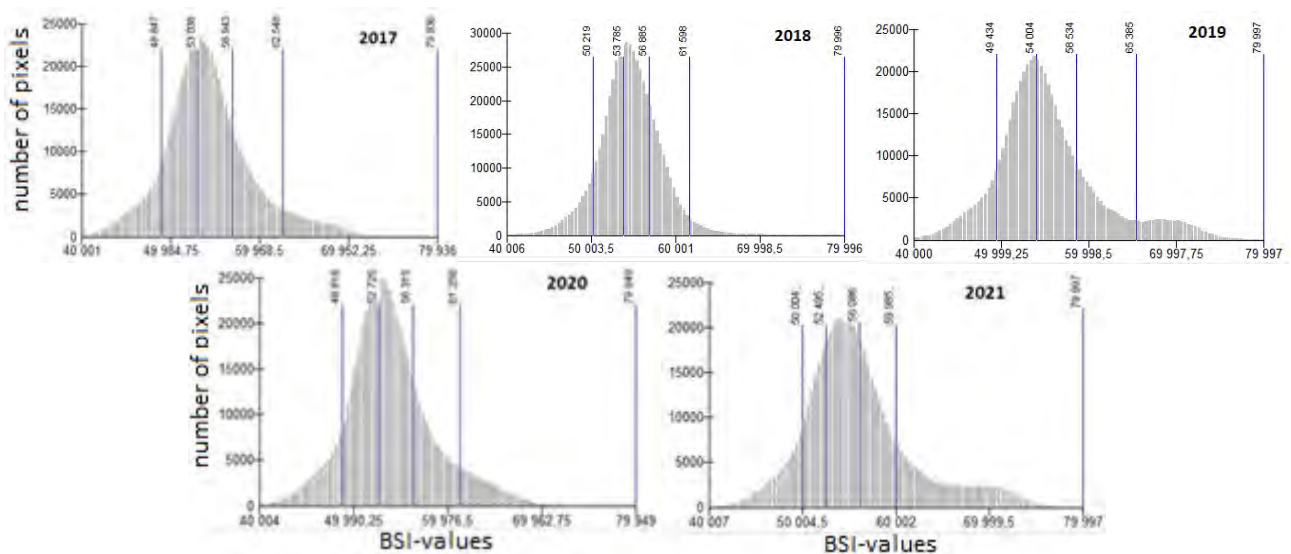


Figure 1 – BSI-values vs a concentration of BSI by number of pixels for whole 2017-2021 period

A visual comparison of the bare soil is presented in the figure 2. There are images with BSI index from 2017 to 2021. Figure 1a) derived from OLI data of Aug. 31, 2017, figure 1b) from July 01, 2018, figure 1c) from Aug. 21, 2019, figure 1d) from Aug. 23, 2020 and the figure 1e) one from July 25, 2021. In figure 1c) results of BSI increased very well as can be seen on the image, comparing the entire scene, and also the bare-soil is clearly defined with vivid pixels. In figure 1b) visually can be noticed the decreasing of the bare soil, however, the vegetation is also defined by bright pixels.

It is a spot with a high level of bare soil, but after a year in Figure 1d), the spot is mostly disappeared. This phenomenon may be related to the greening policy of the city. For example, just at the beginning of 2020, there was a session “Concept for the development of the green fund of the city of Bishkek”, where decisions were made on greening the city [16]. This greening policy had been worked well since in Figure 1e) the spots even got fewer. The vegetation level is getting bigger not only in the area of the spot but across the whole city (figure 1e). Figure 1 (a, c, d) present almost the same output.

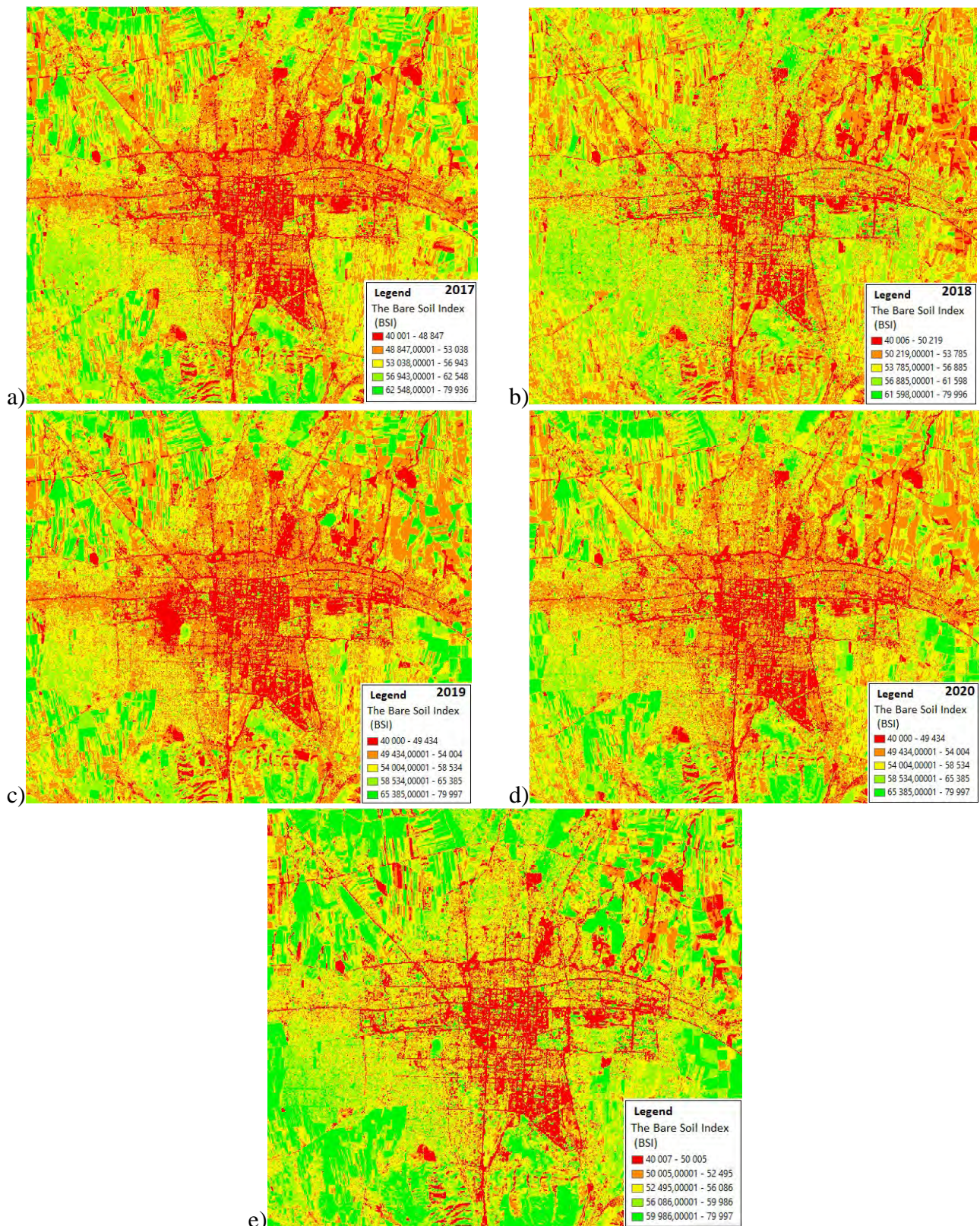


Figure 2 – Landsat 8 images of study area. BRI analyzed images since 2017 to 2021: a), b), c), d) and e)

Conclusion

In the ecosystem, bare soil performs a vital role. It could be the source of dust storms and a sign of urbanization. Monitoring bare-soil locations is also vital, but using existing methods to automatically extract bare-soil areas was not a smart idea. In this work, we create a methodology of analysis of bare soil. Formula (1) is a combined formulation of the bare-soil index (BSI) and it is

applied to Landsat 8, covering Bishkek city. Results gave us quite interesting and promising results for the city and maybe of the future of the suburbs of Bishkek as a city that becoming greener.

References

1. Hutson, Janet. *Soil Sense // Teaching Geography*, vol. 40, no. 3, Geographical Association, 2015, pp. 115–17, <http://www.jstor.org/stable/26383211>.
2. FAO, IIASA, ISRIC, ISS-CAS, JRC, 2008. *Harmonized World Soil Database (version 1.0)*. FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria, <https://www.fao.org/soils-portal/data-hub/soil-classification/en/>
3. Ramani, S., et al. *Methodology of feature classification by the smart sensor on board the rohini rs-d2 satellite // Current Science*, vol. 53, no. 6, Temporary Publisher, 1984, pp. 287–93, <http://www.jstor.org/stable/24086622>.
4. Ben-Dor, E., et al., 2008. *Imaging spectrometry for soil applications*. *Adv. Agron.* 97, 321–392.
5. Gamba, P., Acqua, F.D. *Increased accuracy multiband urban classification using a neuro-fuzzy classifier*. *Int. J. Remote Sens.* 2003, 24, 827–834. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431160210154001>.
6. Marconcini, M.; Metz-Marconcini, A.; Üreyen, S.; Palacios-Lopez, D.; Hanke, W.; Bachofer, F.; Zeidler, J.; Esch, T.; Gorelick, N.; Kakarla, A.; et al. *Outlining where humans live, the World Settlement Footprint 2015*. *Sci. Data* 2020, 7, 1–14. <https://www.nature.com/articles/s41597-020-00580-5>.
7. Kuenzer, C.; Guo, H.; Huth, J.; Leinenkugel, P.; Li, X.; Dech, S. *Flood mapping and flood dynamics of the mekong delta: ENVISAT-ASAR-WSM based time series analyses*. *Remote Sens.* 2013, 5, 687–715. <https://www.mdpi.com/2072-4292/5/2/687>.
8. Leinenkugel, P.; Kuenzer, C.; Dech, S. *Comparison and enhancement of MODIS cloud mask products for Southeast Asia*. *Int. J. Remote Sens.* 2013, 34, 2730–2748. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2012.750037>.
9. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Bishkek". *Encyclopedia Britannica*, 25 Jan. 2019, <https://www.britannica.com/place/Bishkek>.
10. USGS satellite images archive, <https://earthexplorer.usgs.gov>.
11. Equere, V.; Mirzaei, P.A.; Riffat, S. *Definition of a new morphological parameter to improve prediction of urban heat island*. *Sustain. Cities Soc.* 2020, 56, 102021. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670720300081?via%3Dihub>
12. Yan, W.Y.; Shaker, A.; El-Ashmawy, N. *Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review*. *Remote Sens. Environ.* 2015, 158, 295–310. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0034425714004374?via%3Dihub>
13. Kartika, T.; Arifin, S.; Sari, I.L.; Tosiani, A.; Firmansyah, R.; Kustiyo; Carolita, I.; Adi, K.; Daryanto, A.F.; Said, Z. *Analysis of Vegetation Indices Using Metric Landsat-8 Data to Identify Tree Cover Change in Riau Province*. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2019, 280. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/280/1/012013>
14. Akande, Samuel. *Research Gate*. 2020, <https://www.researchgate.net/post/What-is-the-difference-between-Bare-soil-index-and-Soil-index>
15. Gabri, Ullah, M. Z., Mehrdad, Tsega, T., Asif, Gezahagn, & Salman. 2019, September 17. *List of spectral indices for Sentinel and Landsat*. *GIS Crack*. Retrieved April 1, 2022, from <https://giscrack.com/list-of-spectral-indices-for-sentinel-and-landsat/>
16. Olya. 2020, March 13. *Озеленением Бишкека займется экологический экспертный совет при мэрии // Vesti KG*. Retrieved April 1, 2022, from <https://vesti.kg/obshchestvo/item/69454-ozeleneniyem-bishkeka-zajmetsya-ekologicheskij-ekspertnyj-sovet-pri-merii.html>

DYNAMICS OF CHANGING CHL-A CONCENTRATIONS IN THE KUMTOR TAILING, USING SENTINEL-2 IMAGES

Stambekova A.A., Orunbaev S.Zh., Kulenbekov Zh.E.
Stambekova_a@auca.kg
American University of Central Asia, Bishkek, Kyrgyzstan

Kyrgyzstan has the largest high-mountain gold mine, called Kumtor. Gold mining uses a variety of chemicals that are discharged into the water. This brings huge problems for the environment and human health, especially it affects the people living in this area. The worst thing is that residents and animals consume this water. This research paper uses Sentinel-2 satellite imagery over the Kumtor area to analyze the water quality with Chl-a (phytoplankton). The results show that some physico-chemical parameters exceed acceptable concentrations, namely cyanide release into the Petrova lake and because of this small amount of Chl-a. Also, with the help of this technique it will be possible to make an analysis of the tailing dump. The presence of a small amount of Chl-a in the water indicates a health risk to residents. The presence of cyanide in the water for domestic consumption has been proven in concentrations that can affect the environment and health of the residents of Jetty-Oguz district.

Keywords: gold mining, water quality, Kumtor, Chl-a, cyanide, the tailing dump, sentinel-2

Introduction: Since the opening of the Kumtor mine, there have been many discussions on environmental issues, but one of the most discussed topics is water pollution in the Jetty-Oguz region. Kumtor is the largest gold mine in Central Asia, located in Issyk-Kul Region, in the Mid-Tien-Shan Mountains of southeastern Kyrgyzstan. It is the second largest high-altitude gold mine in the world. The gold mine is also important in stabilizing the economy of the Republic of Kyrgyzstan. The reserves of the deposit are estimated at several hundred tons of gold and is one of the ten largest deposits of gold in the world [1].

Kyrgyzstan, a young republic, after gaining independence, needed gold to achieve economic independence, and in 1992 concluded an agreement with the Canadian mining corporation “Cameco” to work together to goldmine Kumtor. It became possible to mine Kumtor's gold efficiently and economically [1]. Gold mining in developing countries is the main source of income. In total, the company produced more than 391.9 tons of gold between 1994 and 2019, with payments in Kyrgyzstan (including taxes, wages, infrastructure costs, etc.) totaling about \$4.142 billion [6]. This brings excellent growth for the country's economy, but it is also detrimental to the environment, causing effects such as the deposition of water sources, degradation of soil cover, deforestation, soil degradation, and chemical pollution by mercury, cyanide, nitric acid, and zinc [3].

In this paper, the main topic is the impact of gold mining on water. The Kumtor deposit area is poorly studied in terms of hydrogeology, as it is located in a location that is not easily accessible (fig. 1). All rivers and streams are glacially fed and the Kumtor River is the main one. There is also the Petrov moraine lake, which provides drinking and technical water to the gold-mining complex [2].

In the process of enrichment and extraction of gold from ores, water is a technological environment. Characteristic of wastewater is a high content of suspended solids, low transparency, relatively high mineralization and a variety of specific ingredients, high content of heavy metals, cyanides and their complexes with metals, rhodamines. Cyanide in the form of a very weak sodium cyanide solution is used to dissolve and extract gold from ore [4]. Cyanide plays an important role in gold mining. This material is easy to use, low in cost and available. However, users or villagers have little awareness of the risks associated with the use of cyanide in gold mining [5]. These processes cause severe pollution of land and water ecosystems in developing countries, affecting residents, and

these pollutants can also enter the human body. Kumtor uses approximately 8-10 tons of cyanide per day to separate gold and silver from the ores. [7].

According to Kumtor Gold Company, gold production in 2017 was 5,084 tons, in 2018 - 7,356 tons, the most peak gold production was in 2019 - 10,970 thousand tons, in 2021 - 705 tons [6]. These dates were selected for further analysis using Sentinel-2 satellite images. Since the Gold Company does not allow water sampling at this time, it has not been possible to take areas for accurate analysis, the work uses remote analysis, where we will be able to determine the state of the water in the period 2017-2021. An assessment is needed to identify the impact of gold mining in the region.

The purpose of this research paper is to estimate the impacts, water quality in the Kumtor gold mining area. This topic is prompted by the use of harmful chemical mining practices, such as the use of hazardous chemical compounds in gold mining, which enter surface waters such as the Petrova Lake.



Figure 1 – Kumtor gold mining area, glaciers, tailings dam and Petrova lake

Impacts on the environment, living organisms and human health will be assessed by determining the presence of Chl-a on satellite imagery. Using this method, a preliminary analysis of water quality at the gold mine will be possible.

Data and Methodology. In the methodology satellite remote sensing Sentinel-2 was used and with the help of its bands, it is possible to process and subsequently describe the resulting images. Also, in this paragraph the algorithm that was used to calculate the concentration of Chl-a (Chlorophyll A) in the studied area will be provided.

Satellite data

This data was used to define the presence (concentration) of Chl-a in the area of Kumtor tailings and Petrova lake in Jety-Oguz. Sentinel-2 is a high-resolution multispectral spacecraft. The

full mission specification of the twin satellites, flying in the same orbit, but phased 180°, is designed to provide a high frequency of revisits around the equator - 5 days. The satellite carries a payload in the form of an optical instrument that samples 13 spectral bands: four bands with a spatial resolution of 10 m, six bands with a spatial resolution of 20 m, and three bands with a spatial resolution of 60 m (tab.1). The orbital swath width is 290 km [8].

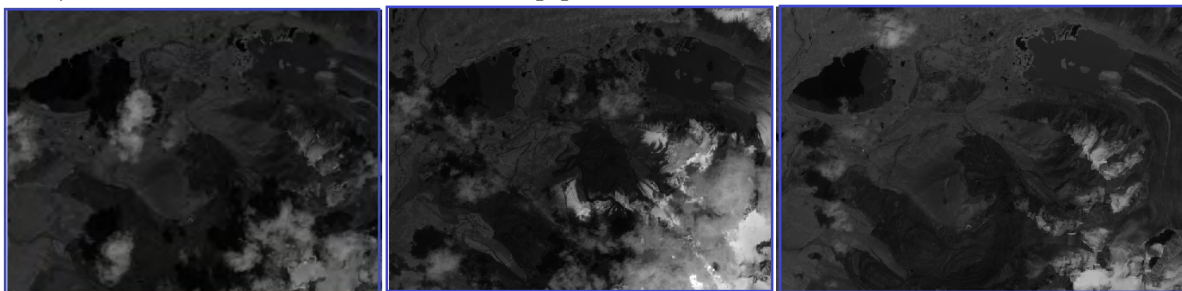


Figure 2 – Sentinel-2 multi-spectral images for the area Kumtor gold mining

Satellite images were taken from the archive - earthexplorer.usgs.gov. Where certain settings were made: area selection, dates, cloud cover less than 10%, with additional criteria - Sentinel-2 images. It was possible to find for July, summer season without snow and less cloudy (fig. 2).

Table 1 – Sentinel-2 bands and resolutions

Band	Sentinel-2 MSI		
	Spectral region	Wavelength range (nm)	Resolution (m)
B1			
B2	Blue	458–523	10
B3	Green peak	543–578	10
B4	Red	650–680	10
B5	Red edge	698–713	20
B6	Red edge	733–748	20
B7	Red edge	773–793	20
B8	NIR	785–899	10
B8A	NIR narrow	855–875	20
B11	SWIR	1565–1655	20
B12	SWIR	2100–2280	20

Methodology Chl-a identification.

Data on Chl-a concentrations were obtained using sentinel-2 satellite data, which were further processed in QGIS, where bands were used. There are 13 bands in total on the Sentinel 2. Each band is 10, 20, or 60 meters in pixel size. The color infrared band combination is meant to emphasize healthy and unhealthy vegetation. This is why in a color infrared image; denser vegetation is red [8]. Band 5 – red edge and band 4 - red were used. The algorithm was applied in this work to map Chl-a concentrations in 2017, 2018 and 2021 in the Kumtor gold mining. It was not possible to extract data for 2019 and 2020 from the archive, due to high concentration of cloudy.

Semi-empirical mathematical model was used to estimate chlorophyll-a in the Kumtor River and Petrova Lake, obtained between the reflection coefficient and chlorophyll-a concentration for July summer season, made from Sentinel-2 data. Chl-a in the waters was analyzed using an equation (1) that shows the most adequate model, which is positively and linearly dependent on the B8/B7 ratio. The model (1) represents the best coefficient of determination of chlorophyll-a [9].

$$[\text{chl-a}] = 101.03 * B5 / B4 - 48.04. \quad (1)$$

Results: Carried out a processing for deriving Chl-a concentration with the focus Kumtor Tailings and Petrova Lake (fig.3). Identified Chl-a concentrations were divided into 8 intervals: Dangerous level – 0 to 20 mg/m³ to normal level – 81-180 mg/m³. These both water-reservoirs contain low Chl-a concentration around 30-40 mg/m³. This means water quality also low.

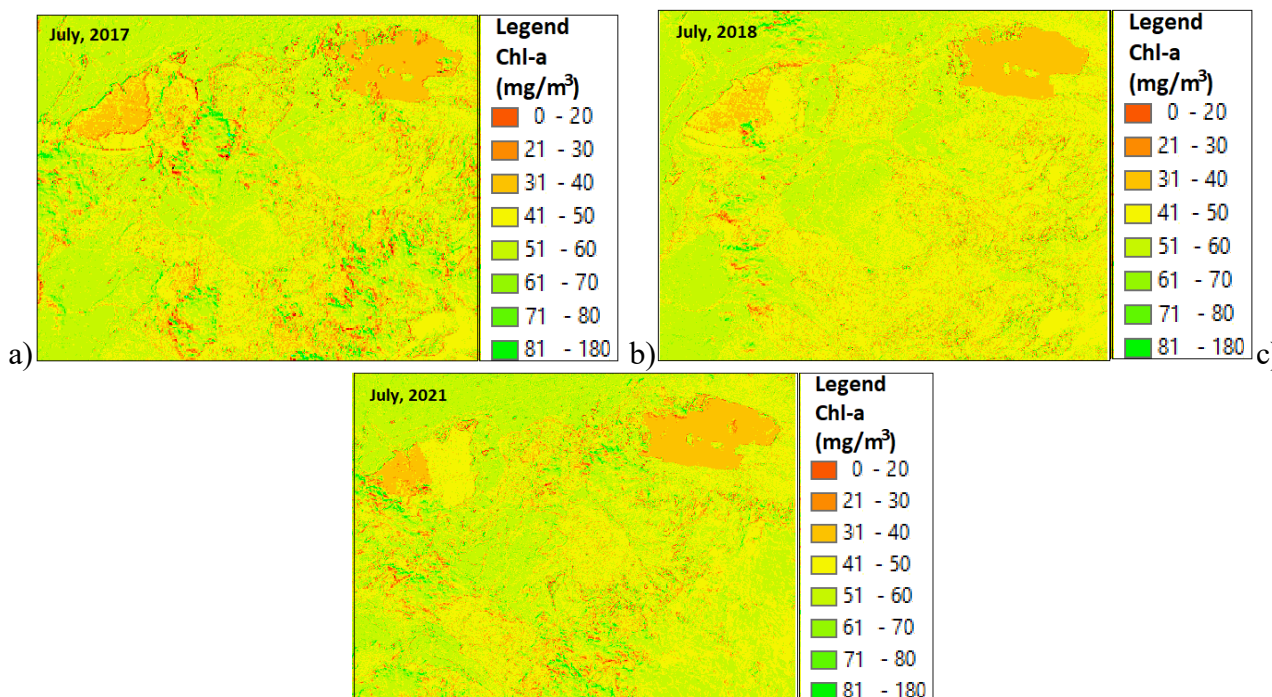


Figure 3 – Derived Chl-a in the Tailings and Petrova Lake, for a) 2017 b) 2018 and c) 2021 years

From the results, a case a small amount of Chl-a (31-40 mg/m³, figure 3) in Petrova Lake, but Petrov Lake has not changed with the area of Chl-a concentrations for identified 3 years. Also, Kumtor tailings area decreased year by year (tab.2). Moreover, it's decreased twice in between 2017 to 2021.

Table 2 – Area of low concentration Chl-a (sq.km)

	Year	Month	Cloudy (%)	Chlorophyll-a concentration (mg/m ³ or ug/L)	Area of low concentration Chl-a (sq.km)
1	2017	July	4.8	34.08	2.8
2	2018	July	3.6	34.85	2.6
3	2021	July	2.8	38.87	1.4

Conclusion: With satellite images, it was possible to make an analysis of the Kumtor tailings dump and Petrova Lake. As a result, we can see that the amount of chlorophyll-a is average/below average. Thus, it can be concluded that there is pollution of the lake, therefore, of the environment. Despite the fact that during gold processing the wastes are disposed in the tailings dump, there are variants of contamination: dust in the air-particles, and inflow of contaminated ground and surface waters which enter the Kumtor River, then the Naryn River.

The location can be considered unsafe because Kumtor is located on the ground surface and is affected by earthquake, and this can result in destruction. Volumes continue to grow and the amount of waste is increasing. Thus, the area should be monitored after the mine closure to avoid release of chemicals into the environment and detrimental impact on local residents. We suggest to continue remote sensing monitoring using also different other satellite images. Moreover, it will be useful for future study, to compare with ground-based water sample measurements from Petrov Lake as well as the Kumtor River for a more detailed study.

References

1. Алиева, Д. А. (2019). Очистка промышленных сточных вод от токсичных веществ (на примере закрытого акционерного общества "Кумтор Голд Компани"). Retrieved from https://elib.utmn.ru/jspui/bitstream/ru-tsu/4450/1/AlievaDA_2019.pdf
2. Торгоев, И. (2016). Ледники, золото и геоэкология Кумтора. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/338580493_GEOGRAFIA_I_GEOEKOLOGIA
3. Alison Martin and all. 2020. "Evaluation of the Effect of Gold Mining on the Water Quality in Monterrey, Bolívar (Colombia)" *Water* 12, no. 9: 2523. <https://doi.org/10.3390/w12092523>
4. Eisler, R., Wiemeyer, S.N. (2004). Cyanide Hazards to Plants and Animals from Gold Mining and Related Water Issues. In: Ware, G.W. (eds) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*, vol 183. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9100-3_2
5. Horrocks-Taylor, Joseph. 2018. "Dirty Water, Muddied Politics: Hybridisation of Local and National Opposition to Kumtor Mine, Kyrgyzstan" *Land* 7, no. 2: 42. <https://doi.org/10.3390/land7020042>
6. Official site of the Kumtor Gold Company - Welcome. Kumtor Gold Company. (n.d.). Retrieved from <https://www.kumtor.kg/en/>
7. Moran, R. M. (2011, September). Kumtor Gold Mine, Kyrgyzstan: Comments on Water, Environment and Related Aspects. Michael-Moran Assoc., ООО. Retrieved from https://bankwatch.org/sites/default/files/REM%20Kumtor%20report%20FINAL_ru.pdf
8. Sentinel 2 bands and combinations. GIS Geography. (2021, October 29). Retrieved March 28, 2022, from <https://gisgeography.com/sentinel-2-bands-combinations/>
9. Alarcon A.G., German A, Aleksinko A, Ferreyra F.G., Scavuzzo C.M., and Ferral A., Spatial algal bloom characterization by Landsat 8-OLI and field data analysis, DOI: 10.1109/IGARSS.2018.8518844, July 2018.

НОВАЯ ПАРАДИГМА В УЧЕНИИ О ФОРМИРОВАНИИ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Багынов Ж.Б., Тукешова Г.Е., Джанабилова С.О, Шестаков Ф.В.

zbagynov@bk.ru

Высший политехнический колледж, г. Актобе, Республика Казахстан

Новая парадигма обосновывается необходимостью учитывать в водном балансе гидросферы одну из главных составляющих - водяной пар атмосферы. Учитывая, как одну из главных составляющих водного баланса гидросферы, конденсацию водяного пара атмосферы, предлагается рассмотреть вопрос о создании новой ветви естественных наук конденсациология – наука о воде из воздуха.

Ключевые слова: наука конденсациология, вода из воздуха, водяной пар атмосферы, влагооборот

Введение. Приводится научные исследования многих ученых мира. Хроническая нехватка пресной воды является основной причиной многих современных гуманитарных катастроф и международных конфликтов, в том числе и вооруженных, как это было на границе Таджикистана и Узбекистана. Изменение существующей парадигмы о формировании пресных подземных вод позволит ускорить решение многих водно-экологических проблем, трансграничных конфликтов. Игнорируя исключительную важность самого простого решения водно-экологических проблем, мы не сможем понять изящную простоту проекта, осуществляемого в мастерской природы, непридавая значимость самому главному фактору – водяному пару атмосферы.

В результате продолжительных экспериментов и научных исследований Н.Ф. Лукин [1] пришел к удивительным выводам, что природа постоянно посылает человечеству множество тревожных сигналов возможной водно-экологической катастрофе и абсолютном дефиците пресной воды. Сюда относятся: исчезновение или загрязнение пресноводных озер, уничтожение ледников, промышленное или аграрное загрязнение пресных вод, ухудшение естественных условий восстановления пресных водоносных горизонтов и многое другое. Н.Ф. Лукин в своих строго научных исследованиях досконально изучил вариации перехода водяного пара атмосферы в жидкое состояние, непосредственного усвоения корнями растений и роль парциального давления во всех процессах этих трансформаций.

До сих пор наука о формировании пресных водных ресурсов планеты зиждется на крайне устаревшей, безнадёжной и неверной парадигме. Основа знаний, на которой строится вся наука о пресных водных ресурсах – так называемая инфильтрационная теория формирования пресных подземных вод, – игнорирует участие в общем влагообороте одну важную составляющую гидросферы – постоянно возобновляемый водяной пар атмосферы.

Как утверждает Лукин Н.Ф., «Влага в почве – это поток, уровень которого определяется и регулируется температурным режимом. Следовательно, чтобы перевести часть влаги из атмосферы в почву, нужно отвести от нее эквивалентное по теплоте парообразования количество тепла. Сделать это можно либо увеличением отражающей способности, либо покрыв почву слоем материала, плохо проводящего тепло в глубину» [1].

Методика обработки. Новая парадигма обосновывается необходимостью учитывать в водном балансе гидросферы, одну из главных составляющих - водяной пар атмосферы.

Учитывая, как одну из главных составляющих водного баланса гидросферы, конденсацию водяного пара атмосферы, предлагается рассмотреть вопрос о создании новой ветви естественных наук конденсациология – наука о воде из воздуха.

Новая научная истина и новый уровень мышления позволят людям, коллективам, государствам самостоятельно и независимо решать практические задачи водопользования, не причиняя вреда друг другу.

Реализация этой истины – это единственный путь рационального распределения водных ресурсов без ущемления прав других водопользователей.

Новая парадигма делает возможным включать в научные исследования четвертое измерение и состояние воды – на время и плазму. Она облегчит осознание пагубного воздействия длительного обезвоживания пород водоносных горизонтов, после которого они резко меняют свои водовмещающие свойства, изменяют капиллярность [2].

На основе нового знания можно не только избежать тяжелых негативных последствий, но и улучшить фильтрационные свойства многих водовмещающих пород. Опираясь на новые знания можно более точно определить время развития прогрессирующих процессов, приводящих к деградации огромных земельных массивов и предотвратить затраты на их мелиорацию. Она делает возможным более точно осуществлять профилактическое прогнозирование и к тому же резко сократит огромные расходы на строительство многокилометровых водопроводов и обеспечить пресной водой отличного качества непосредственно на конкретном месте. Огромное количество доказательств, призванных раскрыть скептикам глаза на то, что величайшее открытие в области формирования водных ресурсов нашей планеты заключается в следующем - пресная вода формируется в прошлом и настоящем времени главным образом из постоянно возобновляющегося источника – парообразной влаги атмосферы. При этом аккумуляция пресных водных ресурсов может происходить путем сублимации или зимней конденсации водяных паров атмосферы их трансформации в жидкую фазу путем конденсации фидилистиляции из более минерализованных вод. Основное заблуждение заключается в том, что инфильтрационщики не хотят учитывать того, что водяной пар является особым газом с набором специфических свойств, которые были обозначены и доложены Кузнецовым С.К. еще в 1903 [2]. Они заключаются в следующем: Другое важное заблуждение сторонников инфильтрационной теории или просто замалчивание того факта, что почва обладает удивительным свойством – ее частицы при смачивании быстро меняют структуру и происходит заиливание при этом инфильтрация прекращается.

Новая научная истина (сдвиг парадигмы) - конденсационная теория формирования пресных вод нашей планеты и тот факт, что именно водяной пар атмосферы является главным звеном и неиссякаемым источником пресной вод, а его трансформация в твердое или жидкое состояние обеспечивается солнечной энергией и собственным осмотическим давлением должна лечь в основу БУДУЩИХ ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ЯВЛЯТСЯ МАЯКОМ ПРИ ВНЕДРЕНИИ В ПРАКТИКУ. Время хищнического разбазаривания водных ресурсов, время бесплатного, дарового пользования пресной водой закончилось. Пришла пора экономических расчетов, когда все возрастающий дефицит пресной настоятельно требует срочного пересмотра области водопользования – система рационализации распределения пресной воды приводится в действие в соответствии с заранее установленной программой приоритетов - новой формой управления водными ресурсами с учетом нужд конкретных водопотребителей. Выше описанные изменения в научных воззрениях делают возможным акцентировать наше внимание на следующих моментах, которые до сих пор, игнорируются [3].

Результаты и обсуждение. Принятие новой парадигмы требует согласиться с тем, что наблюдаемые многими естествоиспытателями суточное накопление конденсата в конденсомерах в 1 мл при одновременном наблюдении транспирации 15 мл на этом же участке может происходить только за счет конденсации или точнее за счет эконом конденсации. Пренебрежение этими естественными сигналами природы может повлечь серьезные ошибки в водно-балансовых расчетах и напрасным огромным капиталовложениям. Руководящие органы всех водохозяйственных и проектных организаций обязаны знать, что дальнейшее использование постулатов старой парадигмы будет мешать решению водохозяйственных

задач и выполнению Продовольственной программ. Новое понимание источников формирования пресных водных ресурсов Земли прольет свет на причины ухудшения глобальной водно-экологической обстановки облегчит дальнейшие исследования данной проблемы. Оно раскроет естествоиспытателям глаза на пагубные последствия реализации водохозяйственных планов на основе старой парадигмы, которая дает хорошие результаты только при весомом избытке пресных водных ресурсов. Научное обоснование изложенных выше взглядов сегодня уже доступно исследователям, занятых в данной области. Сдвиг парадигмы настоятельно требует создания института по подготовке конденсациологов, владеющих достаточным объемом знаний по данной тематике, способных оценить серьезность надвигающегося водно-экологической катастрофы и перейти к новым формам освоения водных ресурсов задолго до того, как ситуация станет необратимой. Изложенная здесь информация призвана сломить профессиональное сопротивление сторонников инфильтрационной теории. Сдвиг парадигмы, касающийся необходимости учета главенствующей роли атмосферной влаги в формировании пресных ресурсов Земли, в состоянии сотворить чудо и дать шанс, чтобы избежать предстоящих катаклизмов. В то же время профессиональные организации, занимающиеся строительством много километровых водопроводов, строительством водозаборов, проблемами экологии, строительством крупных гидростанций прилично наживающихся на невежестве водопотребителей, не желают расставаться со своими доходами [3]. В тот момент, когда они с согласятся с новой парадигмой, современная форма общения с природой и практикой современного водопользования, основанная на пренебрежении к общечеловеческим ценностям, преобразится в мудрое профилактическое отношение к пресной воде как главному природному богатству нашей планеты и более того – станут доступными простые методы освоения пресных вод и их замечательных свойства еще неизвестным нам. В развитых странах имеется тенденция – активно загрязнять питьевую воду, сбрасывать ее поток в реки, отчего они превращаются в сточные каналы. Природа обладает весьма тонким механизмом абсорбции недоступным нашему чувственному восприятию. Безнадёжно неверная парадигма – основа знаний, на которой зиждется учение о формировании пресных водных ресурсов планеты и вся современного их использования - игнорирование участия в глобальном влагообороте его главного звена – водяного пара атмосферы как возможной причины постоянного ухудшения водно-экологической обстановки. Изменение парадигмы в учении о формировании пресных водных ресурсов при условии его принятия применения в практике намного сократит ненужные расходы во многих естественных науках. Кроме того, сдвиг парадигмы позволит внедрять в жизнь проекты по восстановлению ныне утраченных ландшафтов.

Новая парадигма позволит повсеместно улучшить обеспечение человечества пресной водой во всех уголках земного шара [2].

Воззрение на осадки как на единственный источник так распространено, что возражения против них звучат диссонансом. Хотя во многих местах дождей недостаточно для растений, а они растут прекрасно.

Если мы возьмем стеклянную трубку, открытую с обеих концов, заделаем ее нижний конец сеткой и наполним ее сначала гравием, а потом зернистым песком, поставим ее вертикально и окружим ее рядом холодильников, так чтобы верхний конец трубки охлаждался, например, на (до) 12%, след. (средний?) до 10%, и нижний до 8%, то охлажденный воздух потечет вниз через сетку и пары воды будут осаждаться на поверхности песчинок.

При правильном поддержании постепенного понижения температуры в трубке и песке от верхнего ее конца к нижнему течение воздуха сверху вниз будет непрерывно и также будет непрерывна конденсация воды в песке и ее стек вниз.

Трубка будет простейшим конденсатором.

«Если воздух опустится в землю на глубину 3-4 сажени, то земля там тоже запотеет.»

Как совет.

Воздействие теплоты солнечных лучей на землю за сутки распространяется всего на 1,5-2 аршина, в год не глубже 10-11 сажень.

И сама земля излучает теплоту под влиянием неба и атмосферы с глубины не более этой.

Ниже 10 сажень воздух начинает нагреваться и вновь устремляется вверх.

Круговорот.

«Нам нужно убедиться, главным образом, в том, проникает ли влага воздуха в землю, как она проникает туда и в каком количестве»



Рисунок 1 – Схема конденсации

1) Воздух представляет собой механическую смесь газов и водяных паров, в которой составные части остаются самостоятельными, независимыми, почти индифферентными, они распространяются друг в друга как в пустоте.

Газы очень медленно нагреваются и охлаждаются, а пары воды, наоборот, сравнительно очень быстро нагреваются и охлаждаются.

Если такая смесь попадет в поры почвы и подвергнется охлаждению, пары воды охладятся быстрее и подвергнутся нисходящему движению в наибольшей мере. При этом произойдет разделение водяных паров и газов.

Жидкая вода почти в 770 раз тяжелее газов воздуха, и в виде водяного пара она почти в два раза легче воздуха и проникает поэтому в самые высокие слои атмосферы.

Границы при 100° - пар со свойствами газов при 4° - наибольшая плотность и в 770 раз тяжелее воздуха, то есть в этом промежутке вода проходит колоссальный ряд изменений плотности.

Водяной пар при 100° и 766 мм давления имеет объем в 1700 раз больше объема воды, из которой он образовался. При повышении температуры от 4° - 100° С, он увеличивается в 1700 раз, то есть каждому градусу приобретенного тепла соответствует изменение объема более чем в 17 раз.

Газы же при нагревании на t° С или охлаждении изменяются всего на $1/273$ своего объема.

Это и есть причина быстрого расслоения единой водяной массы воздуха.

2) Давление водяного пара в атмосфере распространяется неодинаково с давлением газов. Давление пара на высоте 2000 м уменьшается наполовину, а давление газов уменьшается наполовину только на высоте около 5000 метров.

Отсюда пар нисходит к земле быстрее газов и вследствие приобретенной скорости должен ускоренно вливаться в поры почвы.

3) Газы имеют химическое сродство и тяготение друг к другу и к частицам почвы только в исключительном случае, а пары воды обладают громадным сродством и тяготением к частицам земли.

4) Нисходящие струи паров воды, охлаждаясь в порах почвы, отдают ей свою теплоту, которая должна быть излучена в пространство над поверхностью земли, чтобы почва вновь стала холодильником.

Такое излучение совершается постоянно. Оно особенно заметно при заходе солнца и в ясные ночи.

Но мы не можем учесть теплоту, которую с одной стороны земля воспринимает от солнца, поглощает при конденсации водяных паров, и сама развивается химическими процессами, а с другой – она же излучает в пространство. Считаем, что излучает она таким образом, чтобы поддерживать необходимое понижение t° на глубину до 10-11 саженей. Количество теплоты, выделяемой при конденсации должно быть велико. Так же велико и излучение. Если этого излучения не будет, не будет и конденсации.

5) Влага должна прекрасно конденсироваться в песке, так как он порист. Песок весьма теплоемкий, поэтому прекрасно охлаждает пары воды, отнимая у них теплоту.

Будучи теплоемким, он легко лучше испускает теплоту и восстанавливает тем самым условия для конденсации. Его теплоемкость обуславливает весьма слабую теплопроводимость. Поэтому прогревание песка солнцем осуществляется лишь на небольшой глубине.

Это позволяет сохранять значительную разницу температур между верхними и нижними слоями.

6) Чем меньше лучеиспускание грунта, тем более развито в нем химическое сродство к парам воды и, наоборот, чем слабее это сродство (как в песке), тем сильнее свойство лучеиспускания, то есть где слабее физические причины конденсации, там сильнее химические и наоборот.

В разных почвах причины конденсации комбинированы различны, но во всех по мере углубления до 10-11 саженей они растут, а возможность испарения все уменьшается.

7) Газы воздуха весьма тепло-прозрачны, а пары воды – наоборот.

Воздух, насыщенный влагой, в 70 раз менее тепло-прозрачен, чем чистый воздух, поэтому излучение теплоты из земли и охлаждение ее будет тем сильнее, чем суше воздух.

При прочих равных условиях, чем суше будет воздух, тем больше будет разница между температурами почвы и воздуха, тем сильнее будет приток сравнительно сухого воздуха, что позволяет извлечь из него больше влаги за счет прохождения больших объемов.

8) Капельки воды, сгустившиеся на песчинках, не мешают лучеиспусканию песчинок. Песчинка, отнявшая теплоту пара, и сгустившая на себе капельки воды может через нее же лучеиспускать отнятую у нее теплоту. Она как бы преломляет и отражает теплоту, которую отнимает и тут же излучает.

Причины («Вероятно, одна сторона холоднее другой и это играет роль, а также наличие на поверхности выпуклостей и вогнутостей»).

Таким образом, песчинка – это идеальный конденсатор, с которого получает влагу приютившаяся рядом мочка корня растения.

Может быть, она отнимает теплоту тоже?

9) Нет никакой надобности в том, чтобы воздух мог проникать в почву в таком объеме, в котором содержалось бы столько влаги, сколько ее там конденсируется, потому что пары воды легко отделяются от газов при охлаждении и стремительно скатываются в поры почвы, а газы упорно сопротивляются охлаждению и сжимаются от охлаждения, и поэтому остаются у поверхности земли.

Когда воздух теплее земли, пары воды, должны непрерывно вливаться в поры почвы, потому что земля втягивает их в себя, охлаждает и значительно увеличивает их плотность (почти не изменяя плотности газов), тянет их в себя струйками, потому что частицы их обладают значительным сцеплением (сцепление частиц газов почти =0), и сгущает их в струи, которые стекают глубже и освобождают место для дальнейшего притока паров. Земля таким образом, как насос выкачивает пары воды из воздуха, питает ими растения и образует подземные истоки воды.

Не газы воздуха стекают в почву и увлекают за собой пары воды, а наоборот пары воды стремительно стекают туда и увлекают за собой газы. Их (газов) попадает лишь столько, сколько может вместить почва.

В каждом песчаном грунте мы должны встретить такую глубину, на которой всегда сохраняется $t^{\circ}C$, необходимая для конденсации водяных паров воздуха и такой уровень, на котором не только есть влага, но и должна быть вода при наличии водоупора.

Главная роль в деле пополнения рек и морей принадлежит процессу конденсации в земле, а дожди и снега – дополнение.

Если для процесса конденсации в горах, на ледниках водяной пар должен подвергнуться значительному расширению и привести в движение значительную массу воздуха (необходимы затраты колоссальной энергии для преодоления естественного тяготения), то земля сама как помпа выкачивает пары воды из воздуха.

Они тяготеют к ней, стремятся в нее по своему химическому сродству и по природе своей, как только освободятся от действия солнца, стремятся в поры почвы, где охлаждение быстро увеличивает их вес и заставляет проваливаться в глубину.

Таким образом пары воды, поднятые солнцем в атмосферу, частично конденсируются в ней и падают на землю в виде дождя, частично текут в земли в виде паров и в ней уже обращаются в воду по тем же причинам [4].

Выводы. Новая парадигма позволит повсеместно улучшить обеспечение человечества пресной водой во всех уголках земного шара [2].

Литература

1. Лукин Н.Ф.: http://yuzmor.narod.ru/files/books/statti/bez_poliva.htm
2. Шестаков Ф.В. Конденсационной теории - право на жизнь // Вестник АН РК. 2014. №1. С. 32-39.
3. Шестаков Ф.В. Конденсация водяных паров атмосферы в почвогрунтах – теоретические основы освоения воды из воздуха (Часть 1) // Известия НАН РК. Серия геологическая. 2014. № 6. С. 75-81.
4. Горяев В.Е.: <http://altaiskoe.ru/izobretatel-goryaev>

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ И ЮЖНОМ УЗБЕКИСТАНЕ

Бобокулов К.Г.¹, Ибрагимова Т.Л.², Ибрагимов Р.С.², Мирзаев М.А.²
ibrroma@yandex.com

¹ Национальный Университет Узбекистана имени М. Улугбека,
г. Ташкент, Республика Узбекистан;

² Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Проведено исследование параметров сейсмического режима и сейсмической опасности районов расположения четырех памятников древней архитектуры: Мечети Кук Гумбоз, Комплекса Хужа Илм Кони, Медресе Саид оталик и Сооружения Ишратхона на территории Центрального и Южного Узбекистана. Определены периоды повторяемости землетрясений различных магнитуд и сотрясений различной интенсивности в окрестности каждого памятника. На основе вероятностного анализа сейсмической опасности с учетом реальных грунтовых условий каждого объекта рассчитаны величины максимальных ускорений колебаний грунта при землетрясениях и спектральный состав сейсмических колебаний. Проведенные исследования позволят выработать рекомендации по сохранности этих объектов для будущих поколений.

Ключевые слова: сейсмический режим, сейсмическая активность, сейсмическая опасность, повторяемость землетрясений, кривые опасности, спектры реакции

Проблема диагностики сохранности объектов древнего зодчества, составляющих культурное наследие народов Центральной Азии, в значительной степени опирается на изучение сейсмичности и сейсмической опасности площадок расположения этих объектов. Данная статья посвящена изучению сейсмологической обстановки мест расположения четырех памятников архитектуры Мечеть Кук Гумбоз, Комплекс Хужа Илм Кони, Медресе Саид оталик и Сооружение Ишратхона на территории Центрального и Южного Узбекистана (рисунок 1).

Мечеть Кок Гумбаз, что в переводе значит «Голубой купол», находится в городе Шахрисабзе. Она была построена в 1435 году по указанию Мирзо Улугбека. Комплекс Хужа Илм Кони, расположенный в Китабском районе Кашкадарьинской области, была сооружен в XVII веке. Двухэтажное здание Медресе Саид Оталик расположено в Сурхандарьинской области. Оно построено в XVI веке во время правления Шайбанидов. Сооружение Ишратхона в Самарканде относится к самым значимым памятникам древней архитектуры Центральной Азии и датируется второй половиной XV века.

Памятник архитектуры Мечеть Кук Гумбоз (в дальнейшем, для краткости изложения объект 1) расположен на незначительном удалении от южной кромки Южно-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны, которая как по сейсмологическим, так по сеймотектоническим данным характеризуется очень высоким сейсмическим потенциалом ($M_{max}=7.5$) [1, 2]. Комплекс Хужа Илм Кони (объект 2) находится непосредственно в пределах Южно-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны. Следует отметить, что, если западная часть Южно-Тянь-Шаньской сейсмогенной зоны проявила себя тремя сильнейшими платформенными Газлийскими землетрясениями 1976 и 1984 гг. с магнитудой $M=7.0-7.3$, то в пределах восточной части этой зоны, где расположены объекты Мечеть Кук Гумбоз и Комплекс Хужа Илм Кони, землетрясений с магнитудой более 5.3 за инструментальный период наблюдений не происходило.

Объект Медресе Саид оталик (объект 3) расположен между Гиссаро-Кокшаальской и Бобатаг-Кейкитауской сейсмогенными зонами близ меридионального направления. Сейсмический потенциал Гиссаро-Кокшаальской сейсмогенной зоны оценивается значением $M_{max}=7.5$, а Бобатаг-Кейкитауской - $M_{max}=6.5$. В пределах Гиссаро-Кокшаальской сейсмогенной зоны в 1907 году произошло два сильнейших Каратагских землетрясения с магнитудами $M=7.3$ и $M=7.4$. К югу Гиссаро-Кокшаальская зона ветвится на две сейсмоактивные зоны – Байсун-Кугитанскую и Сурхантау-Шерабад-Келифскую. Сейсмический потенциал этих зон оценивается значением $M_{max}=6.5$.

Сооружение Ишратхона (объект 4) расположено непосредственно в пределах системы Зарафшанских разломов близ широтного простирания, объединенных в [1] в одноименную сейсмогенерирующую зону, сейсмический потенциал которой оценен значением $M_{max}=6.5$. К северу от сооружения Ишратхона проходят две высокопотенциальные сейсмогенные зоны, землетрясения в пределах которых вызывают значимые сотрясения на данном объекте. Это Северо-Кульджуктау-Туркестанская сейсмогенная зона, сейсмический потенциал которой оценивается значением $M_{max}=6.5$ и Бесапано-Северо-Нуратинская зона со значением $M_{max}=6.5-7.0$, являющаяся западным продолжением весьма активной и высокопотенциальной Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны. В пределах западной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны в 1897 году произошли исторические Уратюбинские землетрясения с магнитудой $M=6.6-6.7$, которые вызвали ощутимые сотрясения на каждом из рассматриваемых объектов. В пределах Северо-Кульджуктау-Туркестанской сейсмогенной зоны в 2013 году произошло Марджанбулакское землетрясение с магнитудой $M=6.1$.



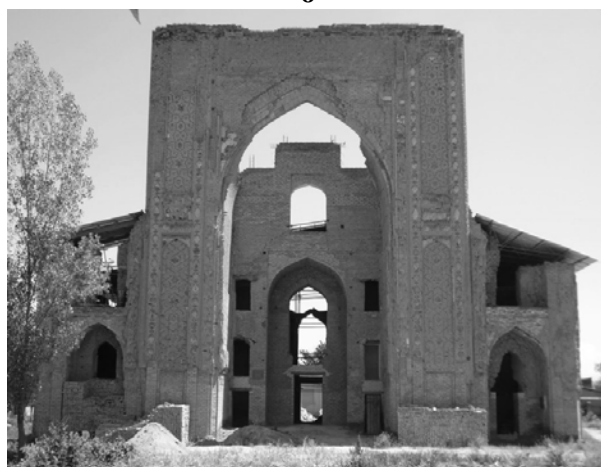
а



б



в



г

Рисунок 1 – Исследуемые памятники архитектуры на территории Центрального и Южного Узбекистана: а) Мечеть Кук Гумбоз; б) Комплекс Хужа Илм Кони; в) Медресе Саид оталик; г) Сооружение Ишратхона

В настоящее время территория расположения изучаемых объектов находится в стадии сейсмической активизации, о чем свидетельствует целая череда умеренных землетрясений, наиболее сильным из которых является Kitabское 2016 года с магнитудой $M=5.0$ и Бахмальское землетрясение 2017 года с магнитудой $M=5.1$.

На рисунке 2 показано местоположение изучаемых объектов на тектонической схеме. На этом же рисунке приведены эпицентры исторических и инструментальных землетрясений, произошедших в исследуемом районе, активные разломы земной коры и выделенные на их основе сейсмогенные зоны по [1].

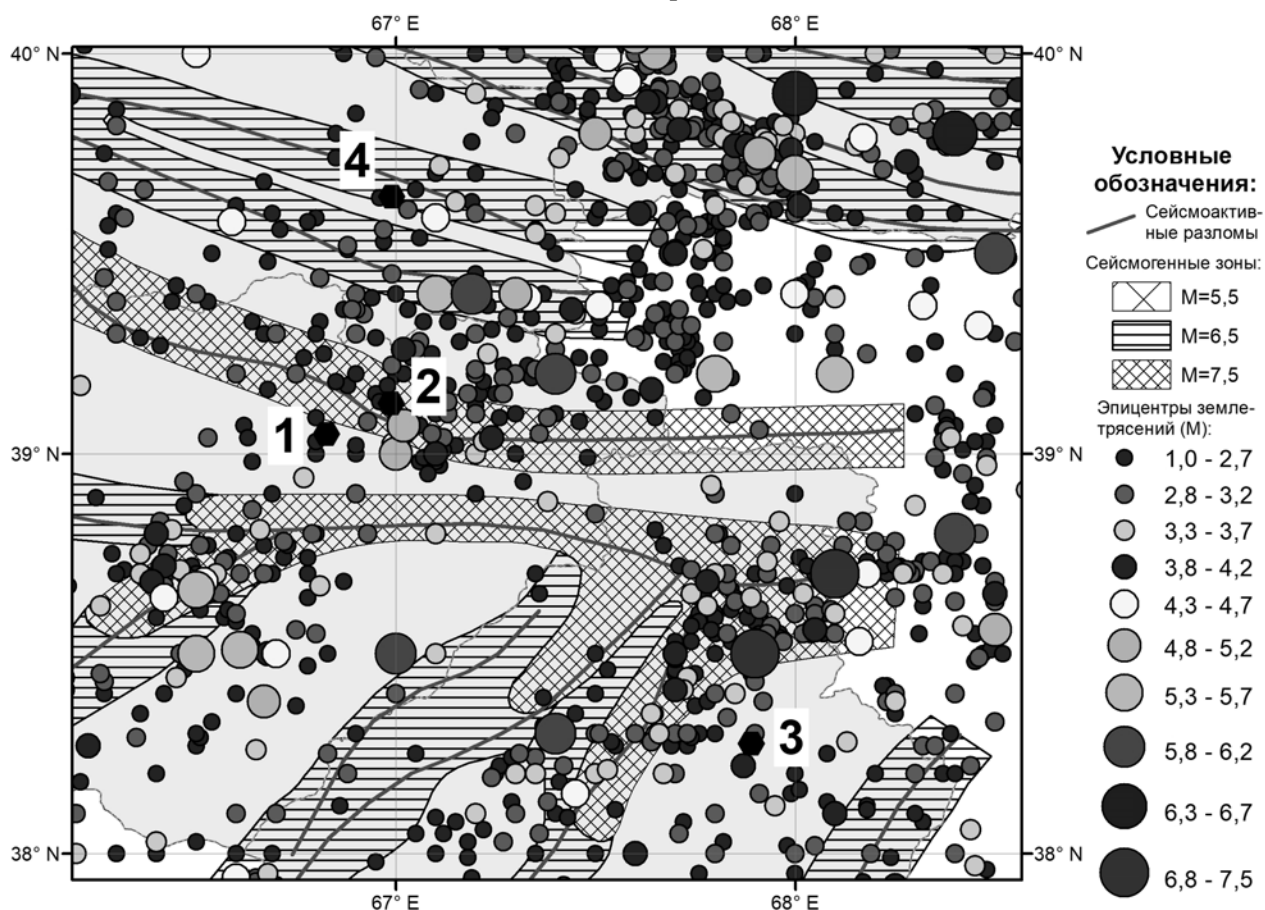


Рисунок 2 – Карта эпицентров инструментальных и исторических землетрясений с указанием активных разломов земной коры и сейсмогенерирующих зон по [1]

При Каратагском землетрясении 1907 года, возникшем в пределах Гиссаро-Кокшаальской сейсмогенерирующей зоны, сотрясение на объекте 3 составляло 8 баллов, остальные объекты находились за семи балльной изосейстой. Схожее распределение интенсивности сейсмических воздействий наблюдалось и при Байсунском землетрясении, которое произошло в пределах Байсун-Кугитанской сейсмогенной зоны в 1935 году. Огибающая линии максимальной наблюдаемой интенсивности от всех известных сотрясений региона приведена на рисунке 3. Для тех сейсмических событий, макросейсмическое обследование которых не проводилось, оценка сейсмического эффекта рассчитывалась по зависимостям затухания интенсивности сейсмических воздействий с расстоянием, установленным в [3].

Как это следует из рисунка 3, максимальная интенсивность сотрясений от всех сильных землетрясений, произошедших в окрестности объектов 1, 2 и 4, по имеющимся макросейсмическим данным не превосходила 7-ми баллов по шкале MSK-64. Для объекта 3 максимальная интенсивность сотрясений составила 8 баллов по шкале MSK-64.

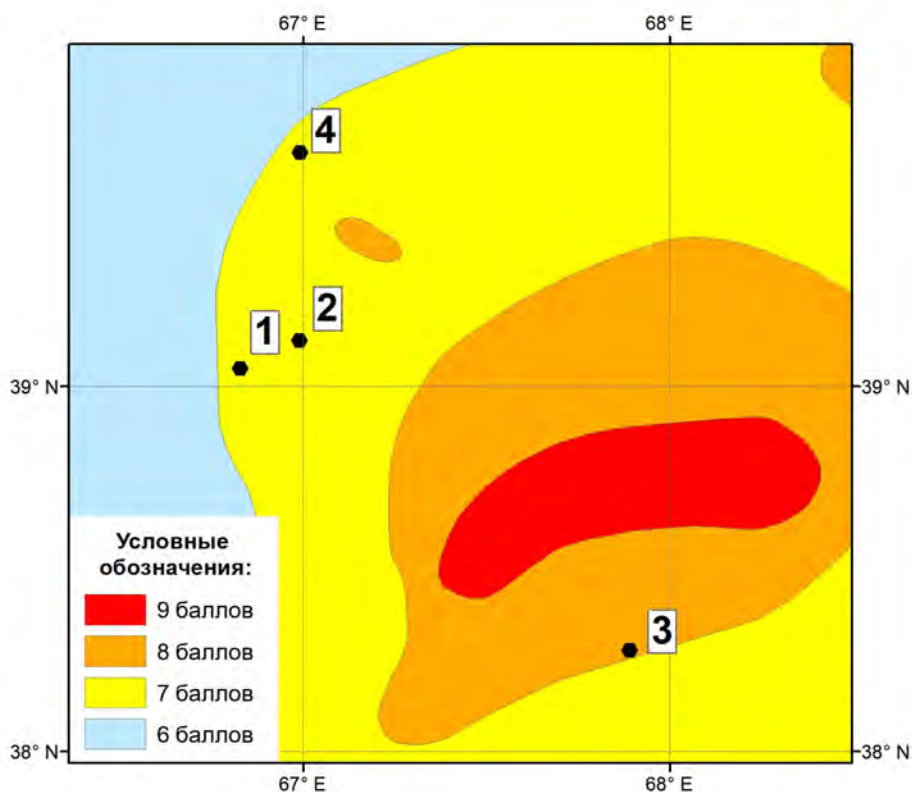


Рисунок 3 – Зоны максимальной наблюдаемой интенсивности сейсмических воздействий от всех известных землетрясений исторического и инструментального периода

Зависимость Гутенберга-Рихтера для всего исследуемого района, полученная по землетрясениям с магнитудами $M=3.0-7.5$, с учетом сроков представительной регистрации землетрясений различного энергетического уровня, имеет вид: $\lg N = -0.676M + 2.839$. В таблице 1 приведены средние периоды повторения землетрясений различного магнитудного уровня, полученные исходя из этого графика.

Таблица 1 – Средний период повторения (Т) землетрясений различных магнитуд (М) в исследуемом районе расположения исторических памятников

М	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Т	2 месяца	4 месяца	9 месяцев	1,5-2 года	3-4 года	7-8 лет	15-17 лет	35-40 лет	80-90 лет	150-200 лет

Аналогичные зависимости строились для локальных 150-ти километровых окрестностей каждого объекта. Оказалось, что и угловые коэффициенты этих прямых, и их уровень, определяющий сейсмическую активность локальной окрестности площадок, отличаются не значительно. Исключение составляет площадка объекта 4, для которой эти параметры ниже, чем на остальных площадках.

По действующим картам общего сейсмического районирования территории Узбекистана ОСР-2017 [2], для различных вероятностей не превышения интенсивности сейсмического воздействия в течение 50 лет исследуемые объекты относятся к различным зонам макросейсмической балльности (рис. 4). Следует отметить, что карты общего сейсмического районирования в баллах макросейсмической шкалы строятся для средних грунтовых условий, к которым на территории Узбекистана отнесены грунты второй категории по сейсмическим свойствам. Локальные грунтовые условия расположения площадок, занимаемых объектами, могут давать как положительные, так и отрицательные приращения интенсивности.

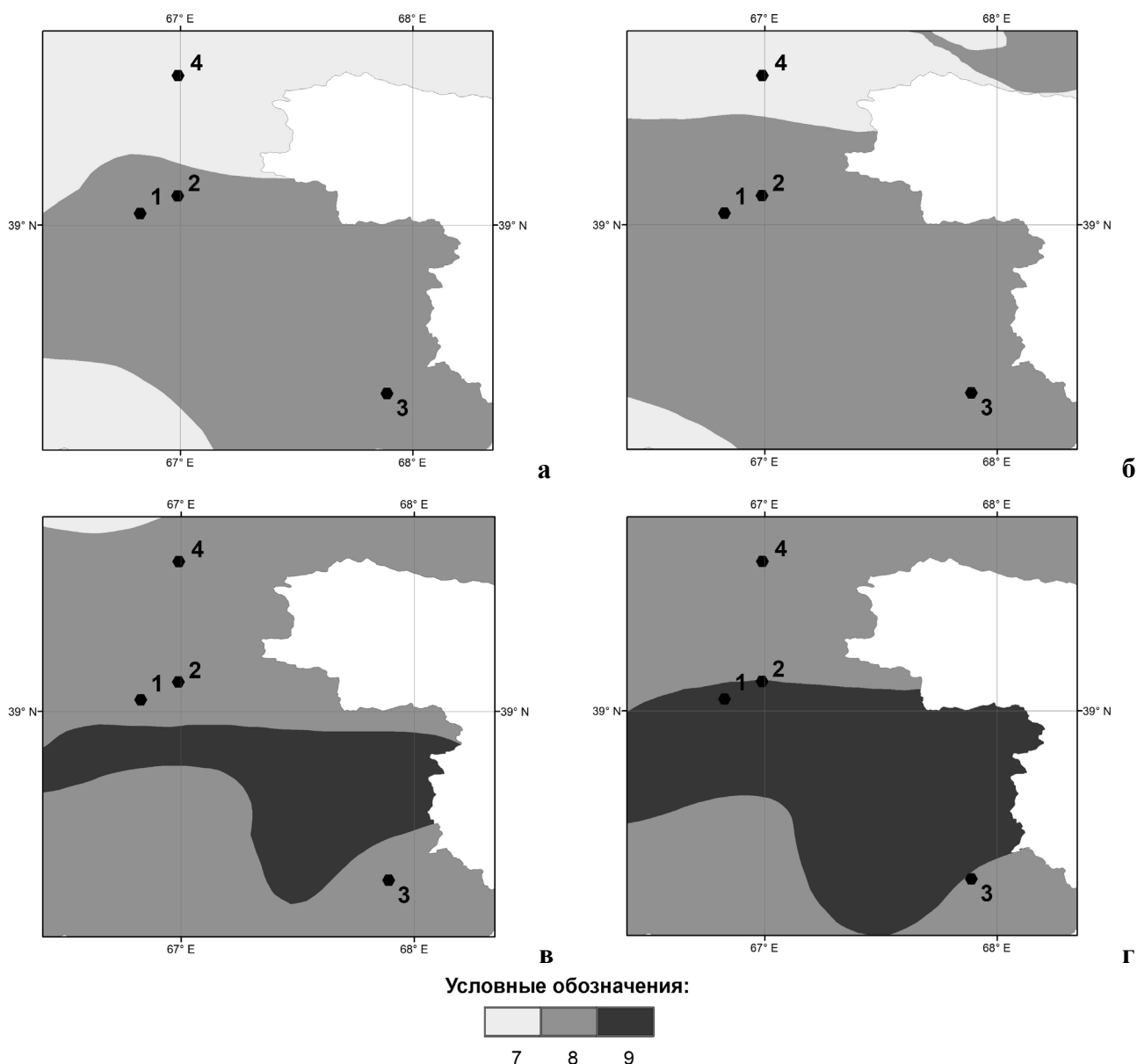


Рисунок 4 – Фрагменты карт сейсмического районирования территории Узбекистана ОСР-2017 с указанием местоположений объектов для различных вероятностей P не превышения уровня сейсмического воздействия в течение 50 лет: а) $P=0.9$; б) $P=0.95$; в) $P=0.98$; г) $P=0.99$

Периоды повторения сотрясений с интенсивностью $I=6$, $I=7$, $I=8$ и $I=9$ баллов для исследуемых объектов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 – Периоды повторения сотрясений с интенсивностью $I=6-9$ баллов по шкале MSK-64 для объектов 1-4

Номер объекта	Периоды повторения сотрясений (T_I , годы) с интенсивностью $I=6-9$ баллов по шкале MSK-64			
	T_6	T_7	T_8	T_9
Объект 1	10	30-40	300-400	5000
Объект 2	10	20-30	300-400	5000
Объект 3	10	30-40	300-400	>5000
Объект 4	25	100	1000-2000	>5000

При расчёте сейсмической опасности площадок расположения объектов в инженерных показателях сейсмических воздействий учитывались реальные грунтовые условия каждого объекта. Для этого предварительно методом акустических жесткостей

были определены значения скоростей поперечных волн верхней грунтовой толщи V_{S30} в окрестности каждого объекта. В качестве прогнозного уравнения движений грунта (GMPE) при расчете сейсмической опасности использовалась зависимость S. Akkar, J. Bommer 2010 [4].

В таблице 3 приведены числовые характеристики значений максимальных ускорений колебаний грунта для территорий расположения объектов. Кривые опасности каждого объекта в значениях максимальных ускорений колебаний грунта приведены на рисунке 5 а, а на рисунке 5 б показаны спектры реакции грунтов площадок расположения объектов 1-4 для вероятности $P=0,95$ не превышения уровня сейсмического воздействия в течение 50 лет (период повторяемости $T=1000$ лет).

Таблица 3 – Значения максимальных ускорений (PGA, cm/s^2) для различных вероятностей не превышения уровня сейсмического воздействия в течение 50 лет на площадках расположения объектов 1-4

Номер объекта	Значения максимальных ускорений (PGA, cm/s^2) для различных вероятностей не превышения уровня сейсмического воздействия в течение 50 лет			
	$P=0,9$ ($T=500$ лет)	$P=0,95$ ($T=1000$ лет)	$P=0,98$ ($T=2500$ лет)	$P=0,99$ ($T=5000$ лет)
Объект 1	230	255	280	300
Объект 2	305	325	345	360
Объект 3	300	325	345	360
Объект 4	150	180	215	245

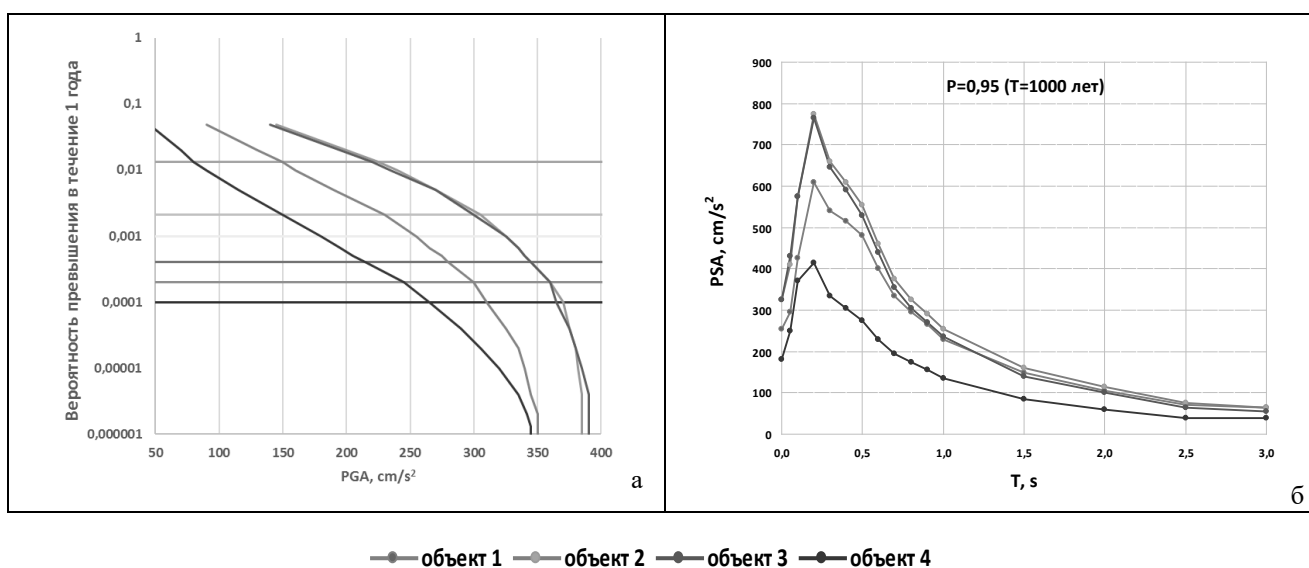


Рисунок 5 – Результаты вероятностного анализа сейсмической опасности территории расположения объектов 1-4: а) кривые опасности PGA объектов; б) спектры реакции грунтов площадок объектов

Проведенные исследования по изучению сейсмичности и сейсмической опасности позволят выработать рекомендации по сохранности объектов древнего зодчества для будущих поколений.

Литература

1. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.О., Ибрагимов О.Р. Сейсмотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане / Под. ред. Абдуллабекова К.Н. Ташкент: Гидроингео.2002. С. 59–74.
2. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L, Mirzaev M.A. Complex of general seismic zoning maps OSR-2017 of Uzbekistan // Geodesy and Geodynamics. 2020. Vol. 11. No. 4. P. 273-294. <https://doi.org/10.1016/j.geog.2020.03.004>
3. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Ибрагимова Т.Л., Мирзаев М.А. Модели макросейсмического поля землетрясений Центральной Азии и их влияние на результирующие оценки сейсмической опасности // Геодинамика и тектонофизика. 2020. Т. 11. № 3. С. 606-623. <https://doi.org/10.5800/GT-2020-11-3-0494>
4. Akkar S., Bommer J. Empirical Equations for the Prediction of PGA, PG V, and Spectral Accelerations in Europe, the Mediterranean Region, and the Middle East // Seismological Research Letters. 2010. Vol. 81. No. 2. P. 195-206. <https://doi.org/10.1785/gssrl.81.2.195>.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ ИНТЕНСИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ

Бозоров Ж.Ш, Мансуров А.Ф., Рузимбаев Ф.Ф., Тешаева Р.Б.
j.bozorov1968@gmail.com, mansurovazizjon11@gmail.com, frozimboyev@gmail.com,
teshayeva.ruhsora.93@bk.ru

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

В статье рассмотрены инженерно-геологические изыскания, сейсмометрические и сейсморазведочные исследования лессовидных грунтов, которые распространены по строительным площадкам. В результате проведенных исследований были выявлены закономерности распределения по рельефу и глубине рассредоточенных на строительной площадке лессовых грунтов, глубина залегания грунтовых вод в просадочных лессовых грунтах, степень влияния физико-механических и сейсмических свойств грунтов на сейсмическую интенсивность. С учетом полученных данных от нижеуказанных работ, а также инженерно-геологических условий местности, установлено, что сейсмическая интенсивность строительной площадки для данного места выше баллов, указанных на карте сейсмического районирования.

Ключевые слова: сейсмическая интенсивность, инженерная геология, лессовые грунты, строительная площадка, сейсмические приращения, сейсмическое воздействие

Введение. Просадочные макропористые лёссовые и лёссовидные грунты широко распространены в сейсмоактивных районах Центральной Азии. Известно много проявлений землетрясений, в результате которых большое количество гражданских и промышленных сооружений было повреждено. Так, нанесён большой ущерб экономике и разрушены многочисленные здания и сооружения в следствии землетрясений таких как, Андижанское (1902), Ашхабадское (1948), Хаитское (Таджикистан, 1949), Ташкентское (1966), Джамбулское (Казахстан, 1971), Газлийское (1976, 1984), Назарбекское (1980), Спитакское (Армения, 1988), Суматрийское (Таиланд, 2004), Фукусима (Япония, 2011). По результатам макросейсмических исследований выявлены и зафиксированы разрушения многие здания и сооружения, оставшиеся оказались сильно деформированными или непригодными для дальнейшей эксплуатации [4].

Не смотря на то, что вопросы сейсмического районирования во многих случаях решаются весьма приближённо, поэтому встречаются серьезные ошибки при назначении балльности района. Так, например, Газли, по данным сейсмического районирования 1962 г., относился к зоне, которая характеризовалась в 6 баллов. В связи с этим многие сооружения в этом поселке были построены без специальных мероприятий по усилению сооружений антисейсмическими конструкциями. В 1976 году в этом районе произошло серия землетрясений силой 7 - 9 баллов. В связи с чем в этих районах большинство сооружений было разрушено.

Нами изучается реакция грунтов на сейсмические воздействия и возможные деформации грунтов при этих воздействиях: разжижение, просадки, потеря устойчивости склонов и др. Основной задачей является оценка влияния грунтовых условий на сейсмичность участка, т.е. определение величины поправки балльности за счёт состояния грунтов верхней части разреза. В настоящее время на территории республики Узбекистан в широких масштабах проводится строительства промышленных предприятий и сооружений для населения. Исходя из этого, в настоящее время актуальным вопросом является изучение сейсмической интенсивности, как городских территорий, так и строительных участков.

Лёссовые грунты, слагающие основания зданий и сооружений, обладают достаточной прочностью, что в естественных условиях обеспечивает несущую способность оснований. Однако при увлажнении лёссовых грунтов, находящихся в напряжённом состоянии под действием веса зданий и сооружений, а иногда и только под действием собственного веса, в них наблюдаются дополнительные деформации, называемые просадкой[2]. Процесс просадки представляет собой сложное физико-химическое взаимодействие воды с грунтом, вследствие которого снижается прочность структурных связей грунта и происходит его до уплотнения за счёт высокой исходной пористости, что, в свою очередь, ведёт к оседанию поверхности грунтовых оснований и деформациям сооружений. Как нам известно, конструктивный тип и инженерная подготовка строящихся на сегодняшний день зданий и сооружений осуществляется на основе карты сейсмического районирования. Сейсмическая интенсивность конкретного строительного участка на карте сейсмического районирования изменяется за счёт проведения детальных инженерно-сейсмологических работ, с учётом инженерно-геологических условий. Это означает, что изменение сейсмической интенсивности зависит от инженерно-геологических условий территории, а именно от типа осадочных грунтов, распространённых на строительной площадке, формы рельефа, мощности осадочного грунта, глубины залегания грунтовых вод, водонасыщенности грунтового массива, а также от ряда других техногенных факторов. В связи с этим, целью исследований является изучение инженерно-геологических условий с привлечением сейсморазведочных работ в районах распространения осадочных грунтов. Задачей настоящей работы является установление влияния лёссовых грунтов на сейсмическую интенсивность строительной площадки.

Обсуждение результатов. В разные годы С.М.Касымовым, К.Ш.Нурмухамедовым, В.А.Исмаиловым, Н.Г.Мавляновой, Т.У.Артиковым, А.Ибрагимовым, А.Джураевым, Ларионовой Н.А.и мн.др. проводились макросейсмические исследования последствий сильных землетрясений с составлением карты изосейст и связанные со сравнительной оценкой влияния методов замачивания и силикатизации других видов технического улучшения лёссовых грунтов на изменение их сейсмических свойств как в городских, так и в региональных территориях. Основной задачей подобных исследований явилась инженерно-геологические исследования для сейсмического микрорайонирования. Устанавливались инженерно-геологические условия, которые могут оказывать влияние на приращение сейсмической интенсивности, с последующим их анализом и комплексной оценкой, а также составлением карты инженерно-геологического районирования, являющейся базой для МСР. Изучались основные компоненты инженерно-геологических условий, влияющие на природу сейсмической интенсивности: геологическое строение территории; вещественный состав; состояние и физико-механические свойства грунтов; тектонические, неотектонические и гидрогеологические условия; геоморфологическое положение и условия возникновения опасных геологических и инженерно-геологических процессов и явлений.

Таким образом, установлена то, что на интенсивность землетрясения большое влияние оказывает один из основных факторов, определяющих инженерно-геологические условия, глубина залегания грунтовых вод. Если глубина залегания грунтовых вод находится в пределах 0-1 м, водоносные грунты состоят из суглинков, супесей, то сейсмическая сила возрастает на 1 балл, если в пределах 1-4 м – на 0,5 балла, если в глубине 10 м и более – на 0 баллов [1, 2, 3].

Анализ результатов. Задача инженерно-геологических исследований на строительных площадках, сложенных макропористыми лёссовыми грунтами, заключается в определении всей необходимой информации о распространении лёссовых грунтов по глубине и площади, а также о физико-механических свойствах, о положении уровня грунтовых вод. В процессе изысканий установлены геоморфология площадки строительства, описаны просадочные деформации. Лёссовые грунты изучались послойно, выделяя зоны и горизонты по литологическим признакам, так как они имеют большую мощность на

исследуемой территории. Участок исследований расположен вдоль автодороги ТКАД в МФЙ «Хасанбой» Ташкентского района Ташкентской области (рис. 1).



Рисунок 1 – Результаты оценки приращения сейсмической интенсивности за счет грунтовых условий площадки расположения объекта «Строительство многоэтажного жилого дома, расположенного по улице Хасанбой дом № 2 МСГ Хасанбой Гузар Ташкентского района Ташкентской области»

В геоморфологическом отношении территория приурочена к поверхности четвёртой надпойменной террасы реки Чирчик. В геологическом строении участка принимают участие четвертичные пролювиальные отложения ташкентского комплекса (pQ_2^{ts}). В литологическом отношении от поверхности до 18,0 м участок сложен глинистыми грунтами, представленными лёссовидными суглинками подстилающие каменным лёссом. Из опасных геологических процессов распространены оврагообразования первой стадии, просадочность, суффозия, сейсмопроседания увлажнённого лёсса и лёссовидных суглинков и др.

Подземные воды в период исследований (июнь 2021г.) вскрыты на глубине 11,3-11,5м от поверхности земли. По данным мониторинга минимальное положение уровня подземных вод наблюдается в декабре-феврале, максимальное – июне-августе амплитудами колебаниями УПВ в пределах до 2,0 м. Вскрытый уровень соответствует по своему максимальному положению подземных вод. Положение расчётного максимума подземных вод участка следует ожидать на 0,5 м выше установленных. Территория исследований относится ко второй категории сложности по инженерно-геологическим условиям.

На основании проведённых разведочных и горнопроходческих исследований получены результаты по геолого-литологическому строению, физическим, прочностным и деформационным свойствам грунтов и выделены три инженерно-геологические элементы: ИГЭ-1 – лёссовидные суглинки, маловлажные и влажные; ИГЭ-2 – лёссовидные суглинки, водонасыщенные; ИГЭ-3 – каменный лёсс.

В грунтах ИГЭ-1 просадочные явления проявляются вследствие от давления собственного веса и дополнительных нагрузок, величина которого в толще 10,8 м составляет 8,0см. Начальное просадочное давление – 0,08 МПа. Относятся к II (второй) типу грунтов по просадочности. Согласно дополнений и поправок к технической части ШНК 4.02.01-04 группы грунтов по трудности разработки механизмами исходя из их плотности следует принимать: для грунтов ИГЭ-1 – с плотностью 1710 кг/м^3 ; для грунтов ИГЭ-2 – с плотностью 1860 кг/м^3 .

Для оценки приращения сейсмической интенсивности использован метод основанный на синхронной записи природных шумов на двух и более точках и последующем сравнением

амплитудно-спектральной характеристики микросейсмического шума. Для расчётов использован скрипт пакета Матлаб-7, написанный StephaneHans, ENTPE (Франция). Несколько отрезков записей микросейсм длительностью по одному часу нарезаются на интервалы по 10 минут, вычисляется для них спектр и производится фильтрация для устранения случайных импульсных помех. Далее методом взвешивания строится отношение спектров Н/У компоненты.

Обработка данных с использованием программы JSesame позволяет оценить спектральное отношение Н/У (горизонтальных и вертикальных колебаний, метод Накамуры, 1991). При обработке помехи и шумы техногенного и др. происхождения вырезаются из временного ряда.

Измерения микросейсм произведены в 6 пунктах регистрации. Ниже приведены спектры HVSR (отношение спектров горизонтальных колебаний к вертикальным) для пунктов регистрации 1-6 (рис 2.).

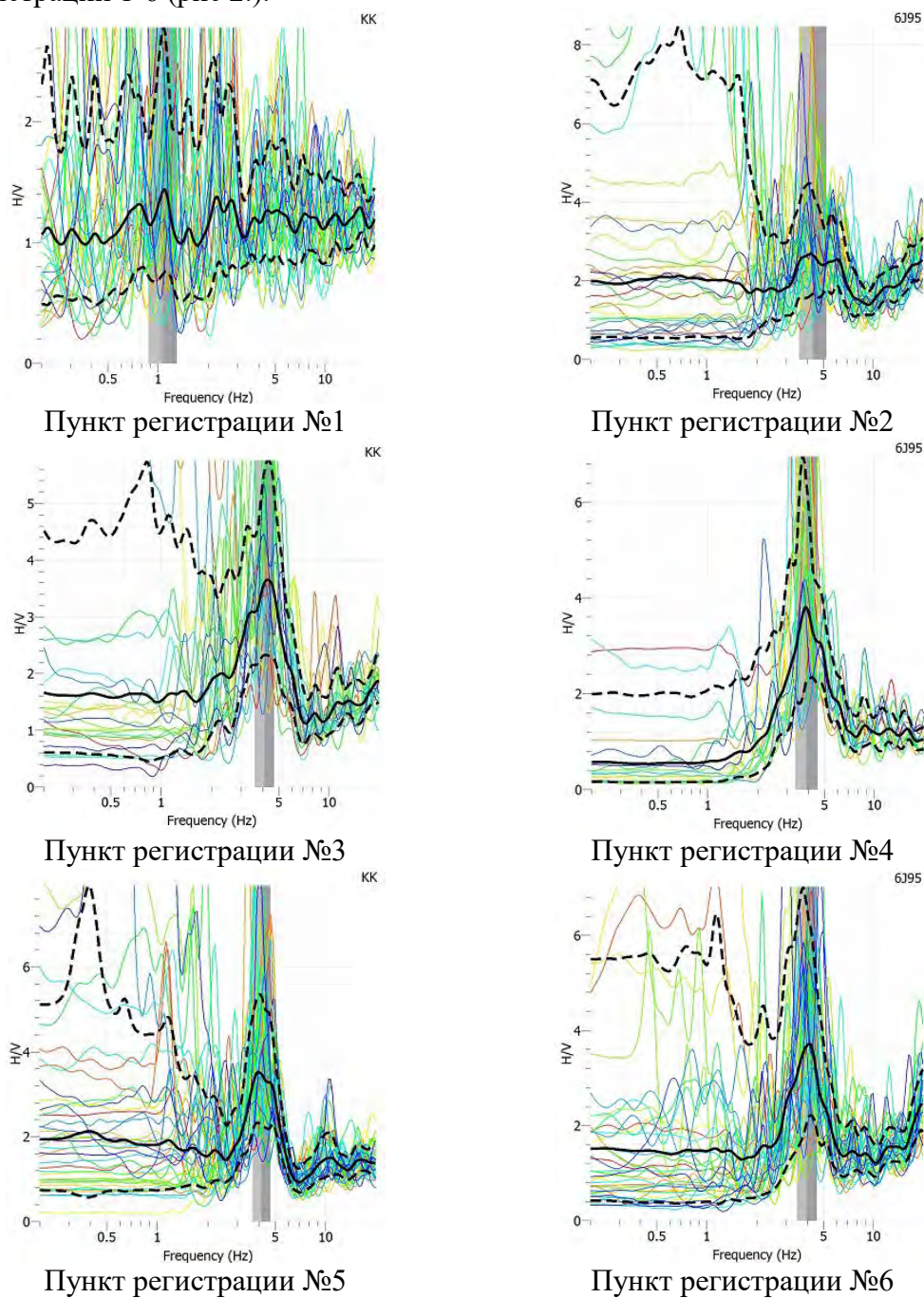


Рисунок 2 – Спектры HVSR для пунктов регистрации 1-6

Результаты расчётных параметров по измеренным пунктам наблюдений по объекту «Строительство многоэтажного жилого дома, расположенного по улице Хасанбой дом №2 МСГ Хасанбой Гузар Ташкентского района Ташкентской области» представлены в таблице Таблица 1 – Результаты сейсмометрических исследований микросейсм (по данным А.Ибрагимова и др.)

№	F_0	HVSR	K_g	dI	I_{max}
1	1,05	1,42	1,91	+0,491	7,5
2	4,60	2,70	1,58	+0,067	8,1
3	4,60	3,60	2,81	+0,317	8,3
4	4,40	3,81	3,29	+0,366	8,3
5	4,60	3,6	2,81	+0,317	8,3
6	4,51	3,51	2,73	+0,295	8,2

* F_0 – резонансная частота грунтов, HVSR – спектр колебаний, K_g – коэффициент сейсмического разжижения грунтов, dI – приращение балльности, I_{max} – максимальная интенсивность.

Выводы по таблице: приращение интенсивности сейсмических воздействий относительно грунтов II-категории достигает +0,49. Коэффициент сейсмического разжижения грунтов в пределах 1,58-3,29, т.е. грунты устойчивые.

Кроме этого, на территории объекта проводились сейсморазведочные исследования, с целью определения сейсмических свойств грунтов с последующим вычислением сейсмическую интенсивность участка методом сейсмических жёсткостей и оценка приращения сейсмической интенсивности в точках наблюдений (рис. 3).



Рисунок 3 – Обзорная схема расположения сейсморазведочного профиля в объекте исследований

По результатам сейсморазведочных исследований (по данным Т.У. Мамаразыкова) получены параметры распространения поперечных (S) волн в грунтовой толще (рис. 4) и рассчитана приращение сейсмической интенсивности участка, которое принимается как +0,67=+1 балл.

Оценка приращения сейсмической интенсивности по методу «сейсмических жёсткостей». Согласно, поставленной задачи в программе работ были запланированы сейсморазведочных исследований. В таблицах 2 приведены результаты скорости распространения поперечных волн для 10-20 м. толщи грунтов (V_s30), а также приведены на рисунке 3 скоростные разрезы по профилям.

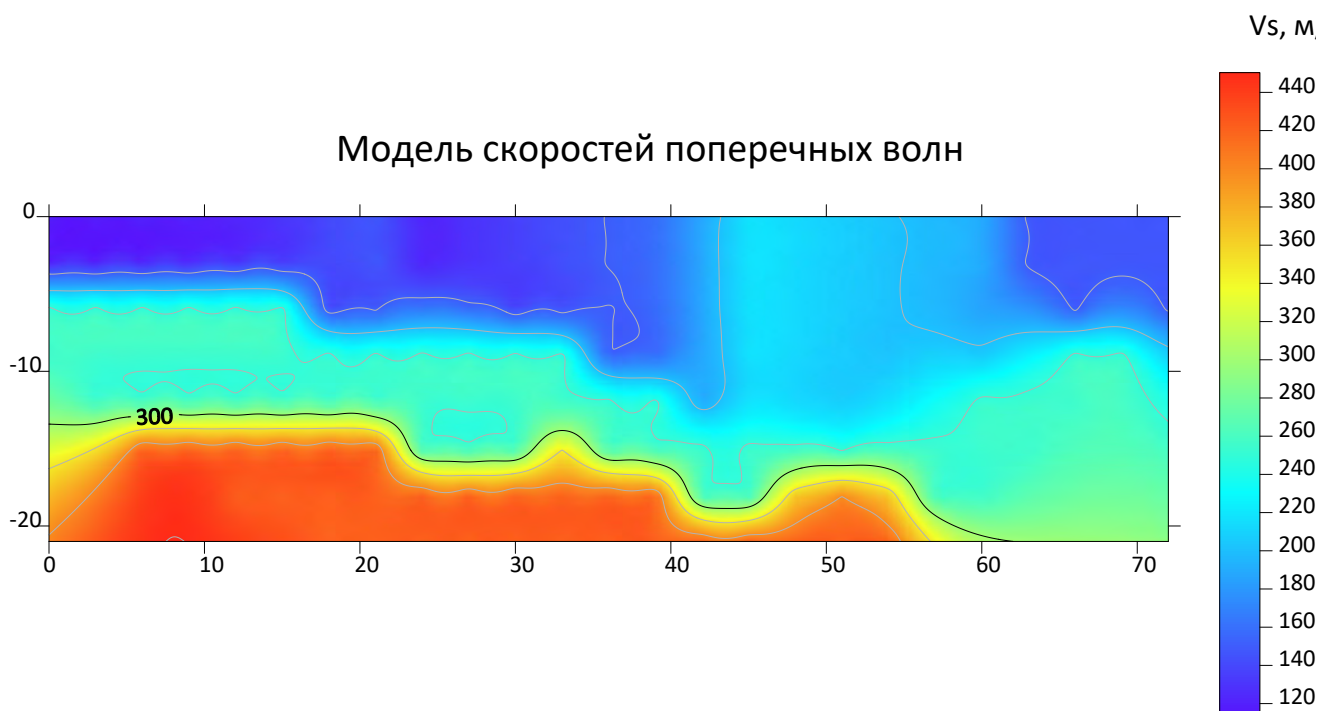


Рисунок 4 – Скоростной (V_s) разрез грунтовых толщ на площади расположения многоэтажного жилого дома

Расчёты приращения сейсмической интенсивности произведены по формуле С.В.Медведева (1962), т.е. по сейсмической жёсткости грунтов:

$$\Delta I_{\text{общ}} = 1,671 \lg \frac{V_0 \cdot \rho_0}{V_i \cdot \rho_i}$$

где V_0 и V_i – скорости сейсмических волн в реперном и исследуемом пунктах, ρ_0 и ρ_i – плотность грунта в реперном и исследуемом пунктах.

Для расчета приращения сейсмической интенсивности использованы графики изменения плотности грунтов с глубиной, установленные по результатам лабораторных исследований по сейсморазведочным профилям (табл. 2).

По этой методике произведены расчёт приращения сейсмической балльности по 1 точка наблюдений для каждой площадки до глубины 19 м. Расчёты проведены с использованием результатов значений скорости поперечных волн грунтов. В качестве реперного грунта принимались, лёссовидные суглинки имеющие преимущественное распространение на территории с мощностью до 30 м и характеризующиеся следующими физическими показателями: скорость поперечных волн – 525 м/сек, плотность 1,75 г/см³. Сейсмическая жёсткость реперного грунта составил 920. Расчеты приращения сейсмической интенсивности для исследуемойучастки приведены в таблице 3. Анализ полученных результатов показывает, что на исследуемой площадке распространены наиболее слабые в сейсмическом отношении грунты, они представлены супесями и суглинками с включениями песков сближенным залеганием уровня грунтовых вод, что имеет немаловажное значение при оценки сейсмической интенсивности участка.

Таблица 2 – Результаты регистрации значения скорости поперечных волн по глубине

Удаление от начала профиля, м	Поверхность первого слоя, м	Скорость поперечных волн (Vs) первого слоя, м/с	Поверхность второго слоя, м	Скорость поперечных волн (Vs) второго слоя, м/с	Поверхность третьего слоя, м	Скорость поперечных волн (Vs) третьего слоя, м/с
0	0	117.887	-4.883	204.515	-11.215	270.204
3	0	119.133	-5.095	214.887	-12.056	257.860
6	0	120.595	-5.234	221.408	-13.282	322.169
9	0	122.066	-5.182	219.668	-13.905	361.589
12	0	123.448	-5.219	222.945	-14.191	377.162
15	0	131.687	-5.629	237.175	-14.045	369.636
18	0	139.881	-6.333	155.422	-13.712	351.715
21	0	147.898	-7.029	182.612	-14.702	383.482
24	0	122.283	-6.951	192.243	-15.444	318.916
27	0	129.361	-7.102	192.989	-15.944	299.145
30	0	136.533	-7.342	191.159	-16.440	325.642
33	0	143.687	-8.760	224.999	-16.710	375.626
36	0	150.805	-9.619	192.843	-16.972	374.210
39	0	158.013	-11.255	209.288	-17.633	384.569
42	0	187.649	-12.221	205.950	-18.135	310.425
45	0	217.171	-13.126	218.726	-18.793	288.312
48	0	212.056	-13.722	232.099	-19.407	367.214
51	0	206.747	-13.833	228.313	-19.616	410.731
54	0	201.463	-13.429	230.542	-19.602	406.614
57	0	196.188	-12.591	233.821	-19.945	340.582
60	0	190.679	-11.499	243.476	-19.724	289.325
63	0	147.483	-10.190	242.128	-19.386	280.793
66	0	147.364	-8.052	237.515	-19.078	282.561
69	0	147.368	-6.769	221.448	-18.399	281.377
72	0	147.400	-6.769	190.811	-18.399	278.023
Среднее значение	0	154.594	-8.713	213.879	-16.669	332.315

Таблица 3 – Сводные данные о сейсмических характеристиках грунтов и приращении сейсмической интенсивности на исследуемой площадке

Наименование объекта	Точка наблюдения	Скорость поперечных волн (среднее значение для 10 м толщи) м/с	Плотность грунта (среднее значение для 10 м толщи), г/см ³	Среднее значение сейсмической жесткости	Приращение сейсмической интенсивности в баллах
Строительство многоэтажного жилого дома	10 м	162,224	1,68	272,53	+0,88
	30 м	249,361	1,93	480,92	+0,47

Заключение. На основе проведённых сейсмологических и инженерно-сейсмологических исследований можно сделать следующие выводы: по данным макросейсмического обследования сотрясений, возникших от сильных землетрясений, происшедших в регионе за исторический период времени, исследуемая площадка испытывала в прошлом максимальные сотрясения с интенсивностью $I=8$ баллов, по шкале MSK-64; по данным сейморазведочных исследований грунты в основаниях зданий многоэтажного жилого дома, расположенного по улице Хасанбой, дом № 2 МСГ Хасанбой Гузар Ташкентского района, Ташкентской области относятся к III категории грунтов по сейсмическим свойствам и приращения сейсмической интенсивности составляет +1,0 балл к исходной сейсмичности; из-за ухудшения инженерно-геологических условий участка произошло увеличение сейсмической интенсивности на +1 балл; учитывать данное заключение при проектировании строительства зданий и сооружений на исследуемой площадке.

Литература

1. Мавлянова Н.Г., Исмаилов В.А., Ларионова Н.А. Сравнительная оценка влияния методов замачивания и силикатизации лёссовых грунтов на повышение их сейсмических свойств в региональных условиях Узбекистана // Инженерная геология. 2017. № 4. С. 72-80.
2. Джураев А. Эффект Газлийских землетрясений в зависимости от грунтовых условий. Ташкент: Наука. 1985. 85 с.
3. Артиков Т.У., Ибрагимов Р.С., Зияудинов Ф.Ф. Сейсмическая опасность территории Узбекистана. Ташкент: Фан. 2012. 254 с.
4. Абелев Ю.М., Абелев М.Ю. Основы проектирования и строительства на просадочных макропористых грунтах. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Стройиздат. 1979. 271 с.
5. Расулов Х.З. Сеймопросадочная деформация увлажненных лёссов // Прочность конструкции, сейсродинамика зданий и сооружений. Материалы Междунар. науч.-техн. конф. Ташкент. 2016. С. 45-48.
6. Джураев А. Влияние просадочности лёссовых грунтов территории г. Ташкента на сейсмический эффект при Ташкентском землетрясении 26.04.1966 г. // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. Ташкент. 2006. № 3. С. 282-285.

ЭВОЛЮЦИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА (БЕЛОЕ МОРЕ)

Бондарь И.В., Гордеев Н.А.
bond@ifz.ru, gord@ifz.ru

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, Россия

В ходе полевых работ 2019-2021 годов на южном побережье Белого моря авторами статьи был набран представительный материал для тектонофизических исследований - замеры пространственной ориентировки геологических стресс-индикаторов: зеркал скольжения, отрывов, жил и трещиноватости. Для анализа собранного материала был применен комплекс тектонофизических методов, а именно метод катакластического анализа разрывных смещений Ребецкого Ю.Л., структурно-парагенетический метод Расцветаева Л.М., структурно-геоморфологический метод Сим Л.А. и программа SimSGM, анализ трещиноватости.

На территории пролива Великая Салма реконструированы разновозрастные локальные стресс-состояния, которые были привязаны к тектонической истории Кандалакшского грабена. Установлено, что поле напряжения поэтапно эволюционировало от северо-западного сжатия к северо-восточному на протяжении новейшего тектонического этапа.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, Кандалакшский залив, пролив Великая Салма, Кузокоцкий архипелаг, тектонофизика, зеркала скольжения, трещиноватость, неотектоника.

Введение. Белое море и, в частности, южный берег Кандалакшского залива уже на протяжении длительного времени привлекает внимание ученых самых разных направлений: геологов, геоморфологов, геофизиков, географов, биологов и других. Несмотря на большое количество работ по данному району, в этой статье впервые проведен анализ детальных полевых тектонофизических материалов, которые были собраны авторами в ходе полевых работ.

Методика исследования. Исходными данными для исследования являются замеры пространственной ориентировки геологических индикаторов деформаций, полученные с помощью геологического компаса непосредственно при полевом изучении различных обнажений.

Изучение тектонических напряжений проводилось с помощью метода катакластического анализа разрывных смещений Ю.Л. Ребецкого [1]. Для расчета использовалась программа STRESSgeol. Исходными данными для расчета являются полевые замеры пространственной ориентировки зеркал скольжения. Метод позволяет определить количественные характеристики реконструируемых локальных стресс-состояний: положение осей главных напряжений и форму эллипсоида деформаций.

Структурно-парагенетический метод применен для анализа систем тектонической трещиноватости разных кинематических типов с их объединением в устойчивые структурные ассоциации (парагенезы) [2]. Малые разрывные нарушения, зеркала скольжения, отрывы, жилы и другие, используемые в данном методе геологические стресс-индикаторы, несут информацию о разных этапах деформирования.

Исследование распределения плотностей трещиноватости производилось в программе stereonet. В качестве входных данных использовались ориентировки полюсов плоскостей трещиноватости – азимут и угол падения. Выходными данными являются азимуты

простираций и углы падения плотности полюсов трещин и розы диаграммы по полюсам трещин. Эти данные позволяют проводить качественный анализ распределения трещиноватости и выявления трендов ее развития для установления парагенетических связей с региональными структурами.

Авторами статьи использован инновационный продукт SimSGM [3], позволяющий реконструировать локальные стресс-состояния по космическим снимкам, топографическим картам или картам высот. В SimSGM реализован и усовершенствован метод реконструкции сдвиговых неотектонических напряжений (структурно-геоморфологический метод) [4]. В методе используются данные о разрывах или линейный анализ, в области которых дешифрируются мелкие прямолинейные элементы рельефа, совокупность расположения которых (палетка Гзовского) позволяет установить сдвиговую составляющую по разрывам, направления действующих напряжений и осложняющую обстановку (дополнительного сжатия или дополнительного растяжения).

Результаты исследования и обсуждение.

В ходе реконструкции методом катакластического анализа получено 10 локальных стресс состояний (рис. 1). В восточной части исследуемого района преобладает северо-восточная ориентировка оси максимального сжатия, встречается также запад-северо-западное сжатие. В западной части исследуемого района зафиксированы северо-восточное и северо-западное направление оси максимального сжатия. Реконструкции структурно-парагенетическим методом не противоречат, а дополняют реконструкции. В восточной части изучаемой территории также присутствует северо-восточное сжатие, но уже наблюдается большее количество локальных стресс-состояний с ориентировкой оси максимального сжатия в северо-западном, запад-северо-западном и даже субширотном направлении.

Установлено, что островная гряда архипелага Средние Луды (расположен на северо-восток от Кузокоцкого архипелага) является межвпадинной перемышкой, разделяющей два современных грабена на полуграбены – Кандалакшский и Колвицкий, и представляет собой зону аккомодации тектонических напряжений [5]. В данной зоне происходит перенос напряжений растяжения с одного отрезка рифтовой зоны на другой. При этом форма главного осевого сброса имеет уже не ровную плоскость, а будет иметь вид пропеллера. А полуграбены будут соединяться зонами аккомодации со сдвиговой деформацией.

Таким образом, исследуемый район, возможно, находится в зоне влияния сдвиговых деформаций, причем, если немного упростить схему, движения в зоне аккомодации будут происходить по типу простого левого сдвига. Следовательно, ось максимального сжатия будет иметь простирание около 25° (север-северо-восточное сжатие), при простирании оси Кандалакшского залива 330° . Соответственно, северо-восточное направление оси максимального сжатия в пределах Кузокоцкого архипелага и полуострова Киндо вероятнее всего связано с современным развитием Кандалакшской структуры.

Вторым источником напряжений в исследуемом районе является очевидно структура пролива Великая Салма. Пролив представляет собой линейную депрессию.

Дно пролива активно погружается в новейшее время, что объясняется наличием растягивающих напряжений перпендикулярно проливу. То есть ось максимального растяжения должна быть ориентирована в север-северо-восточном направлении с азимутом простирания $\sim 15^\circ$, а ось максимального сжатия, соответственно, в запад-юго-западном направлении с азимутом простирания $\sim 285^\circ$. Такие ориентировки зафиксированы на островах Покормёжный и Медвежий, а также на луде Авенариус.

Западнее в пределах Кузокоцкого архипелага и на полуострове Киндо зафиксированы также оси максимального сжатия северо-западного сжатия с азимутом простирания $\sim 310^\circ$. Как уже было отмечено, дно пролива не имеет прямой осевой впадины, а разделено на сегменты, при этом сегменты повернуты друг относительно друга. Этим можно объяснить небольшие различия в направлении оси максимального сжатия, например, на островах Кастьян-Коккоиха и Покормёжный-Медвежий. При общем растяжении в север-северо-

восточном направлении и сжатии в запад-северо-западном направлении в пределах каждого отдельного сегмента ориентировка главных осей напряжения отличается. В общем поле напряжения запад-северо-западного сжатия эти дифференцированные движения вносили свои коррективы.

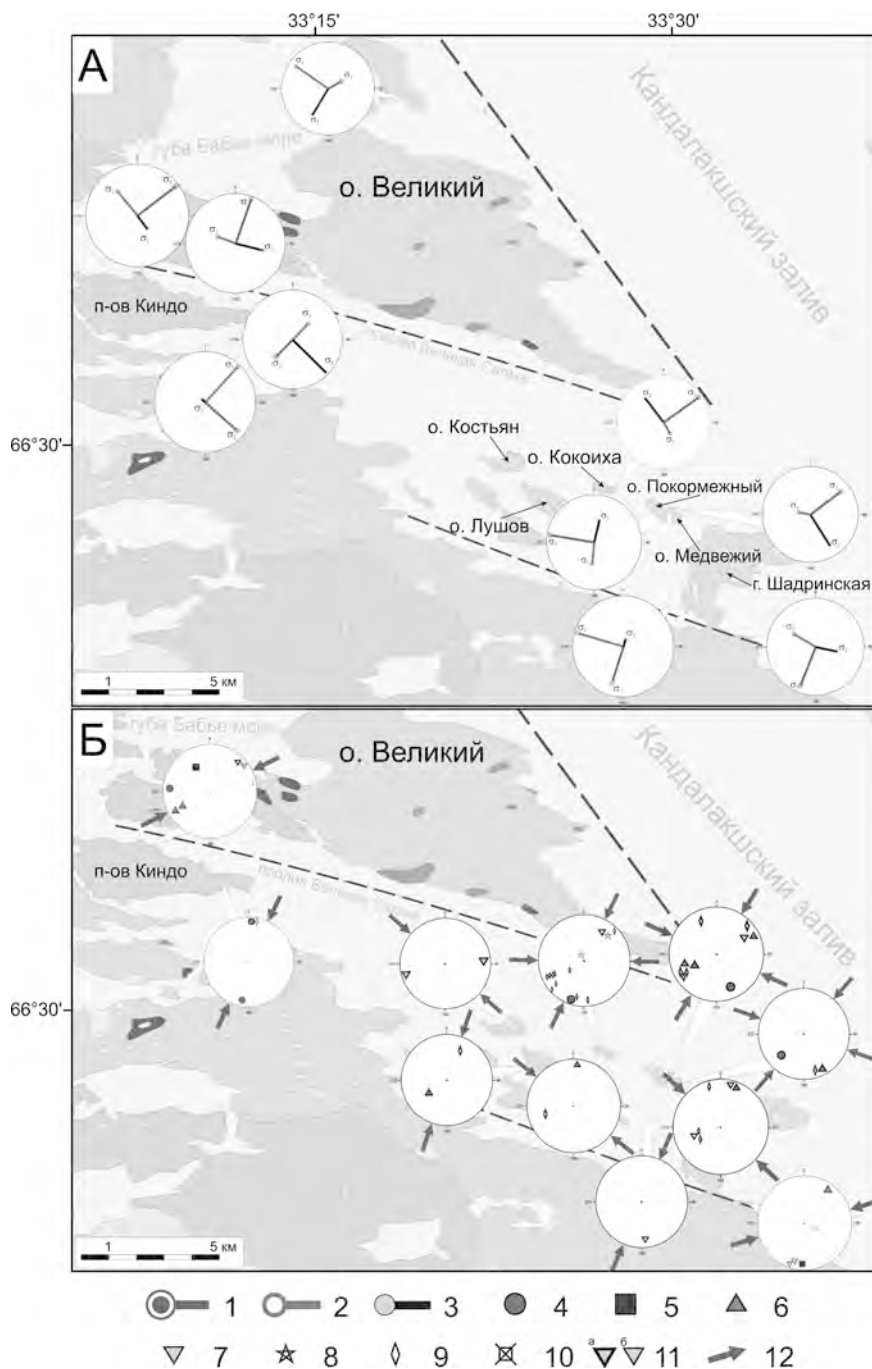


Рисунок 1 – Результаты реконструкции методом катакластического анализа разрывных смещений (А) и структурно-парагенетическим методом (Б).

1-3 – главные оси напряжения: 1 – ось максимального сжатия, 2 – ось максимального растяжения, 3 – промежуточная ось; 4-9 – полюса плоскостей зеркал скольжения: 4 – взбросовой кинематики, 5 – сбросовой кинематики, 6 – правосдвиговой кинематики, 7 – левосдвиговой кинематики, 8 – неопределенной кинематики с вертикальным смещением 9 – неопределенной кинематики с горизонтальным смещением 10 – отрывные структуры; 11 – степень достоверности замера зеркала скольжения: а – высокая, б – низкая; 12 – ориентировка оси максимального сжатия, и реконструированная структурно-парагенетическим методом

В то же время, как отмечено в работе [6], в Беломорской котловине среди неотектонических разрывных нарушений доминируют сдвиги. То есть, вероятнее всего, что пролив Великая Салма развивается не просто как структура растяжения, а со сдвиговой компонентой.

На район пролива Великая Салма авторами статьи была проведена реконструкция положения главных осей напряжения с помощью структурно-геоморфологического метода Сим Л.А., в программном обеспечении SimSGM. Полученные результаты четко показывают наличие правосдвиговой компоненты, ориентировка оси максимального сжатия при этом имеет запад-северо-западное направление. То есть полученное нами поле напряжения северо-западного сжатия связано именно с развитием этой структуры в условиях дополнительного растяжения с правосдвиговой компонентой (транстенсия). Этим же объясняется смещение сегментов дна пролива друг относительно друга.

Трещиноватость северной части рассматриваемого региона подчеркивает общий тренд северо-западной ориентировки всех глобальных структур [7], вместе с тем по трещиноватости также выявляется северо-западный тренд простираний плоскостей трещин. Однако рассмотрение трещиноватости обнажений без привлечения дешифрирования космоснимков и топокарт позволяет выделить локальные неоднородности в масштабе отдельных островов. Так подчеркиваются локальные оперяющие структуры к сейсмодислокациям и грабенам на островах Кокоиха, Покормёжный и Медвежий. По этим группам измерений сложно сказать, что реконструируемые напряжения методом катакластического анализа или структурно-парагенетическим методом Расцветаева Л.М. полностью подтверждаются распределением плотностей трещиноватости, но вполне можно утверждать, что измеренные трещины имеют характер R и R' сколов или отрывов в зависимости от действующих в каждой локальной точке напряжений. То есть в разные этапы геологической истории одни и те же группы трещин вновь и вновь встраиваются в тектонический ансамбль, исполняя роль, то сколов, то отрывов. В связи с чем некоторые трещины имеют минеральные корочки или волнистый облик. Однозначно отрывных трещин наблюдалось немного. Если же судить строго по расположению плоскостей трещин, то оси сжатия для большинства точек пролива Великая Салма лежат в северо-западных румбах. На основании вышеизложенного материала реконструкции привязываются к определенным этапам тектонической активизации Кандалакшского района и реконструируемые поля напряжения имеют следующую хронологическую последовательность: начиная с этапа перекрестного рифтинга – Колвицкий-Кандалакшский рифты – формируется поле напряжения северо-западного сжатия, которое вынуждает формироваться поперченные сейсморвы на островах Кузокоцкого архипелага север-северо-западного простирания [8], в это же время появляется основной рисунок трещиноватости, после чего начинает раскрываться первоначальная структура рифта пролива Великая Салма. Далее вследствие развития вращательных движений против часовой стрелки в области островов. Средние Луды по локальным точкам развиваются деформации в поле напряжения северо-восточного сжатия, трещиноватость обновляется, по древней системе трещин формируются зеркала скольжения.

Таким образом, возраст реконструкций структурно-геоморфологическим методом приурочен к переходному этапу неоплейстоцена, времени, когда развивается Кандалакшский и Колвицкий грабены по северо-западной оси раскрытия вместе с заложением рифта пролива Великая Салма. Затем начинает преобладать поле напряжения северо-западного сжатия и формируется сеть трещиноватости, которую удалось измерить в полевых исследованиях, характеризующая в основном, как типичные сколы Риделя. Реконструкции структурно-парагенетическим методом Расцветаева Л.М., структурно-геоморфологическим методом Сим Л.А. и некоторые реконструкции методом катакластического анализа, ось сжатия которых варьирует в северо-западных румбах, имеют возраст неоплейстоцен-голоцен. И подавляющее количество реконструкций методом катакластического анализа, и частично структурно-парагенетическим методом, с северо-восточным простиранием оси

максимального сжатия имеют самый молодой возраст, так как отражают движения перекрестного рифтинга Колвицкого и Кандалакшского грабенов с общей осью вращения в области о-ва Средние Луды и направлением вращения против часовой стрелки. Подобное строение модели новейшей тектоники создает наведенные напряжения северо-восточного простирания в районе Колвицкого архипелага и способствуют развитию поперечных структур на островах и большого количества псевдо-трансформных смещений северо-восточного простирания на дне пролива Великая Салма. Возраст этих реконструкций – голоцен. В таких условиях уже заложенная трещиноватость не прекращает свое развитие, однако повторно встраивается в виде сколовых трещин Риделя-штрих в структурах сейсмодислокаций, так как ориентируется она уже под углом 65-80° по направлению основного сжатия.

Выводы. Комплексное применение полевых и дистанционных тектонофизических методов позволило определить вероятные источники напряжения в пределах крупного участка южного берега Белого моря от пролива Великая Салма до Чупинской губы и получить следующие результаты:

1. В районе северного участка исследования в новейший и современный этап действуют два источника напряжения – развитие Кандалакшского грабена и грабена пролива Великая Салма.

2. Зафиксированное северо-восточное сжатие связано с развитием Кандалакшского грабена по схеме, предложенной в работе (Балуев и др., 2012) – два полуграбена, которые растягиваются, соединены зоной аккомодации напряжений со сдвиговой деформацией. Данный вывод предварительный и требует дополнительного исследования с помощью математического моделирования.

3. Зафиксированное запад-северо-западное сжатие связано с развитием структуры пролива Великая Салма в условиях растяжения с правосдвиговой компонентой (транстенсия).

Литература

1. Ребецкий Ю.Л., Сим Л.А., Маринин А.В. От зеркал скольжения к тектоническим напряжениям. Методы и алгоритмы. М.: ГЕОС. 2017. 225 с.
2. Расцветаев Л.М. Парагенетический метод структурного анализа дизъюнктивных тектонических нарушений // Проблемы структурной геологии и физики тектонических процессов. М.: ГИН АН СССР. 1987. С. 173–235.
3. Гордеев Н.А., Молчанов А.Б. Автоматизация структурно-геоморфологического метода реконструкции сдвиговых тектонических напряжений Л.А. Сим // Геоинформатика. 2019. № 2. С. 25–33.
4. Сим Л.А. Изучение тектонических напряжений по геологическим индикаторам (методы, результаты, рекомендации) // Изв. вузов. Геол. и разведка. 1991. № 10. С. 3-22.
5. Балуев А.С., Журавлев В.А., Терехов Е.Н., Пржиялговский Е.С. Тектоника Белого моря и прилегающих территорий (Объяснительная записка к «Тектонической карте Белого моря и прилегающих территорий» масштаба 1:1500000) // Тр. ГИН РАН. Вып. 597. М.: ГЕОС. 2012. 104 с.
6. Евзеров В.Я., Виноградов А.Н., Николаева С.Б. Геодинамика беломорской котловины в голоцене // Вестн. КНЦ РАН. 2014. № 2 (17). С. 51–58.
7. Косевич Н.И., Романовская М.А. Линеаменты и тектоника Кандалакшского залива Белого моря // Вестник Московского университета. Сер. 4: Геология. 2014. № 4. С. 20-26.
8. Бондарь И.В., Гордеев Н.А. Реконструкция палеонапряжений структурно-геоморфологическим методом Сим Л.А. по ортофотоплану высокого разрешения на о.Кокоиха (Кандалакшский залив) // Современная тектонофизика. Методы и результаты. Материалы седьмой молодежной тектонофизической школы-семинара. 2021. С. 69–72. Doi: 10.21455/VIIUTphSchS

МОНИТОРИНГ ЦЕЛОСТНОСТИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС ПО ДАННЫМ РЕГИСТРАЦИИ УДАЛЕННЫХ СТАЦИОНАРНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Громыко П.В., Кречетов Д.В.

GromykoPV@mail.ru, krechet1@bk.ru

Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», г. Новосибирск, Россия

Здания и сооружения являются объектами повышенной ответственности. При определенных условиях они подвержены негативным воздействиям, вызванным влиянием на них различных естественных и техногенных факторов. Ввиду этого, при эксплуатации необходим как контроль технического состояния объекта, так и влияющих на него динамических воздействий, возможно несущих опасность как для конструкции в целом, так и для ее частей.

Данное инженерно-сейсмологическое исследование посвящено развитию пассивных сейсмических методов мониторинга состояния целостности инженерных конструкций. В качестве объекта исследования рассматриваются сейсмические колебания, вызванные работой 242-метровой арочно-гравитационной плотины и конструкциями здания Саяно-Шушенской гидроэлектростанции, расположенной в России. Представлены данные мониторинга, регистрируемые сетью удаленных сейсмических станций. Исследуются причинно-следственные связи между изменениями режимов работы оборудования и регистрируемыми колебаниями в конструкциях плотины. Дается оценка изменения собственных частот с учетом влияния сезонных условий и изменения уровня воды в водохранилище.

Ключевые слова: динамические воздействия, пассивный сейсмический мониторинг, собственные колебания, плотина, гидроагрегат

Введение. Управление крупными плотинами и контроль их безопасности, как правило, основаны на автоматическом мониторинге, включают так называемые системы сейсмического мониторинга и мониторинга состояния целостности с использованием новейших технологий для автоматического измерения, сбора и передачи данных. В работах [1-3] представлен опыт исследования различных промышленных сооружений с помощью динамического метода мониторинга и предложены различные типы математических моделей и подходов для уточнения собственных частот и определения существующих дефектов. В работах [4-6] предложены варианты мониторинга инженерных сооружений, основанные на накоплении и выделении из сигнала собственных колебаний, предложены различные подходы к интерпретации и обработке материала.

В данной работе представлен опыт исследования состояния Саяно-Шушенской гидроэлектростанции имени П.С. Непорожного (СШ ГЭС) – арочно-гравитационной плотины высотой 242 метра, расположенной на реке Енисей в 100 км южнее Абакана (Республика Хакасия, Россия). Плотина является одной из самых высоких как в России, так и в мире. 17 августа 2009 года на станции произошла крупнейшая в истории российской гидроэнергетики авария, ставшая причиной гибели 75 человек. В результате аварии вышли из строя все 10 гидроагрегатов (ГА) общей мощностью в 6400 МВт. Комиссия технического расследования установила, что причина аварии – «разрушение шпилек крепления крышки турбины гидроагрегата №2, вызванное дополнительными динамическими нагрузками переменного характера, которому предшествовало образование и развитие усталостных повреждений узлов крепления, что привело к срыву крышки и затоплению машинного зала станции» [7]. Впоследствии все гидроагрегаты старого образца, были постепенно заменены

гидроагрегатами нового типа. Также в 2011 г для предотвращения затопления прилегающих территорий паводковыми водами был введен в эксплуатацию водосброс, пропускная способность которого составила 13090 м³/с воды. Восстановление станции было в целом завершено 12 ноября 2014 года, после пуска последнего гидроагрегата нового образца.

В данной работе рассматривается опыт мониторинга целостности конструкций Саяно-Шушенской ГЭС. В работе дана оценка влияния сезонных изменений и уровня наполнения водохранилища на собственные колебания плотины.

Аппаратура и методика проведения исследований. Для анализа использованы результаты сейсмических наблюдений стационарных станций ФИЦ ЕГС РАН (Россия) «Черемушки», «Джой» и «Джойская Сосновка» (рис. 1).



Рисунок 1 – Схема сейсмических наблюдений в плотине и в здании машинного зала во время ввода в эксплуатацию гидроагрегата №1

Регистрация проводилась в непрерывном режиме и включала регистрацию колебаний поочередно для каждого из вводимых в эксплуатацию гидроагрегатов на различных режимах, как во время их работы, так и при остановке. Каждый пункт наблюдения оснащен сейсмическим регистратором и трехкомпонентным сейсмоприемником (Guralp Systems Ltd).

Для обработки сейсмических данных и качественного анализа зарегистрированных сейсмограмм используется методика построения спектрограмм [8]. Спектрограммы показывают качественную картину изменения амплитудно-частотного состава записи с течением времени. Для количественной оценки строились графики изменения амплитуд колебаний на фиксированных частотах по следующей формуле:

$$A_f(t) = \frac{2}{T} \left| \int_{t-T/2}^{t+T/2} F(\tau) e^{-i2\pi f\tau} d\tau \right|, \quad (1)$$

где $F(\tau)$ – зарегистрированный сейсмический сигнал (в единицах измеряемых амплитуд), f – частота, для которой строится график (Гц), t – время, T – интервал времени (окно), в котором определяется амплитуда $A_f(t)$, $|\dots|$ – обозначает модуль комплексного числа.

Результаты. В работах [9,10,11] был выделен набор собственных частот плотины при динамических испытаниях вибрационным методом и методом стоячих волн соответственно. Результаты приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Собственные частоты плотины, полученные при динамическом эксперименте и методом стоячих волн

N моды	1	2	3	4	5	6	7
Собственные частоты, полученные при динамическом эксперименте, Гц	1.25	1.33	1.65	2.0	2.5	3.1	3.7
Собственные частоты, полученные при эксперименте методом стоячих волн, Гц	1.12	1.27	1.56	2.0	2.48	3.07	3.71

На рис. 2, 3 представлен результат сопоставления показаний сейсмических стационарных станций «Черемушки», «Джой», «Джойская Сосновка» (спектры и спектрограммы записи E-W-компоненты) и пункта наблюдений в верхней части плотины (X-компоненты) с изменениями нагрузок на гидроагрегате №8. Видно, что при определенных нагрузках на гидроагрегатах в волновом поле выделяются высокоамплитудные колебания в частотном диапазоне от 1 Гц до 5 Гц. Источником этих колебаний являются собственные колебания плотины Саяно-Шушенской ГЭС, которые увеличиваются при определенных нагрузках на гидроагрегатах. Видно, что низкочастотные колебания, связанные с собственными колебаниями плотины, увеличиваются по амплитуде примерно в таких же пределах, как и в рассмотренном ранее работах [12,13]. Так, колебания с частотами в диапазоне от 3 Гц до 5 Гц являются наиболее высокоамплитудными при нагрузках на гидроагрегатах 80-260 МВт, а с частотами от 1 Гц до 3 Гц – при нагрузках 300-480 МВт. Показания сигнал/шум на станции «Джой» значительно ниже, в отличие от других стационарных станций, ввиду её удаленности.

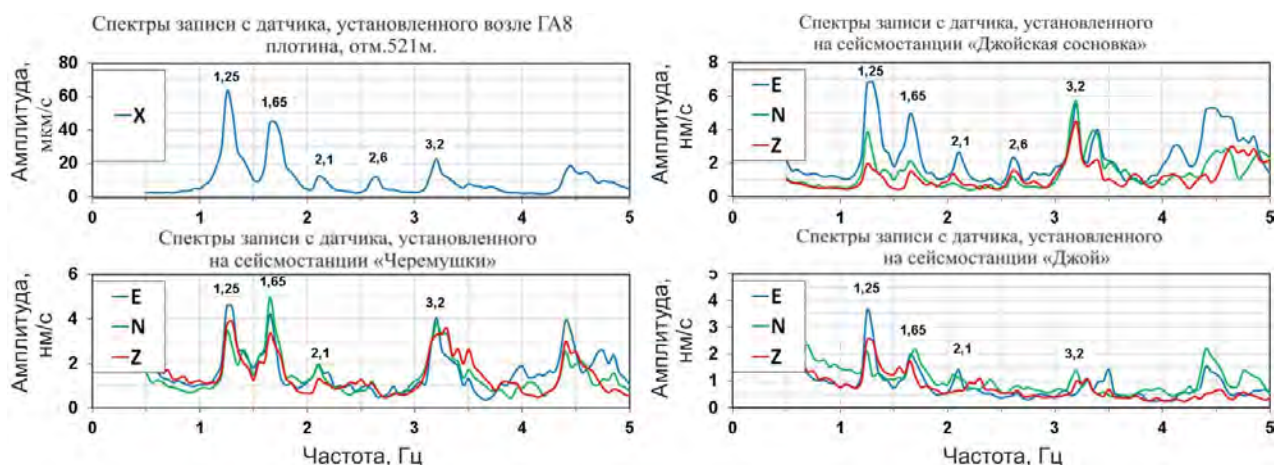


Рисунок 2 – Амплитудные спектры (низкочастотная часть) сейсмических записей, зарегистрированных в верхней части плотины (СШГЭС) и на станции «Черемушки». Работа гидроагрегата №8 с нагрузкой 360 МВт)

Данные сигналы очень слабы (на несколько порядков ниже) по сравнению с микросейсмическим фоном (рис. 2). И выделить собственные колебания вне режимов работ, когда они входят в резонанс, не всегда возможно. Ввиду этого, для выделения этих сигналов применялась следующая процедура. Сейсмическая запись длительностью до 5 суток разбивалась на фрагменты длительностью 300 с, для каждого из них вычислялся амплитудный спектр, затем полученные спектры усреднялись. Из дополнительных процедур цифровой обработки применялось обнуление высокоамплитудных кратковременных помех, вызванных, например, близкими землетрясениями (район с повышенной сейсмической активностью), или техногенными источниками, которые существенно искажают результаты вычисления спектров.

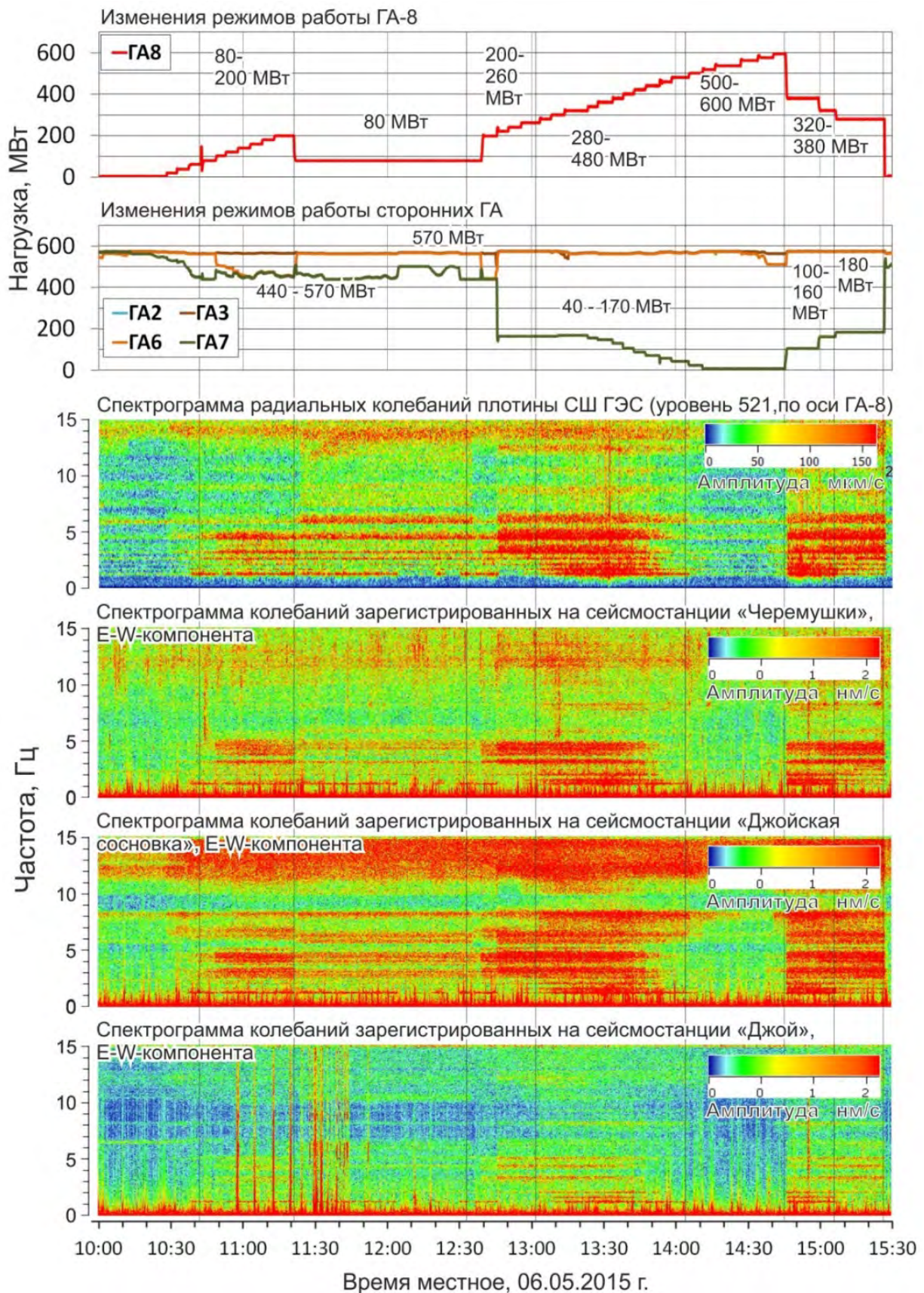


Рисунок 3 – Связь между изменениями режимов работы гидроагрегатов и показаниями сейсмической аппаратуры, установленной на стационарных станциях 06.05.2015 г.

На заключительном этапе по построенным спектрам выделялись частоты собственных колебаний плотины. На рис. 4 показан результат определения описанным способом значений

первых 7-ми собственных частот плотины Саяно-Шушенской ГЭС за двухлетний период с 2018 по 2020 год. Видно, что в течение каждого года частоты собственных колебаний плотины СШ ГЭС меняются, и эти изменения коррелируют с изменениями уровня водохранилища: с увеличением уровня верхнего бьефа (УВБ), значения частот уменьшаются и наоборот. В целом, рассматривая данные за 15 лет, можно сделать вывод, что зависимости частот от изменений УВБ не менялись, это свидетельствует об отсутствии необратимых изменений в техническом состоянии плотины за указанный период.

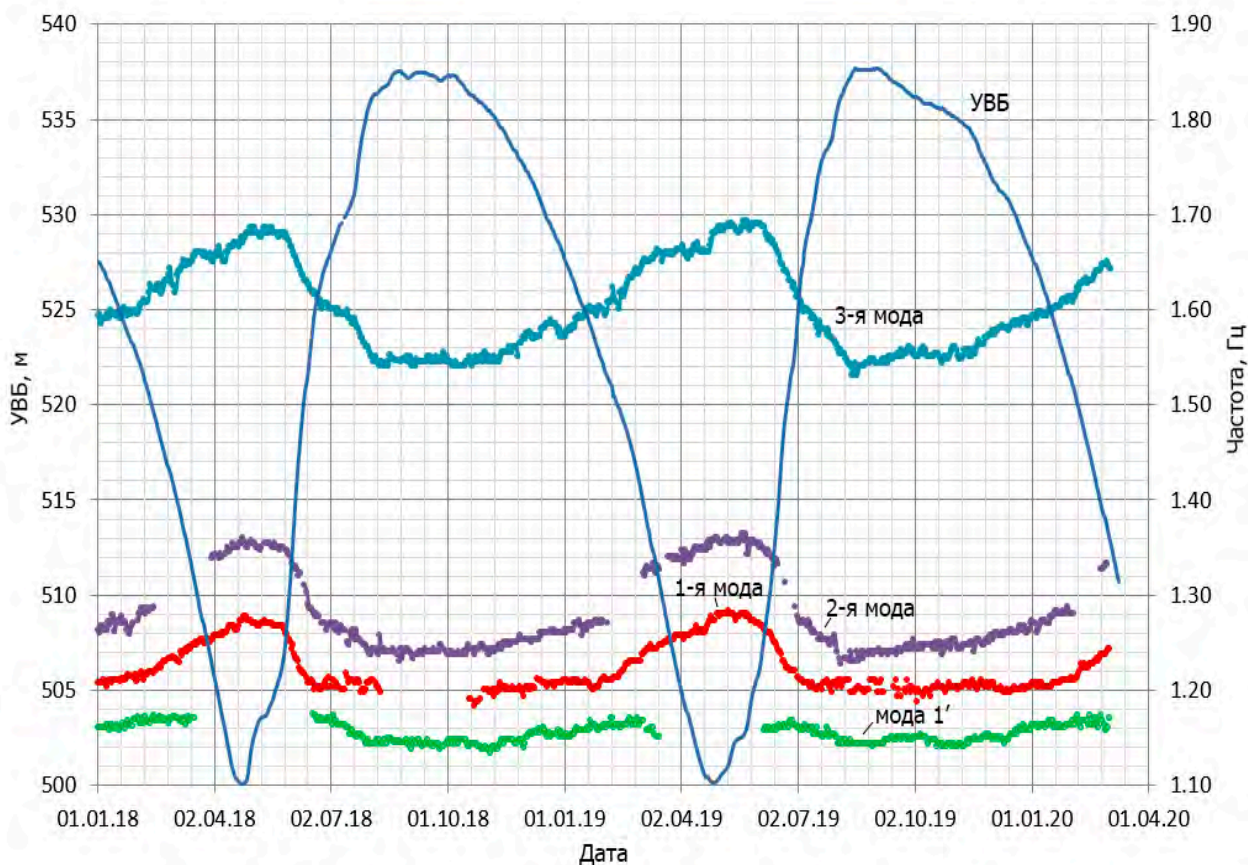


Рисунок 4 – Изменения значений уровня водохранилища (УВБ) и собственных частот плотины Саяно-Шушенской ГЭС)

Следует отметить, что вышеописанные результаты возможно получить не только из непосредственного анализа данных на удаленных сейсмических станциях, но и при помощи анализа данных регистрации в теле плотины. Из сейсмограмм, зарегистрированных во время включения и выключения гидроагрегатов в различных точках наблюдения на верхних уровнях плотины, была определена видимая частота колебаний плотины (рис. 5). На рисунке видно, что после снижения нагрузки, при остановке гидроагрегата, в сейсмограмме выделяется волновой цуг с повышенной амплитудой. Видимая частота этих колебаний составляет порядка 1.2 Гц и совпадает с частотой 1-й формы собственных колебаний плотины.

Сопоставляя эту частоту с уровнем воды на момент исследования того или иного гидроагрегата, была получена следующая закономерность (рис. 6). На графике видно, что в зависимости от увеличения напора, видимая частота колебаний уменьшается. Уменьшение видимой частоты вызвано эффектом понижения собственных частот плотины Саяно-Шушенской ГЭС с ростом уровня водохранилища, что коррелирует с вышеописанным результатом, полученным на удаленных сейсмических станциях.



Рисунок 5 – График нагрузок и сейсмограмма смещения, зарегистрированная во время остановки гидроагрегата № 8

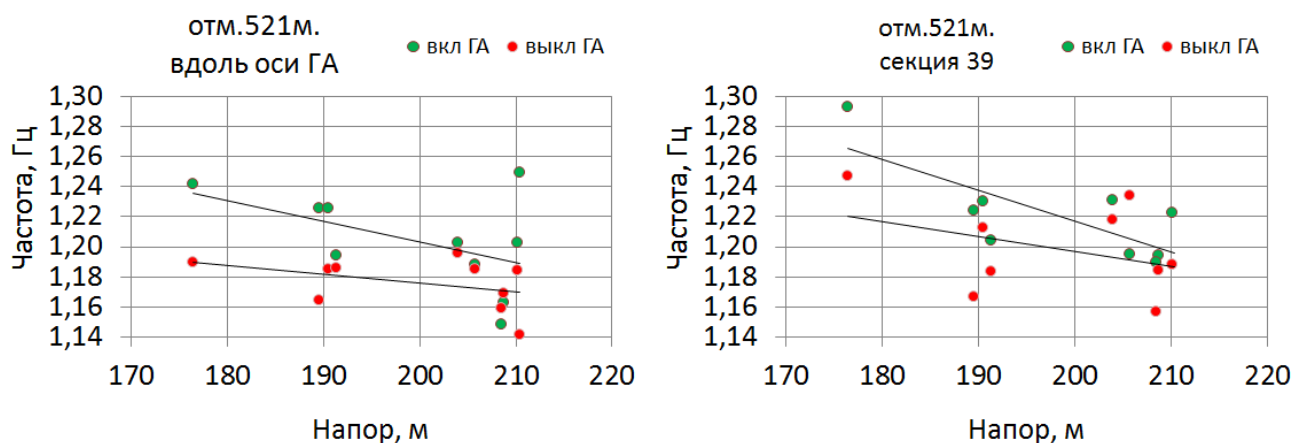


Рисунок 6 – Значение видимой частоты колебаний плотины СШ ГЭС, вызванных процессами пуска/остановки гидроагрегатов, в зависимости от напора воды

Выводы. Продемонстрирована методика выделения собственных колебаний сооружения по данным удаленных стационарных сейсмических станций. Показана возможность определения изменения значений собственных частот плотины Саяно-Шушенской ГЭС и их связь с изменениями уровня водохранилища. В результате получена эмпирическая зависимость влияния напора воды на максимальные значения амплитуд колебаний плотины, показано, что при увеличении напора воды происходит уменьшение частот собственных колебаний плотины. Установлено, что за последние 15 лет данные зависимости не менялись, что свидетельствует о неизменном техническом состоянии плотины.

Литература

1. Limongelli M.P., Çelebi M. (2019). Seismic structural health monitoring: from theory to successful applications. Springer tracts in civil engineering. Springer, Cham
2. Annamdas, V.G.M.; Bhalla, S.; Soh, C.K.: Applications of structural health monitoring technology in Asia. Struct. Health Monit. 16(3), 324–346 (2017).
3. Pereira, S.; Magalhaes, F.; Gomes, J.P.; Cunha, A.; Lemos, J.V. Dynamic monitoring of a concrete arch dam during the first filling of the reservoir. Engineering Structures. Vol. 174, 548-560 (2018)"

4. Nour, A.; Cherfaoui, A.; Gocevski, V.; Leger, P. Probabilistic seismic safety assessment of a CANDU 6 nuclear power plant including ambient vibration tests: Case study. *Nuclear Engineering and Design*, Vol. 304, 125-138 (2016) <https://doi.org/10.1016/j.nucengdes.2016.05.004>.
5. Qu, Chun-Xu & Mei, Da-Peng & Yi, Ting-Hua & Li, Hong-Nan. (2017). Spurious mode distinguish by modal response contribution index in eigensystem realization algorithm. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. 27. 10.1002/tal.1491.
6. Oliveira, Gustavo & Magalhães, Filipe & Cunha, Alvaro & Caetano, Elsa. (2018). Continuous dynamic monitoring of an onshore wind turbine. *Engineering Structures*. 164. 22-39. 10.1016/j.engstruct.2018.02.030.
7. Akt tekhnicheskogo rassledovaniya avarii. proizoshedshey 17 avgusta 2009 goda v filiale «RusGidro» - «Sayano-Shushenskaya GES imeni P.S. Neporozhnego». Federalnaya sluzhba po ekonomicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru. 2009.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2021666241 Российская Федерация. SpectrumSeism: № 2021665611: заявл. 11.10.2021: опубли. 11.10.2021 / В.С. Селезнев, А.В. Лисейкин, Д.Б. Севостьянов, А.А. Брыксин; заявитель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба Российской академии наук».
9. Bryzgalov V.I. Iz opyta sozdaniya i osvoyeniya Krasnoyarskoy i Sayano-Shushenskoy gidroelektrostantsiy. — proizvodstvennoye izdaniye. — Krasnoyarsk: Sibirskiy ID «Surikov». 1999. — 560 s. — ISBN 5786700197.
10. Emanov A.F., Seleznev V.S., Bakh A.A., Gritsenko S.A., Danilov I.A., Kuzmenko A.P., Saburov V.S., Tatkov G.I. Pereschet stoyachikh voln pri detalnykh inzhenerno-seysmologicheskikh issledovaniyakh // *Geologiya i geofizika*. 2002. № 2. С. 192-207.
11. Liseikin A.V., Seleznev V.S., Bakh A.A., Krechetov D.V. On changes in the natural frequencies of the Sayano-Shushenskaya Dam at various reservoir levels, in: Proc. All-Russia Conf. on Geophysical Methods of Survey of the Earth's Crust, Dedicated to the 100th Anniversary of the Birt
12. Громько П.В., Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Курзин В.Б. Изменения собственных колебаний плотины Саяно-Шушенской ГЭС при работе старых и новых гидроагрегатов // *Геофизические методы исследования земной коры. Материалы Всерос. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. Н.Н. Пузырёва. Новосибирск. 2014. С. 125-128.*
13. Громько П.В., Селезнев В.С., Лисейкин А.В. О причинах увеличения амплитуд собственных колебаний плотины Саяно-Шушенской гидроэлектростанции // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. 2016. Т. 2. № 2. С. 148-151.

НОВЕЙШЕЕ БЛОКОВОЕ СТРОЕНИЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Джанабиллова С.О., Абдрахматов К.Е., Сапаров Ж.О., Тукешова Г.Е.

Samal-sima@mail.ru

АО «НИПИнефтегаз» Департамента геологии нефти и газа,

г. Алматы, Республика Казахстан

Приводится детальное описание разломно-блоковой структуры Северного Тянь-Шаня. Показано, что раздробленная структура этого региона, отчетливо выраженная в перекрестно-решетчатом характере системы разломов, в позднечетвертичное время была “сконсолидирована” в несколько основных блоков: Киргизский, Иссык-Кульский, Заилийский, Чу-Кендыктасский и Чарынский. Именно по разломным ограничениям указанных блоков сосредоточена основная сейсмичность региона и, соответственно, при оценке сейсмической опасности в качестве площадных источников должны быть выбраны эти блоки.

Разломы и блоки всегда рассматривались как взаимосвязанные структурные формы. Неразрывность понятий разломов и блоков и их широкое распространение в верхней хрупкой части литосферы дали основание во многих геолого-структурных и геофизических (в том числе и сейсмологических) исследованиях структуру литосферы рассматривать как разломно-блоковую (Хаин, 1994). При этом сейсмический процесс в сейсмических зонах обуславливается тектонофизическими параметрами разломно-блоковой среды литосферы, степенью ее относительной подвижности и другими параметрами (Шерман, 2014). Поэтому выявление этих параметров в целях оценки сейсмической опасности различных территорий является весьма актуальным.

Ключевые слова: активные разломы, деструкция земной коры, оценка сейсмической опасности.

Как известно, о морфологии новейших структурных форм можно судить по характеру деформации пенеппена, выработанного на самых различных по возрасту следующих зонах. О. К. Чедия (1986), Э. Арган (1935), С. С. Шульц (1948), назвали такие формы «складками основания». Для них характерно асимметричное строение и наличие разрыва, осложняющего крутое крыло. Такое сочетание складчатой деформации с разрывом послужило поводом к названию подобных структур «глыбовыми складами» (И. М. Синицин, И. П. Герасимов). Чаще всего структурные формы, представляющие комбинацию складчатой и разрывной, именуются «грабен-синклиналями» и «горст-антиклиналями» (О.К. Чедия, 1986).

Однако, в сеймотектонических построениях, иногда для выявления особенностей пространственно-временного распространения сейсмичности бывает важно и полезно иногда абстрагироваться от складчатого характера новейших мегантиклиналей и называть их блоками, подчеркивая разломно-блоковый характер земной коры. Поэтому в дальнейшем изложении мы будем применять нейтральный термин «блок» или «блоковая структура».

Для выявления блоковой структуры Северного Тянь-Шаня была составлена карта новейшей тектоники этого региона в масштабе 1:500000. Эта карта позволила оконтурить новейшие структуры, обладающие разным темпом и направленностью движений. Ниже приводится краткое описание выделенных блоков (рис. 3).

Илийская впадина, в пределах изученной нами территории, по своим структурным особенностям делится на несколько существенно разных частей: собственно Илийская впадина (38), Дегереский (38а) и -Бериктасский, (38б) блоки.

Киндиктасская мегантиклиналь представлена одноименные хребтом северо-западного простирания (14). Она разделяет Илийскую и Чуйскую впадины, на востоке под острым

углом по Предзаилийскому или Каракунуз-Алматинскому разлому сочленяется с субширотно вытянутым Заилийским антиклинорием. Северо-западным продолжением Киндиктасской мегаструктуры является Чу-Илийская мегантиклиналь того же простирания. Юго-западное крыло Киндиктасской мегантиклинали взброшено за новейший этап по отношению к Илийской впадине на 1300 и более м над Илийской впадиной.

Кастекский блок (15) или горст-антиклиналь является структурой, относящейся к Заилийскому антиклинорию. Структура имеет асимметричную форму с пологим южным крылом и коротким северным крылом, которое обрывается к Каракунузской грабен-синклинали, днище которой маркируется маломощными отложениями нижнего-неогена (Чедия, 1986)

Майтубинский блок (16) представляет собой пологую антиклиналь, заключенную между Каракунузским разломом, по которому она надвинута на Дегересскую синклинали и зоной Заилийских разломов почти субширотного простирания. К востоку пологое крыло указанной антиклинали постепенно переходит в предгорья, возвышающиеся над Алматинкой впадиной.

Заилийский антиклинорий (17) представлен одноименным хребтом, который в общем характеризуется северной асимметрией, а на востоке и западе дробится на ряд горст – антиклинальных структур третьего порядка (Чедия, 1986). На востоке Заилийское поднятие расщепляется на собственно Илийскую (на юге), Донжайляусскую и Карачинскую горст-антиклинали, разделенные грабен-синклиналиными структурами (Чедия, 1986). На западе периклиналь антиклинория представлена тремя куоисно расположенными брахиантиклиналями: Байбичесаурской, Орловской и Талдыбулакской, из которых две первые являются юго-восточным ограничением Чуйской впадины.

Чуйская впадина по своим структурным особенностям делится на две существенно разные части. Северная ее часть, обычно именуемая Чуйской моноклиной, характеризуется пологим падением к юго-западу домезозойского фундамента (глубина залегания 0-0,5 км), представленного юго-западным крылом Киндиктасской мегантиклинали. Южная часть Чуйской впадины представлена узким глубоким асимметричным Предкиргизским прогибом (глубина залегания до – 4000 м). Границей между двумя частями впадины служит флексурно-разрывная зона, представляющая собой резкий перегиб домезозойского фундамента с крутым падением в южных румбах, осложненный серией разрывов сбросового типа (Юдахин, 1970; Чедия, 1986). Выявление некоторых характерных особенностей строения домезозойского фундамента (строение флексурно-разрывной зоны, наличие сбросов в фундаменте, глубина залегания фундамента) позволяет выделить в Чуйской впадине три блока.

Самый крайний западный (*Западно-Чуйский-38*) блок представляет собой мульду Предкиргизского прогиба, постепенно переходящую в Чуйскую моноклинали (глубина залегания фундамента до – 4000 м).

Центральный блок (Центрально-Чуйский-39) представлен опущенной частью прогиба (до 3,5 км ниже уровня моря), ограниченной с севера флексурно-разрывной зоной, а с юга – Иссык-Атинским разломом. Восточно-Чуйский блок (40) представляет собой центриклинальное замыкание Предкиргизского прогиба, к северу переходящую в южное крыло Кастекского хребта, а с юга обрывается Иссык-Атинским разломом.

Переходная зона сопряжения мегаструктур (низкие предгорья) занимает промежуточное, пограничное положение и имеет двоякое значение. С одной стороны, это зона изменившая знак движений в четвертичное время (опускания сменились поднятиями), а с другой – она до сих пор располагается над максимально опущенной частью ПредСеверного прогиба (4500 м). Учитывая ее современное морфоструктурное положение, мы сочли возможным выделить в ее пределах самостоятельные блоки. Это *Сокулукский блок (54)* с (глубиной погружения фундамента до – 0,5-3,0 км) и *Серафимовский блок* с максимальной мощностью и наиболее полным разрезом палеоген-неогеновых отложений (свыше 4000 м).

Киргизский хребет представляет собой мегаструктуру, протяженностью свыше 600 км, которая может быть разделена на несколько блоков (структур более высокого порядка)

отличающихся положением реконструированной древней денудационной поверхности (рис. 2). Эти блоки разделяются либо линеаменами северо-западного или меридионального простирания, либо секущими разрывами. Кроме того, Киргизская мегантиклиналь может быть разделена на 3 части по характеру асимметрии. Как указывал О.К. Чедия (1986), если за центр Киргизской мегаструктуры принять *Алаарчинский блок (9)* или Аксуйскую мегантиклиналь по указанному автору, то остальные структуры того же порядка будут характеризоваться правокулисным размещением в восточной части мегантиклинали и преимущественно левокулисным в ее западной части, которая характеризуется к тому же более сложным строением.

Крайняя восточная часть Киргизской мегантиклинали представлена *Восточно-Киргизским блоком (11)*, который имеет ясно выраженную северную асимметрию. В его пределах выделяется несколько блоков меньших размеров, наклоненных к востоку (рис. 2). Шарнир этой структуры воздымается от 2000 м на юго-востоке до 4250 м в ее центральной части.

Расположенный западнее *Иссыкатынский блок* имеет характерную треугольную форму и образован сочетанием сдвигов северо-западного и северо-восточного направлений. Этот блок характеризуется определенной симметричностью, но в это же время наклонен к западу (рис. 2). Именно в пределах этого блока фиксируется максимальное значение новейших воздыманий во всей Киргизской мегаструктуре (до 4900 м).

Для *Алаарчинского (9)* и *Каракольского (8)* блоков характерна – сочетание пологих и длинных северных крыльев и взброшенных южных, т.е. горизонтальное перемещение масс происходит с юга на север. Максимальное воздымание шарниров достигает здесь 4000 м. В продольном сечении эти блоки симметричны, возможно с некоторым наклоном малых блоков от центра.

Интересно строение *Карабалтинского (6)* блока, который имеет длинное и пологое северное крыло и соответственно взброшенное северное крыло. Таким образом, горизонтальное движение масс происходит здесь с севера на юг. Это означает, что здесь происходит смена симметрии в пределах Киргизской мегаструктуры. Однако, расположенный южнее *Кумбельский блок (5)* выглядит довольно симметричным, как в поперечном, так и в продольном направлениях.

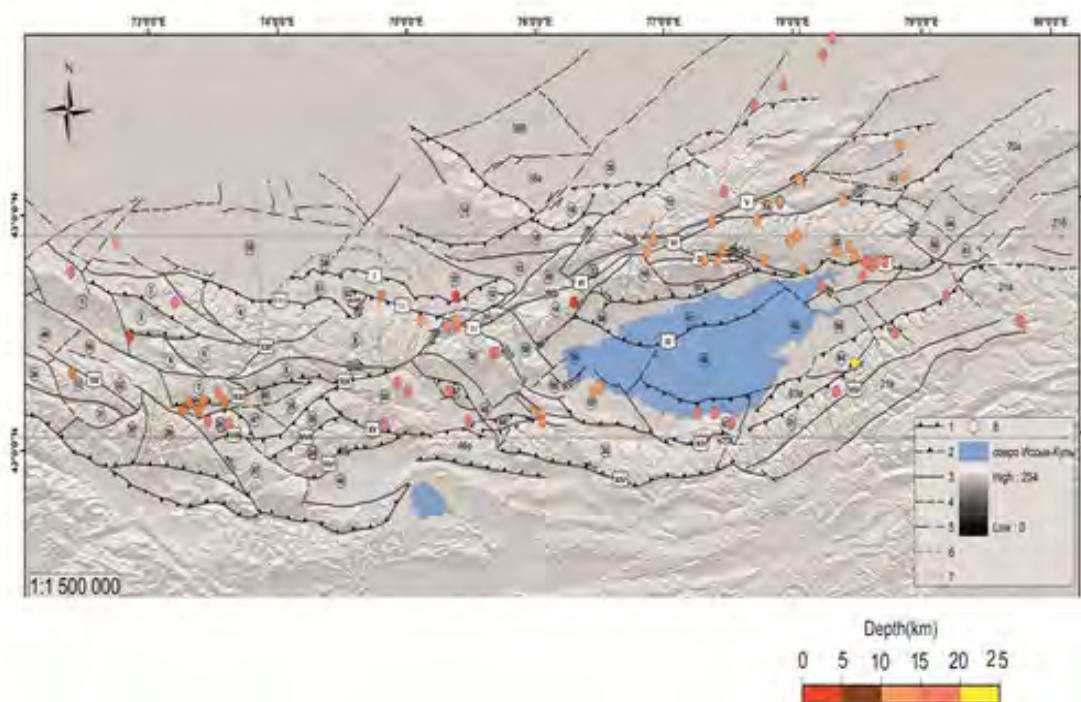


Рисунок 1 – Карта-схема новейших блоков Северного Тянь-Шаня. Условные обозначения: цифра в кружках – номер и название блока. Римскими цифрами обозначены основные новейшие разломы. Вынесены эпицентры землетрясений с $M \geq 4$, цветом показана глубина эпицентра

Названия блоков, устойчивого поднятия: 1-Шунгурский, 2-Каракыштакский, 3-Каратастюбинский, 4-Бакайташский, 5-Кумбельский, 6-Карабалтинский, 7-Тюзашунский, 8-Каракольский, 9-Алаарчинский, 10-Киргизский, 11-Окторкойский, 12-Байбичесаурский, 13-Кичикеминский, 14-Киндиктасский, 15-Кастекский, 16-Майтубинский, 17-Заилийский, 18-Кунгейский, 19-Чокталский, 19а- Центрально-Кунгейский, 20-Курментинский, 20а-Кетменский, 21-Восточнотерскойский, 21а- Баянкольский, 21б- Нарынкольский, 21в-Центрально-Терскойский, 22-Западнотерскойский, 23-Карамойнок-Сандыкский, 24-Минтеке-Сарыбулакский, 25-Ойгаинский, 26-Киндикский, 27-Сандыкский, 28-Арамсуйский, 29-Сусамыртооский, 30-Жаныртмакский, 31-Музторский, 32-Арпатектирский, 33-Джергетальский, 34-Карагайминский.

Абсолютного и относительного прогибания:

35-Западно-Чуйской, 36-Центрально-Чуйской, 37-Восточно-Чуйской, 38-Илийский, 38а-Дегереский, 38б-Бериктасский, 39-Рыбачинский, 40-Центрально-Иссыккульский, 41-Северо-Иссыккульский, 42-Восточно-Иссыккульский, 43-Чарынский, 44-Каркаринский, 45-Кочкорский, 46-Джумгалский, 47-Тунукский, 48-Таласский, 49-Новороссийский.

Переходного режима:

50-Ортокойский, 51-Сокулук-Серафимовский, 52-Шекулинский, 53-Кеминский, 54-Чиликский, 55-Боомский, 56-Торуайгырский, 57-Чолпонатинский, 58-Аксуйский, 59-Тасминский, 60-Талдыбулакский, 61-Кегеньский, 62- Улахольский, 63-Каджисайский, 63а-Джуукинский, 64-Джетьюгузский, 65-Кызыломпульский, 66-Джоонарыкский, 67-Ортоковский, 68-Джакшский.

Названия основных разломов. I –Иссык-Атинский, II-Шамси-Тюндюкский, III-Чонкурчакский, IV-Каракурузский, V-Северо-Кеминский, VI-Южно-Кеминский, VII-Чиликский, VIII-Северо-Аксуйский, IX-Южно-Аксуйский, X-Предкунгейский, XI-Торуайгыр-Тасминский, XII-Южно-Иссыккульский, XIII-Предтерскойский, XIV-Центрально-Терскойский, XV-Бозалаташский, XVI-Джумгалский, XVII-Ойгаинский, XVIII-Суекский, XIX-Каракольский, XX-Ичкилитооский, XXI-Аспаринский.

К западу и к юго-западу от Кумбельского блока выделяются *Утмекский (7)*, *Бакайташский (4)* и *Арпатектирский (15)* блоки, представленные одноименными антиклиналями, обладающие различным стилем асимметрии.

Каратастюбинский блок (3) представлен несколькими антиклинальными и синклинальными структурами субширотного и северо-западного простирания. Шарниры складок воздымаются до высоты 3500 м. Особого внимания заслуживает Каракыштакский (2) блок, в пределах которого имеются палеоген-неогеновые отложения небольшой мощности. Это блок также асимметричен: наиболее погруженная его часть приурочена к его северному борту.

Самым западным блоком на рассматриваемой территории является *Шунгурский блок (1)*, который выглядит симметричным.

К югу от Киргизской мегаструктуры расположены блоки внутренней части Тянь-Шаня, анализ которых помогает в расшифровке геодинамики окраинных частей орогена, но в деталях, в рамках настоящей диссертации не рассматриваются, поэтому их описание опускается.

К востоку от Северного мегаблока расположены новейшие структуры горного обрамления Иссык-Кульской впадины, которые были ранее описаны А. К. Трофимовым. Поэтому дальнейшее описание мы проводим согласно материалам указанного исследователя.

Иссык-Кульская межгорная впадина с запада на восток от Караташского порога древнего стока до перевала Санташ, имеет протяженность 260 км при максимальной ширине 50-60 км. Обобщенная ось этого сложно построенного грабен-синклинального мегаблока имеет в общем выпуклость к югу. Северо-Иссык-Кульский (Торуайгыр-Тасминский – (У) рис. 1) разлом разделяет его на два макроблока: *Северо Иссык-Кульский (Предкунгейский)* и *Центрально-Иссык-Кульский (Предтерскойский)*. Предкунгейский

прогиб шириной в 20 км - это в основном моноклираль южного падения, в пределах которой суммарные амплитуды движений изменяются от +1000 до -2500. Зона низких предгорий, краевая часть впадины, сложенная неогеном, развита здесь фрагментарно. Предтерсейский прогиб – Центрально – Иссыккульская грабен-синклираль, шириной до 40 км, занимает основную площадь впадины. Суммарные амплитуды движений здесь меняются от +1000-1500 до -3500 м, достигая максимальных значений на востоке и в центре впадины. Общая синклиральная структура впадины осложнена пологими и малоамплитудными антиклиналями и синклинями субширотного и северо-восточного простирания.

Южно-Иссык-Кульская зона низких предгорий, сложенная в основном неогеном, с севера ограничена одноименным разломом. Она протягивается вдоль всего подножья Терсейского поднятия и имеет выдержанную ширину в 20 км. Тамгинский левосторонний сдвиг разделяет адырную зону, как и Терсейское поднятие, на два макроблока: *Улахол-Каджисай* и *Джуука-Джетьюгуз*, которые имеют соответственно субширотное северо-западное и северо-восточное простирание. В пределах первого блока чехол неогеновых отложений маломощен (500-1000 м); в ядрах антиклинальных складок основания, имеющих ярко выраженную южную асимметрию, часто наблюдается откопанная предорогенная поверхность выравнивания, выработанная на породах домезозойского основания. На востоке Иссык-Кульскую впадину замыкает *Турген-Аксу-Чубарджонское адырное поднятие* (амплитуда движений от +1500 до -1500 м), переходящее на севере – в Тасминское. Последнее относится внутривпадинным, также как и такие мелкие поднятия как Тепке, Бирбаш, Оргочор (на востоке впадины) и Бозбармак (на западе).

Кунгейское поднятие отделено от Иссык-Кульской впадины системой Предкунгейских разломов (IV). Обобщенная ось поднятия имеет выпуклость к северу. Культорский разлом и Аксуйский грабен разделяет его на три горст-антиклинальных макроблока: *Калмакашуйский* (18), *Чоктальский* (19), *Урюктинский* (20). Общая протяженность поднятия 270-280 км при ширине 20-30 км (рис. 5).

Складки основания имеют в основном северную асимметрию, хотя и встречаются и симметричные. Внутри блоков развиты в основном кулисно расположенные брахиподобные горст-антиклинали; протяженными поднятиями являются лишь *Центральное* (80 км), расположенное к югу от Аксуйского грабена, и *Восточно-Кунгейское* (Талдыбулакское – 50 км). Суммарные амплитуды поднятий здесь изменяются от 2000 до 4500 м.

Терсейское поднятие (амплитуды от 2000 до 4750 м) с севера ограничено зоной Предтерсейского разлома, с юга – Центрально-Терсейского разлома. Тамгинским сдвигом и связанные с ним линеаментом поднятие разделяется на два симметричных «крыла»: *Западно-Терсейское* и *Восточно-Терсейское*, имеющих соответственно выдержанное северо-западное простирание. Разрывы северо-западного простирания разделяют Западно-Терсейский блок на ряд узких блоков с кулисно расположенными горст-антиклиналями. Наиболее опущенная северная часть блока (Семизбельская, Конуроленская, Кольбельская грабен-синклинали) «ныряют» под систему взбросо-надвигов и подвигов, образующих западную ветвь Предтерсейского разлома. Более монолитным являются Восточно-Терсейское поднятие, которое Центрально-Терсейским разломом разделяется на два вытянутых горст-антиклинальных блока, имеющих южную асимметрию. На востоке обособляется характерный Бозучакский блок, зажатый между Предтерсейским и Центрально-Терсейскими разломами (с севера и юга) и линеаменами Восточно-Сарыджазским и Кызылсуйским. Для него характерным является изменение простирания складок основания с субширотного северо-восточного на северо-западное (Трофимов, 1973).

Расположенные восточнее *Баянкольская* (21а), и *Нарынкольская* (21б) мегантиклинали имеют такие же характеристики, как и само Восточно-Терсейское поднятие – южная асимметрия и вытянутая в субширотном направлении форма.

На востоке к Иссык-Кульской впадине примыкают *Каркара-Текесская* и *Кегеньская впадины* (44), обрамленные с севера *Кетменьским* поднятием (20а), с юга – *Баянкольским* (21а).

Каркара-Текесская впадина заходит на описываемую нами территорию своей восточной частью и представляет собой асимметричную синклиналь, выполненную неогеновыми молассами большой мощности и осложненную с севера цепью кулисно подставляющихся брахиантклинальных структур (антиклиналь Каратау, Сарытау и др.). Эти структуры отделяют Каркара-Текесскую впадину от расположенной севернее Кеген-Каркаринской впадины (44).

Кетменьская мегантиклиналь (20a) представляет собой асимметричную мегантиклиналь с пологим северным крылом, перекрытым галечным шлейфом слившихся конусов выноса, их под которых обнажаются юрские и сильно дислоцированные палеозойские образования. Фрагменты древней денудационной поверхности сохранились на водоразделе одноименного хребта. Южные предгорья ограничены разломом в виде крутого уступа самого хребта, высотой 1000-1500м

На юго-западе к Иссык-Кульской впадине примыкает *Кочкорская впадина (15)*, а на северо-западе *Боомский грабен (20)* и Чуйская впадина. Расположенное северное Заилийское поднятие отделено от Кунгейского Кеминским грабеном (53) и относительно опущенным Чилико-Чарынским клиновидным блоком (54).

Таким образом, как видно из вышеприведенного описания, новейшая структура Северного Тянь-Шаня представляет собой систему блоков (мега, макро, микро) разного размера, истории развития, характера асимметрии и др. (рис. 1).

Как указывалось ранее, в качестве активных мы выделяем разломы с доказанными позднеплейстоценовыми и голоценовыми перемещениями. Как видно, не все новейшие разломы являются активными, как это можно было бы ожидать. На рис. показаны разломы, активные в позднем плейстоцене-голоцене. Указанные разломы ограничивают блоки, активные в обозначенное время. Как показывает анализ, форма и положение блоков, активных в позднем плейстоцене-голоцене (последние 100 тыс. лет геологической истории), существенно отличается от блоков, активных в новейшее время (10-30 млн. лет геологической истории)

Отметим, что характерной чертой позднечетвертичной структуры Северного Тянь-Шаня является наличие практически непрерывной зоны активных разломов, состоящей из транспрессионной левосдвиговой Кемино-Чиликской зоны (Delvauxet.,al., 2003), переходящей к западу в активные надвижки южного обрамления Чуйской впадины, а с востока ограниченная Чунджа-Капчагайской системой активных разломов северо-западного простирания. Эта зона разделяет изометричные блоки Киргизской части Северного Тянь-Шаня от выпуклых к югу блоков (Заилийский и Чу-Кендыктасский), облекающих Илийскую впадину.

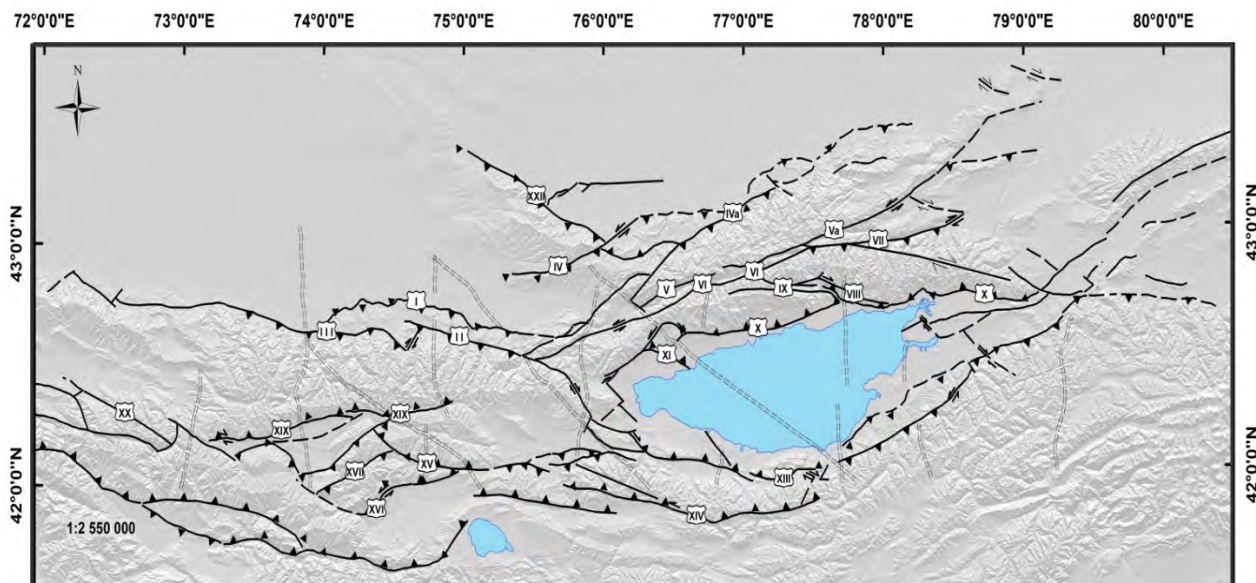


Рисунок 2 – Карта активных разломов Северного Тянь-Шаня

Киргизский блок ограничен с севера активными надвигами зоны сочленения одноименного хребта и Чуйской впадины. Скорость позднеплейстоценового сокращения земной коры в зоне Иссык-Атинского разлома, ограничивающего с севера низкие предгорья Киргизского хребта, составляет от $0,9 \pm 0,3$ мм/год (долина р. Сокулук) до $2,1 \pm 0,3$ мм/год (долина р. Аламедин) (Абдрахматов и др., 2001). Активность северной границы подчеркивается возникновением здесь очагов Баласагунского землетрясения 1470 года ($M = 6,5$), Меркенского землетрясения 1665 года ($M = 6,5$), Беловодского землетрясения 1770 года ($M = 6,9$), Беловодского землетрясения 1885 года ($M = 6,5-7,5$), Кемино-Чуйского землетрясения 1938 года ($M = 6,5$). С юга указанный блок ограничивается активными надвигами южного борта Кочкорской впадины, которые к западу переходят в активное северное ограничение Джумгальской впадины, где развиты надвиги с левосдвиговой компонентой. Скорость позднеплейстоценового сокращения коры в зоне Акчопского надвига (долина р. Джуанарык) составляет $2,9 \pm 0,7$ мм/год (Абдрахматов и др., 2001). Сильных землетрясений с магнитудой более 4 в этой зоне не зарегистрировано.

Монолитность Киргизского блока нарушается внедрением с запада в его тело активных разломов Сусамырской зоны, представляющих собой взбросы с правосдвиговой компонентой. Активность этой зоны подчеркивается возникновением здесь в 1992 году Сусамырского землетрясения с $M = 7,3$ [9].

Иссыккульский блок с севера ограничивается активной Кемино-Чиликской левосдвиговой транспрессионной зоной, которая унаследованно развивалась с палеозоя. К востоку от 77 меридиана граница блока представлена активными разрывами Аксуйского грабена и надвигами Тасминского внутривпадинного поднятия. Согласно предварительным данным, скорость левосторонних смещений в позднем плейстоцене-голоцене вдоль указанной активной зоны могла достигать до 1-2 мм/год. В пределах этой зоны возник очаг сильнейшего землетрясения Азии - Кеминского землетрясения 1911 года (M более 8) и произошли Джаланаш-Тюпское землетрясение 1978 года ($M = 6,5$), Байсоорунское 1989 года ($M = 5,5$) и несколько более слабых событий.

Южная граница рассматриваемого блока представлена активными разрывами юго-западного угла Иссыккульской впадины, которые к востоку посредством Тамгинского левого сдвига подставляются обратными взбросами восточного окончания впадины. Активность южной границы блока подтверждается очагами Сарыкамьшского землетрясения 1970 года ($M = 6,5$) и нескольких землетрясений с $M = 4-5$.

Очагов сильных или хотя бы умеренных землетрясений в пределах акватории озера не зарегистрировано.

Зона сочленения Киргизского и Иссыккульского блоков выражена неясно. Здесь находится узкий Боомский новейший грабен северо-западного простирания (Абдрахматов, 2003), который заложился на восточной периклинали Кунгейского хребта. О существовании современных условий растяжения в этой области свидетельствует наличие узкой полосы активных разломов, нарушающих поверхность позднеплейстоценовых конусов выноса, стекающих с массива Кызыл-Омпул и выкальвающих здесь молодой грабен. Его простирание совпадает с более древней, новейшей структурой.

Заилийский блок характеризуется северо-восточным простиранием, с юга ограничивается указанной выше Чилико-Кеминской активной зоной, а с севера - прерывистой зоной активных разломов неясной кинематики. Согласно одним данным эти разломы представляют собой сбросы (Юдахин, Беленович, Паталаха, Чабдаров, 1976), другие исследователи считают эти разломы надвигами и взбросами (Чедия, 1986, Курскеев, Тимуш, 1987). Характерно, что при сильнейшем Верненском землетрясении 1887 года ($M = 6,5-7,5$), которое тяготело к сочленению хребта и впадины, сейсмотектонических дислокаций в этой зоне не возникало. Согласно данным (Абдрахматов, Томпсон, Уилдон, 2007), скорость позднечетвертичных смещений в зоне сочленения Заилийского хребта с Илийской впадиной составляет около 1 мм/год.

Кунгей-Чарынский блок представляет собой клиновидный блок, вдвинутый в пространство между противоположно выгнутыми дугами, образованными активными разломами, составляющими южную границу Заилийского блока и северную границу Иссыккульского блока. Очаг Чиликского землетрясения 1889 года (M более 8) структурно приурочен к северной границе рассматриваемого блока.

Чу-Кендыктасский блок имеет северо-западное простирание и торцовоприсоединяется в Заилийскому блоку на меридиане антецедентного участка долины р.Чу. Несмотря на достаточно резкую геоморфологическую выраженность сочленения хребта Кендыктас и Илийской впадины, сколько-нибудь значимых сейсмических событий здесь не зарегистрировано.

Как следует из приведенного выше анализа, раздробленная структура Северного Тянь-Шаня, отчетливо выраженная в перекрестно-решетчатом характере системы разломов, в позднечетвертичное время была “сконсолидирована” в несколько основных блоков: Киргизский, Иссык-Кульский, Заилийский, Чу-Кендыктасский и Чарынский. Именно по разломным ограничениям указанных блоков сосредоточена основная сейсмичность региона и, соответственно, при оценке сейсмической опасности в качестве площадных источников должны быть выбраны эти блоки.

Литература

1. Хаин В.Е. Основные проблемы современной геологии. Геология на пороге XXI века. М.: Наука. 1994. 188 с.
2. Шерман. С.И. Сейсмический процесс и прогноз землетрясений: тектонофизическая концепция. Новосибирск: Гео. 2014. 359 с.
3. Абдрахматов К.Е., Томпсон С., Уилдон Р. Активная тектоника Тянь-Шаня. Бишкек: Илим. 2007. 70 с.
4. Чедия О.К. Морфоструктуры и новейший тектогенез Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1986. 313 с.
5. Арган Э. Тектоника Азии. М.-Л.: ОНТИ. 1935. 192 с.
6. Шульц С.С. Анализ новейшей тектоники и рельефа Тянь-Шаня. М.: Географиз. 1948. 220 с.
7. Юдахин Ф.Н. Геофизические поля, глубинное строение и сейсмичность Тянь-Шаня. Фрунзе: Илим. 1983. 248 с.
8. Трофимов. Новейшая тектоника района Сарыкамышского землетрясения // Изв. АН Кирг. ССР. 1973. № 5. С. 3-19.
9. Delvaux D., Abdрахmatov K.E., Lenzin I.N., Strom A.L. Landslides and surface breaks of the 1911, M_s 8,2 Kemin earthquake (Kyrgyzstan) // Russian geology and geophysics. 2001. Vol. 42. No. 10. 1583-1592.
10. Паталаха Е.И., Чабдаров Н.М. Условия образования рельефа Северного Тянь-Шаня и вероятный механизм процесса // Сейсмоструктура некоторых районов юга СССР. М.: Наука. 1976. С. 80-90.
11. Юдахин Ф.Н., Беленович Т.Я. Современная динамика земной коры Тянь-Шаня и физические процессы в очагах землетрясений // Изв. АН Кирг. ССР. Физ.-тех. и матем. Науки. 1989. № 1. С. 101-108.
12. Курскеев А.К., Тимуш А.В. Альпийский тектогенез и сейсмогенные структуры. Алма-Ата: Наука. 1987. 179 с.

ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИЕ РАЗРЫВНО-СКЛАДЧАТЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАЙСУНТАУ

Дононов Ж.У.¹, Тураев Ш.А.², Махмудов Ж.М.²

jasurdononov@mail.ru, umrah@mail.ru, maxmudiski@gmail.com

¹ Каршинский инженерно-экономический институт, г.Карши, Республика Узбекистан

² Ташкентский государственный технический университет, г.Ташкент, Республика Узбекистан

Приводится описание результатов полевого изучения отдельных разрывных и складчатых деформаций, осложняющих новейшую структуру юго-западной части Байсунской горст-антиклинали. Большая часть продольных разломов северо-восточного (юго-западного) простирания имеют морфоконтролирующее значение. Отмечается небольшое число поперечных разломов разной морфологии, которые определяют блоковый характер современной структуры Байсунтау. Установлены особенности пространственной ориентации крупных трещин, пересекающих обнажения горных пород в локальных пунктах наблюдений, которые находятся в соответствии с ориентацией более крупных разрывных нарушений района. При этом, падение их поверхностей ориентированы преимущественно на юго-восток, и лишь небольшая часть на северо-восток.

Ключевые слова: Байсунтау, разрывные и складчатые деформации, поздний кайнозой, взбросы, сбросы, сдвиги, надвиги, новейшая структура.

Среди геолого-структурных данных наиболее общими признаками процессов, происходящих в геологической среде, являются трещины, разрывные нарушения и разломы. Их распределение связано с напряженно-деформированным состоянием геологической среды и ее деформационными свойствами. В настоящее время изучение механизмов разрывно-складчатых деформаций сохраняет свою актуальность. Эта задача является предметом тектонофизических исследований (М. В. Гзовский, 1975). Основными задачами тектонофизики являются изучение деформационных режимов, изучение механизмов образования деформационных элементов, изучение сил и полей напряжений, обеспечивающих общую тенденцию тектонической эволюции. Для решения этих задач необходимо детальное изучение особенностей трещинной тектоники, разломов и складок, что явилось целью настоящих исследований в пределах юго-западного окончания Байсунского поднятия Юго-Западных отрогов Гиссара.

Район исследований расположен в Байсунском районе Сурхандарьинской области и охватывает юго-западную часть Байсунского поднятия. В целом этот район является частью Юго-Западных отрогов Гиссарского хребта (рис. 1), к которым относят отдельные горные хребты Сурхантау, Бойсунтау, Чакчартау и Лангаро-Караильское поднятие. Все они протягиваются с северо-востока на юго-запад. Главной водной артерией исследуемого района является река Мачай (Мачайдарья – “дарья” в переводе “река”), эрозионная и аккумулятивная деятельность которой сыграли ключевую роль в формировании различных форм рельефа: узких оврагов, открытых широких долин, террасовых поверхностей. В геологическом строении этого района участвуют палеозойские, мезозойские и кайнозойские образования. В средней части горных поднятий обнажаются древние палеозойские образования, на склонах обнажаются юрские, меловые, палеогеновые и неоген-четвертичные отложения. Непосредственно в районе исследований имеют преимущественное распространение, в основном, нижнеюрские, среднеюрские и верхнеюрские отложения.

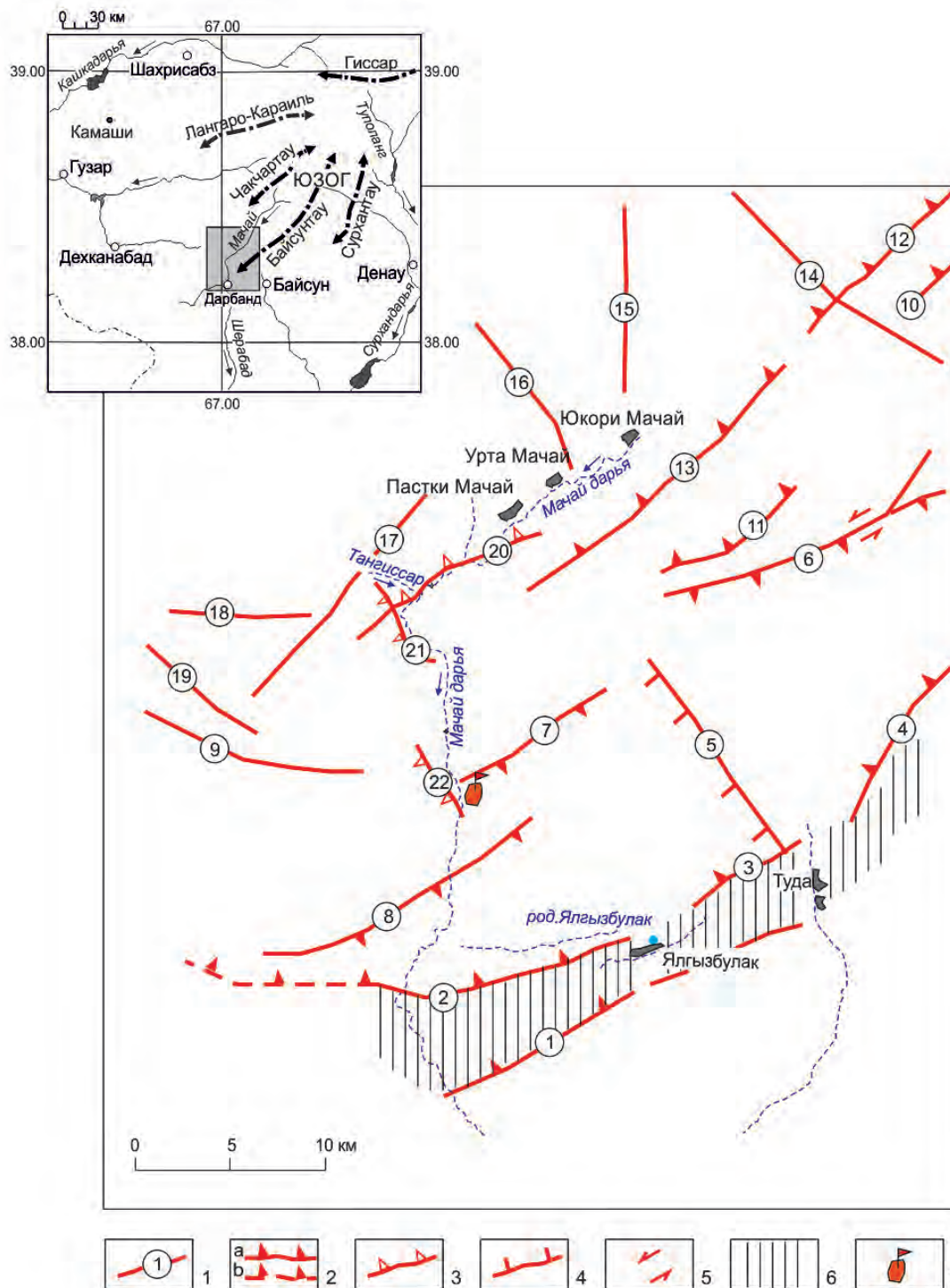


Рисунок 1 – Обзорная схема района исследований и схематическая карта активных разломов юго-западной части Байсунтау: 1- рарывные нарушения и их номера; 2 –взбросо-сдвиги: а – установленные; б – предполагаемые; 3 – надвиги; 4- сбросы; 5- элементы левосторонних сдвиговых смещений; 6 –зона Южно-Байсунского взброса спрзнаками эрозионного размыва; 7 – полевая база

Байсунская горст-мегаантиклиналь сформирована в результате неотектонических движений, а в результате эрозионного размыва её верхних частей вскрыты более древние палеозойские образования. Размывы по руслам рек привели к образованию крупных ущелий Дарбанд (по реке Мачай) и Тангисар (по ручью Тангисар, правому притоку Мачайдарьи).

Изучением разломной тектоники этого и прилегающих районов занимались М.А. Ахмеджанов, О.М. Борисов, Д.Х. Якубов, Ш.У. Арсланбеков, К.А. Набиев, А.К. Бухарин,

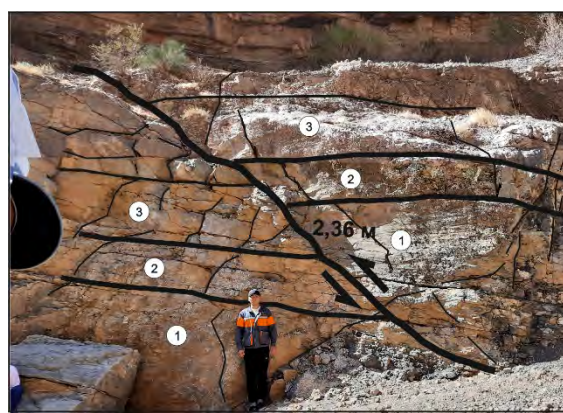
Н.П. Костенко, И.К. Масленников, А.К. Пятков, В.К. Панасюченко, Р.Н.Ибрагимов, Ю.М.Садыков, Р.А.Умурзаков, Д.Х.Атабаев, А. В. Тевелев и др. Материалы этих исследований явились основой для поисково-разведочных работ в регионе, где были открыты месторождения различных видов полезных ископаемых.

Анализ опубликованных работ показывает, что большинство из них касается общих региональных вопросов особенностей строения ЮЗ отрогов Гиссара и Сурхандарьнской впадины. Детального описания отдельных участков Басунтау практически не встречается, за исключением отдельных работ. Нами были выполнены полевые работы, по результатам которых и с учетом ранее опубликованных работ сделано обобщение имеющихся материалов с описанием зон разломов более высоких порядков, их морфологии, характера проявления в рельефе, соотношения с региональными разломами.

Одной из крупных разломных зон исследуемой территории является зона Южно-Байсунского взброса, которая с юго-востока ограничивает Байсунское поднятие. В районе Дарбанда зона проходит вблизи населённого пункта Туда, через Ялгызбулак, Капчигай, проявляется относительно широкой размытой и пониженной впадинообразной зоной в рельефе (рис. 1). Ширина зоны составляет около 6-7 км. Юго-западное крыло разлома раздроблено на отдельные блоки, в некоторых участках зона представлена в виде эродированной зоны контакта юрских отложений с красноцветными песчаниками, местами глинистыми породами нижнего мела. На участке, расположенном южнее поселка Капчигай на расстоянии около 400 метров мощность отдельных слоёв песчаника составляет 60-90 см, залегающих с азимутом падения 160° под углом 75° . В некоторых местах они опрокинуты, меняют азимут падения на 340° с углом 80° . обнажение пересекают крупные трещины разного морфологического типа. На рисунке 2 А представлен фотоснимок фрагмента сбросо-сдвигового нарушения слоев песчаника. Полевые наблюдения сопровождались картированием и описанием крупных трещин секущих обнажения.



А



Б

Рисунок 2 – Фрагменты крупных трещин, секущих обнажения горных пород: А – Участок Капчигай. Сбросо-сдвиговые смещения в меловых песчаниках (аз.пад. 170° уг. 70°); Б – взброс в юрских отложениях. Правый борт Мачайдарьи, в 4 км севернее полевой базы; (фото Р.А.Умурзакова)

На рисунке 2 Б приводится снимок фрагмента взбросового нарушения в среднем течении Мачайдарьи. Вертикальная амплитуда смещения составляет около $1,8 \div 2,6$ м. Наблюдаются многочисленные зеркала скольжений как в плоскости этого взброса, так и в нижнем и верхнем крыльях. Все они были замерены и использованы при кинематическом анализе особенностей деформационных процессов.

Западный участок Южно-Байсунской разломной зоны, вблизи автотрассы Байсун-Ташкент в 1,9 км от места слияния правого притока Мачайдарьи, к западу от кишлака Ялгызбулак на расстоянии 18 км, представляется резким подворотом юрских карбонатных

пластов. В верхней части пласты имеют азимут падения 174° угол 72° , ниже в опрокинутой части меняют азимут на 354° и угол 80° .

Южное крыло описываемой зоны представляет собой размытую зону меловых песчаников. Далее в рельефе обнажения палеогеновых известняков образуют вытянутую гребневидную форму. Простираение гребня составляет азимут $60^\circ-65^\circ$ ($240^\circ-245^\circ$). Палеогеновые толщи имеют местами опрокинутое залегание. В пункте наблюдения 8, расположенном южнее Яргызбулак на расстоянии около 1000 м они залегают с азимутом 335° и углом 80° . Такое залегание с небольшими изменениями наблюдается практически на всём протяжении гребневой зоны.

Зона Южно-Байсунского взброса представляется разветвленными участками разрывных нарушений. Одна из них характеризуется небольшим изгибом к северо-востоку (4, рис. 1). Морфологически поверхность разлома имеет наклон под углом $65^\circ-70^\circ$ к северо-западу. Амплитуда относительного смещения около 100-120 метров и более.

В геологическом отношении представляет тектонический контакт отложений разных возрастов ($J_2 bt$ и $J_2 a + bj$). В юго-западной части эта зона примыкает к основной зоне Южно-Байсунского разлома.

Осевая часть Байсунского горст-антиклинального поднятия поперечными разрывными нарушениями разделена на блоки. В пределах района исследований поперечные разрывы характеризуются сбросовым типом (5, рис. 1). Длина указанного нарушения составляет около 7-8 км. Угол наклона поверхности сброса $75^\circ-80^\circ$, падает к юго-западу, сброшен юго-западный блок, амплитуда смещения около 40-50 метров [1]. По геологическим данным по разлому позднеюрские осадочные отложения келловэй-оксфорда ($J_3 cl + ox$) образуют тектонический контакт со среднеюрскими известняками ($J_2 bt$).

Отложения келловэй-оксфорда рассечены другим разрывным нарушением, диагональным к оси Байсунского поднятия, с признаками горизонтального левостороннего сдвига (6, рис. 1). Юго-восточное крыло приподнято. Длина разрыва до 15 км. Поверхность сместителя под углом 80° падает к юго-востоку. Вертикальная составляющая амплитуды смещения до 50-100 метров. Характерной особенностью зоны разлома является то, что направление падения слоев на обоих крыльях противоположное.

По линии разлома наблюдается небольшое левостороннее смещение временных водотоков на склонах гор. Амплитуда их горизонтального смещения составляет около 20-40 метров. На юго-западном продолжении по простиранию этой зоны наблюдается серия разрывных нарушений кулисообразно смещённых к югу (7 и 8, рис. 1).

В крыльях разрывного нарушения 7 (рис.1) мощность отложений келловэй-оксфорда неодинаковая - в юго-восточном крыле они толще, чем в северо-западном крыле. На этом основании Ш.У.Арсланбеков и К.А. Набиев считают, что образование разрыва сопровождалось конседиментационно с процессами осадконакопления позднеюрских отложений. По их данным, амплитуда смещения по разлому значительно больше и составляет около 400 метров [1].

В долине Мачайдарьи зона разлома (7, рис. 1) проявляется резким сужением участка долины. Рельеф левого борта реки отмечен в виде ступеней. В юго-западной части зоны разлома, на правом, крутом стенообразном борту Мачайдарьи отмечается сильно раздробленная зона, проявляющаяся разнонаправленными более мелкими разрывными нарушениями и крупными трещинами. В этом месте зона разрывного нарушения 7 (рис.1) причленяется к зоне другого более крупного разлома. В отложениях келловэй-оксфорда и частично в нижележащих породах отмечается взбросовая дислокация. Поверхность смещения имеет наклон на северо-запад. Южнее этой зоны, на выходе из ущелья, слои юрских отложений в южном и юго-западном направлениях гипсометрически резко снижаются. В некоторых местах они разорваны и представлены в виде различных дислокаций. Другой более крупный разлом этой зоны морфологически представлен взбросо-сдвигом (8, рис. 1), рассекает толщу юры и в юго-западной части примыкает к зоне Южно-Байсунского взброса.

В северо-восточной части исследуемого района северо-западное крыло Байсунского поднятия осложняется серией взбросовых нарушений с падением плоскостей сместителя на северо-запад (10, 11, 12, 13, рис. 1). Кроме того, наблюдается крупное поперечное разрывное нарушение, с признаками активизации в неоген-четвертичное время (14, рис. 1). Этот поперечный разрыв проходит вдоль локальной впадины Кызылсай и тянется вдоль русла Алчасая, левого притока Мачайдарьи. В западной части по разлому находятся в контакте отложения валанжина-готерива ($K_1v + h$), баррема-апта ($K_1b + ap$) и альба (K_1alb). В восточной части разлом нарушает верхнеюрские отложения келловой-оксфорда ($J_3cl + ox$).

Продольный разлом взбросового типа (13, рис. 2), простирающийся в северо-восточной части вдоль Кызылсайской синклинали по азимуту 42° (222°) в юго-западной части меняет ориентировку на 55° (235°). Амплитуда по разлому оценивается в 100-150 метров [1]. Ш.У.Арсланбеков и К.А.Набиев [1] полагают, что этот взброс образует единый структурный шов с другим разрывным нарушением взбросового типа (12; рис 1).

В северо-западной части района исследованной выделяется Айнабулакская группа разрывных нарушений (15, 16, 17, 18, 19; рис. 1), которые выражены в рельефе в виде небольших ступеней, выступов и гребней.

Среди активных дислокаций, характеризующих интенсивность и особенности деформации исследуемой территории, следует отметить наблюдаемые в прибортовых склонах Мачайдарьи взбросовые нарушения (20, 21; рис. 1). Первый из них, названный нами Тангисар - Пастки Мачай- (20, рис.1) на участке выше по течению от места слияния Тангисар с Мачайдарьей представляется в виде пологого надвига (рис. 3, А и Б).

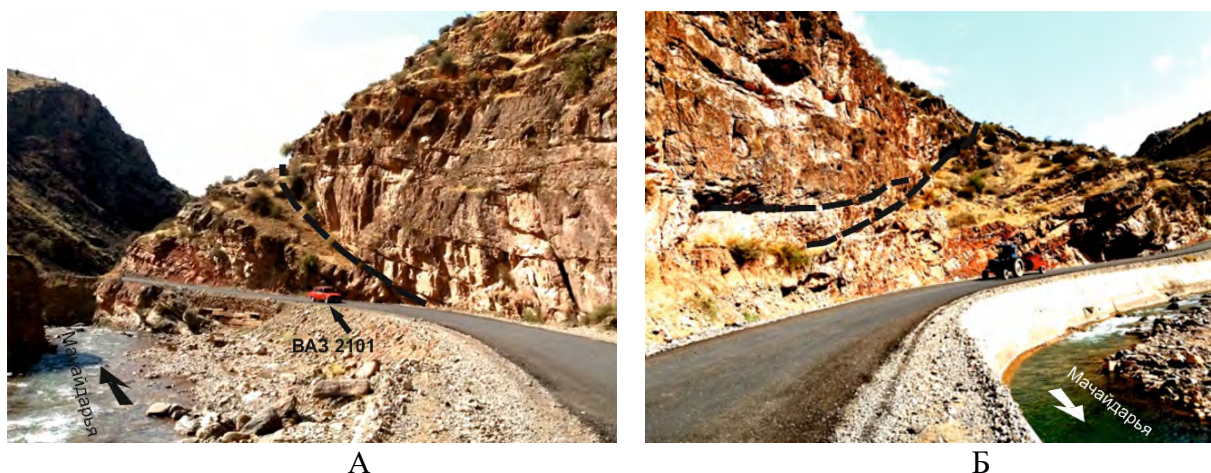


Рисунок 3 – Надвиг в правобережье Мачайдарьи (северо-западное крыло Бойсунтауского поднятия. Тангисар-Пастки Мачай): А – западная часть, Б – восточная часть

На рисунке 3 А - плоскость сместителя падает по азимуту 310° с углом 45° . В верхней части слои залегают с элементами 29 угол 20° , в нижней части - 290° угол 35° . Вертикальная амплитуда оценивается не менее 100-150 метров. Выше по Мачайдарье, участок в 2,5 км западнее кишлака Пастки Мачай характеризуется наличием в рельефе зоны интенсивного дробления, резкими изгибами слоёв, с элементами опрокидывания, проявлением милонитов и тектонической брекчии. Правое крыло складки резко опущено, азимут падения слоёв меняется на 102° угол в пределах от 55° до 70° в нижней части. Следует отметить, что А. В. Тевелевым и Б. В. Георгиевским в Юго-Западном Гиссаре были выделены и описаны крупные сдвиги и надвиги [2]. Они указывают малый угол наклона сместителей. К такому типу дислокаций в районе исследования можно отнести надвиговую структуру на участке Ходжамайхона (21, рис. 1). Такие дислокации здесь преимущественно развиваются по поверхностям контакта слоёв. Этому в частности способствует наличие пластичных солевых отложений верхней юры. В районах распространения солевых отложений важное значение имеет раздельное изучение структурных планов подсолевого и надсолевого структурных этажей. Об этом неоднократно отмечается в опубликованных работах [3]. Формирование

новейших деформационных структурных элементов, выраженных в рельефе, происходит в результате суммарного, результирующего действия различных факторов – как глубинных, так и приповерхностных, локальных. В таких условиях особое значение имеет применение методов рангового анализа при реконструкциях деформаций и полей напряжений, пример использования которых в условиях Тянь-Шаня приводится в [4,5].

На основе предыдущих тектонофизических исследований в Юго-Западных отрогах Гиссара были получены данные об особенностях проявления тектонических полей напряжений, связанных с формированием очагов древних и современных землетрясений [4,5,6]. Наличие больших горизонтальных сдвиговых смещений было установлено и в других районах Тянь-Шаня, которые были изучены по кинематическим данным. Поверхности сместителей таких сдвигов имели угол 60° - 70° [7,8].

Нами были проанализированы особенности ориентации разрывных нарушений района исследований. На рисунке 4 приводятся розы-диаграммы простираний разрывных нарушений, а также простираний и падений поверхностей крупных трещин секущих обнажения горных пород в локальных пунктах наблюдений. Отчётливо видна группировка их простираний в северо-восточном (юго-западном) направлении в пределах азимутов 40° - 60° (220° - 240°). Это направление соответствует основному простиранию Бойсунского поднятия, и разрывные нарушения выполняют структуроконтролирующую роль.

На схематической карте (рис. 1) видно, что они размещены в основном на северо-западном и юго-восточном крыльях Байсунского поднятия. Вблизи осевой части поднятия поверхности разломов имеют соответствующий наклон на северо-запад и юго-восток. Однако, поверхности Южно-Байсунской системы взбросовых нарушений наклонены на северо-запад, что свидетельствует о сложной структуре Байсунтауской горст-антиклинали.

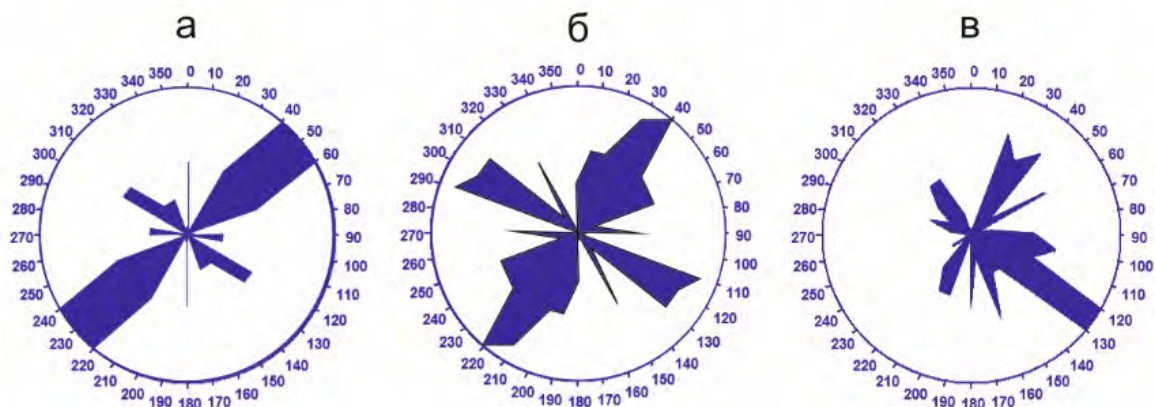


Рисунок 4 – Роза-диаграмма азимутов простираний разрывных нарушений (а) и крупных трещин, секущих обнажения горных пород в локальных пунктах наблюдений (б – простирания, в – падения)

На розе-диаграмме простираний разрывных нарушений (рис.4, А) отмечается и вторая группа, значительно меньшая по количеству разрывных нарушений, которые имеют простирание на северо-запад (юго-восток по азимутам 310 (120)). Они рассекают Байсунское поднятие на отдельные блоки и представлены, некоторые в виде сбросов, другие в виде сдвигов. Отмечается соответствие простираний крупных трещин секущих обнажения в локальных пунктах наблюдений (рис.4, б). Однако, поверхности крупных трещин имеют тенденцию преимущественного падения на юго-восток, а также в меньшем количестве на северо-восток. Всё это свидетельствует об особенностях общей картины разрывной тектоники района исследований. Для полного понимания тектодинамической обстановки необходима реконструкция полей напряжений и их совместный анализ для выяснения механизмов деформационных процессов, чему будут посвящены будущие работы.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать следующие выводы.

1. В новейшей структуре юго-западной части Байсунского горст-антиклинального поднятия важное место занимают разрывные нарушения различных порядков, которые характеризуются в основном северо-восточным (юго-западным) простиранием. Байсунское поднятие разделяется на блоки поперечными разломами сбросовой и сдвиговой природы. На участках контакта меловых и юрских отложений развиты взбросовые нарушения. В пределах юрских отложений развиты пологие надвиги, поверхности сместителя которых чаще приурочены к межслойным контактам или имеют близкое к ним положение.

2. Анализ полученных диаграмм показал, что преобладающее простирание крупных трещин, секущих обнажения массивов горных пород в локальных пунктах наблюдений, соответствуют общей ориентации крупных разрывных нарушений. Они также подразделяются на две группы, но падения поверхностей сместителей наклонены в основном на юго-восток. Небольшая часть из них имеет падения на северо-восток.

3. Полученные результаты дополняют данные о геологическом строении юго-западной части Байсунского поднятия и могут быть использованы при разработке сейсмостектонических и других геолого-тектонических моделей района, в т.ч. в качестве основы посково-разведочных работ.

Авторы выражают благодарность научному руководителю доктору геолого-минералогических наук, профессору Умурзакову Рахимжану Абдуразаковичу за оказанное внимание, обучение исследовательским навыкам и всемерную поддержку.

Литература

1. Арсланбеков Ш.У., Набиев К.А. Разрывные нарушения и геологические процессы. Ташкент: Фан. 1981. 104 с.
2. Тевелев А.В., Георгиевский Б.В. Деформационная история и нефтегазоносность Юго-Западного Гиссара (Южный Узбекистан) // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2012. № 6. С. 21-35.
3. Абидов А.А. Современные основы прогноза и поисков нефти и газа. Ташкент: Фан. 2012. 816 с.
4. Умурзаков Р.А. Отражение элементов современных и новейших полей напряжений в структуре и сейсмогенных проявлениях отдельных эпицентральных областей Западного Тянь-Шаня // Физика Земли. 2010. № 5. С. 15-23. <https://elibrary.ru/item.asp?id=13856945>
5. Umurzakov R.A. Structural and Seismic Indications of the Elements of Recent and Present-Day Stress Fields in Several Epicentral Regions of Western Tien Shan // Izvestiya, Physics of the Solid Earth, May 2010, Vol. 46, Iss. 5, pp. 379–386. <https://link.springer.com/article/10.1134/S1069351310050022> ©Pleiades Publishing. ISSN 1069-3513.
6. Umurzakov R.A. Late Cenozoic tectonic stresses and focal mechanism of some of the largest earthquakes of the Tien Shan Region // Comptes rendus – Geoscience, France. Parij. Vol. 344, Iss. 3–4, March–April 2012, Pages 239-246. Online publication complete: 25-APR-2012. DOI information: 10.1016/j.crte.2012.03.003. Article is now published online at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.crte.2012.03.003> <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1631071312000600?via%3Dihub>
7. Умурзаков Р.А. Позднекайнозойские тектонические напряжения и сейсмогенные деструктивные зоны Юго-Западного Гиссара / Актуальные проблемы научных исследований сейсмоактивных территорий. Материалы науч. конф. «100 лет Каратагского землетрясения (21 октября 1907 г.) и современные проблемы сейсмостойкого строительства и сейсмологии». Душанбе. 2007. С. 44-50.
8. Бабаев А.М., Умурзаков Р.А. Тектонические подвижки и элементы поля напряжений долины реки Шинг (Зарафшанский хребет Тянь-Шаня) // Доклады Академии наук. Душанбе. 2007. Т. 50. № 4. С. 363-367.

МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА БИШКЕК И ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ 2021-2022 гг.

Жусупкелдиев Ш., Жанболот кызы Н., Толумбекова Т.
sharshen58@mail.ru, tokonovanazik@gmail.com, tolumbekovattt@gmail.com
Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына,
г. Бишкек, Кыргызская Республика

Загрязнённость атмосферы в последние годы становится самой актуальной темой. В последние десятилетия резко усилилась экономическая деятельность соседних стран, которые находятся в ближайшем соседстве с Кыргызстаном. Это привело к использованию огромного количества органических природных ресурсов. При этом высвобождаются в атмосферу вредные соединения, которые могут существовать в атмосфере несколько месяцев. В результате динамических процессов эти вещества могут достигать г. Бишкек. По данным ГРС, на конец 2018 года в столице было зарегистрировано почти 420 тысяч автомобилей [1] и их число с каждым годом растёт.

В работе проведены многократные измерения с использованием современных цифровых приборов, построены графики по результатам измерений. Работа посвящена натурным данным, полученным за время проведения эксперимента.

Ключевые слова: взвешенные частицы, атмосфера, воздух, загрязнённость, концентрация, аэрозоль, климат, температура.

Взвешенные частицы представляют собой широко распространённый загрязнитель атмосферного воздуха, включающий смесь твёрдых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии. Взвешенные частицы обозначают РМ (сокращение от англ. Particulate Matter). К показателям, которые обычно используются для характеристики РМ и имеют значение для здоровья, относятся массовая концентрация частиц диаметром менее 10 мкм (РМ 10) и частицы диаметром менее 2.5 мкм (РМ 2.5). В РМ 2.5, которые также называют мелкодисперсными взвешенными частицами, входят и ультрамелкодисперсные частицы диаметром менее 0.1 мкм [2].

Имеются достаточные доказательства влияния кратковременной экспозиции РМ 10 на дыхательную систему, однако с точки зрения смертности более значимым фактором риска, чем грубая фракция РМ 10, являются РМ 2.5. При увеличении концентрации РМ 10 больше, чем 10 мкг/м³ суточная смертность от всех причин возрастает на 0,2-0,6% (6,7). В условиях хронической экспозиции РМ 2.5 каждое повышение концентрации РМ 2.5 на 10 мкг/м³ сопряжено с ростом долговременного риска кардиопульмональной смертности на 6-13% (8-10) [3]. Согласно имеющимся оценкам, в глобальном масштабе на счёт воздействия РМ относят приблизительно 3% случаев смерти от кардиопульмональной патологии и 5% случаев смерти от рака лёгкого.

Последний пересмотр рекомендаций по качеству воздуха был сделан ВОЗ в 2005 году и включает в себя следующие величины:

- По РМ 2.5: среднегодовая концентрация 10 мкг/м³, среднесуточная концентрация 25 мкг/м³ (её превышение не должно продолжаться больше трёх дней в году);
- По РМ 10: среднегодовая концентрация 20 мкг/м³, а среднесуточная – 50 мкг/м³.

В национальном законодательстве КР среднесуточная концентрация РМ 2.5 не должно превышать 35 мкг/м³. Именно он взят для расчетов. Разовая допустимая концентрация, по данным MoveGreen, установленная в национальном законодательстве — 160 мкг/м³. Согласно отчёту MoveGreen от 2018 года [4], в зимние месяцы уровень этих частиц превышает

предельно допустимые нормы. Особенно плохой воздух вечером, когда люди возвращаются с работы на автомобилях и отапливают свои дома углём [5].

В начале марта в связи с продолжением отопительного сезона концентрация загрязняющих веществ в воздухе не сильно отличалась от среднесуточной концентрации в зимний период. С окончанием отопительного сезона качество воздуха в городе улучшилось, и среднесуточная концентрация в мае PM_{10} и $PM_{2.5}$ снизилась до 17 мкг/м^3 и 19 мкг/м^3 соответственно.

В марте по утрам наблюдался относительно чистый воздух, к вечеру концентрация загрязнителей повышался выше в 5-6 раз предельно допустимой нормы. Среднесуточная концентрация PM_{10} – 128 мкг/м^3 , $PM_{2.5}$ – 160 мкг/м^3 за 2021 г. Значения среднесуточной концентрации уменьшились в сравнении со значениями в зимний период, но всё ещё выше нормы, рекомендованной ВОЗ.

Среднее значение за месяц составило PM_{10} – 147 мкг/м^3 , $PM_{2.5}$ – 122 мкг/м^3 за март 2022 г.

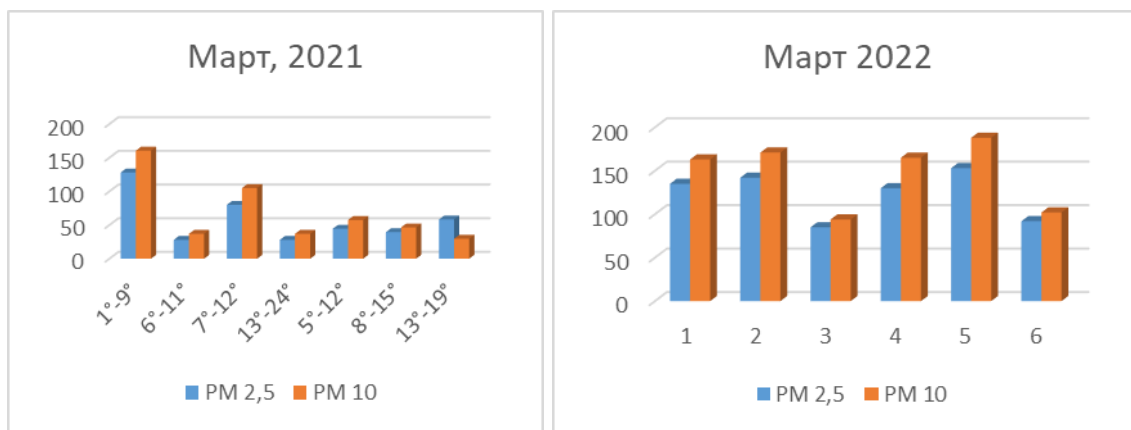


Рисунок 1 – Качество атмосферного воздуха за март 2021 г. (слева) и за март 2022 г. (справа)

В апреле среднесуточная концентрация загрязнителей всего несколько дней превышала отметки рекомендуемой ВОЗ, а среднее значение концентрации PM_{10} за месяц – 43 мкг/м^3 , а $PM_{2.5}$ – 47 мкг/м^3 .

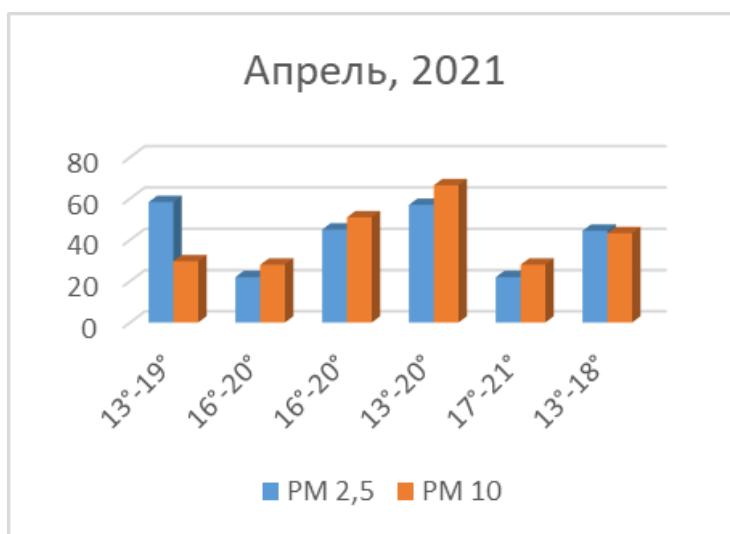


Рисунок 2 – Концентрация $PM_{2.5}$ и PM_{10} за апрель 2021 г.

В мае среднесуточная концентрация загрязнителей не очень отличалась по сравнению с предыдущим месяцем. Самое повышенное значение $PM_{2.5}$ и PM_{10} наблюдалось в 17 мая:

58 и 66 47 мкг/м³ соответственно. Среднее значение за месяц соответствует нормам ВОЗ: PM 2.5 – 20 мкг/м³, PM 10 – 22 мкг/м³.

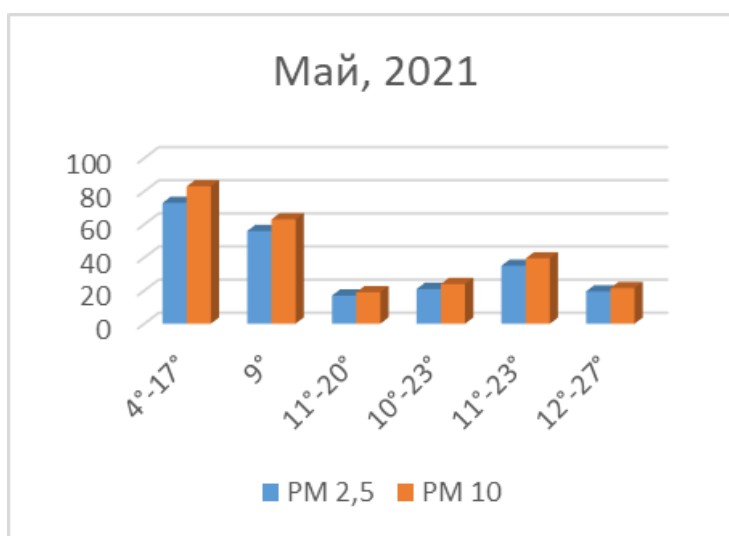


Рисунок 3 – Изменения взвешенных частиц PM 2,5 и PM 10 за май 2021 г.

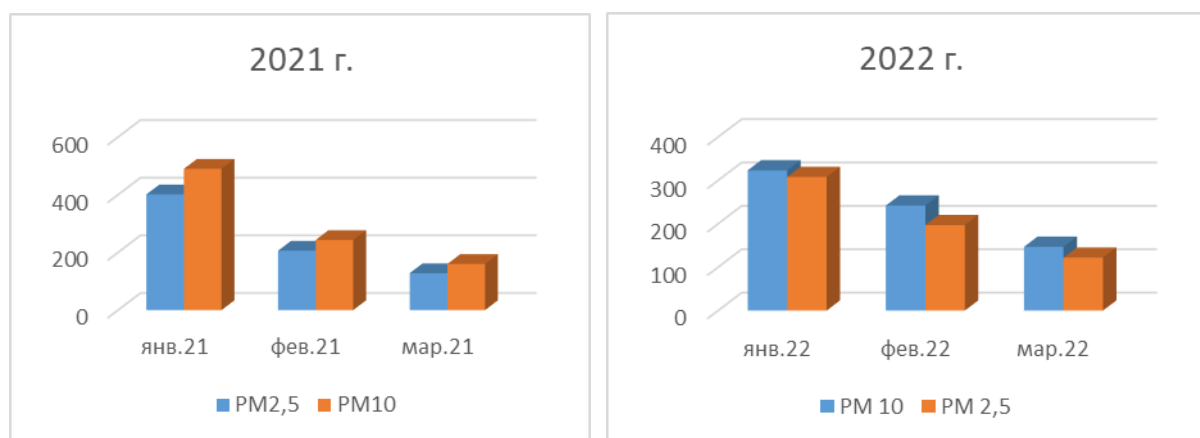


Рисунок 4 – Сравнение качества воздуха за первые три месяца 2021 г. (слева) и 2022 г. (справа)

В январе 2022 г по сравнению за этот же месяц прошлого года качество воздуха улучшилось. Но все ещё превышало все допустимые значения. Март и февраль почти не отличались, среднее значения качества воздуха в области 200 мкг/м³.

В конце мая мы провели измерения по Исык-Кульской котловине. Измерения проводились в крупных населенных пунктах, в трех и более разных точках:

- Г. Балыкчы – измерения проводились вечером. В окраине города, близ берега воздух относительно чист, по сравнению с центром. Концентрация загрязнителей низкое, не представляет опасности для жизни человека;
- С. Боконбаево – измерения проводились вечером. Концентрация PM 10 и PM 2.5 не превышает разово допустимой нормы, указанный ВОЗ и в законодательстве КР;
- С. Дархан и с. Каджи-Сай – измерения проводились вечером, наблюдалось интенсивное движение автомобилей. В центре зафиксированы самые высокие значения загрязнителей. В некоторых измерениях они превысили допустимые нормы;
- Покровка – проведены измерения ночью и утром. Качество воздуха соответствует требованиям ВОЗ и не представляет угрозы населению;

- Каракол – провели измерения утром и днем до и после полудня. В центре города концентрация загрязнителей намного больше чем других местах. Это обусловлено интенсивностью движения автомобилей. Качество воздуха хорошее, не опасно для здоровья человека;
- С. Бостери – измерения проводились после полудня: качество воздуха отличное;
- Г. Чолпон-Ата – измерения проводились ближе к вечеру. В центре города концентрация РМ 2.5 немного превышает нормы. В других местах качество воздуха удовлетворяет требования ВОЗ.

Таблица 1 – Натурные измерения

№	Точка измерения	PM2.5	PM10	Норма	Качество воздуха
1	Балыкчы	6-8	6-10	0-50 мкг/м ³	Хорошо
2	Боконбаево	2-11	2-15	0-50 мкг/м ³	Хорошо
3	Каджи-Сай	8-33	13-43	0-50 мкг/м ³	Удовлетворительно
4	Дархан	22-46	24-52	0-50 мкг/м ³	Удовлетворительно
5	Покровка	1-12	2-18	0-50 мкг/м ³	Хорошо
6	Каракол	3-18	4-24	0-50 мкг/м ³	Хорошо
7	Чоң-Өруктү (берег)	3-4	4-7	0-50 мкг/м ³	Хорошо
8	Ананьево	2-6	2-7	0-50 мкг/м ³	Хорошо
9	Бостери	2-6	3-6	0-50 мкг/м ³	Хорошо
10	Чолпон-Ата	3-46	3-48	0-50 мкг/м ³	Удовлетворительно

Из табл.1. видно, что качество воздуха можно считать удовлетворительным, загрязнение воздуха во всех точках измерения находятся в пределах нормы.



Рисунок 5 – Качество воздуха населенных пунктов Иссык-Кульской котловины

По наблюдениям, качество воздуха зависит от нескольких факторов. Один из них – расположение города и архитектура города. Большое количество многоэтажных домов в южной части города заслоняют поток ветра, все частицы оказываются во взвешенном состоянии. Когда ветер дует со скоростью более 10 м/с в городе заметно очищается воздух. В такие дни концентрация взвешенных частиц составляет 8-15 мкг/м³ [6]. Первичными источниками загрязнителей считаются выхлопные газы автомобилей, частицы асфальта и пыль от дорог, строительство и отопление в зимний период.

Литература

1. <https://kloop.kg/blog/2019/03/31/smog-nad-bishkekom-kak-umenshit-transportnye-vyhlopy/31.03.2019>
2. <https://lab-test.ru/poleznaya-informatsiya/stati/314-sistemy-monitoringa-chastits-pm2,5-i-pm10,2019.g.>
3. ВОЗ. «Воздействие взвешенных частиц на здоровье человека», доклад 2013 г.
4. <http://movegreen.kg/2018/05/24/grazhdanskij-monitoring-kachestva-vozduha-v-bishkeke/24.05.2018>
5. <https://kloop.kg/blog/2019/11/20/smog-v-bishkeke-huzhe-chem-v-pekine/20.11.2019>
6. Жусупкелдиев Ш., Ниязов Т.З., Азимбаев Т.К., Чубаков Т.А., Жанболот кызы Н. 2019-жылдын күзүндө Бишкек шаарынын атмосферасына мониторинг жүргүзүү // Вестник КНУ 2021. № 3 (107). С. 188-195.

ПРИЛЕДНИКОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ОЗЕР ВНУТРИМОРЕННЫХ ДЕПРЕССИЙ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР АДЫГЕНЕ)

Загинаев В.В.^{1,2}, Ерохин С.А.¹, Кубанычбек уулу Н.¹, Аманова М.Т.², Шукурбеков К.¹
zagivitjob@gmail.com

¹ Институт водных проблем и гидроэнергетики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика

² Департамент мониторинга и прогнозирования чрезвычайных ситуаций Министерства чрезвычайных ситуаций КР, г. Бишкек, Кыргызская Республика

За последние 50 лет на поверхности морено-ледникового комплекса Адыгене сформировалось около десяти новых озер моренно-ледникового типа. Каждое озеро проходит в своем развитии как этапы стремительного роста, так и этап стабильной фазы развития. В данном исследовании приведены два озера: Адыгене Большое, показывающее стабильный этап развития в последние годы и Адыгене Приледниковое, активно развивающееся за последние 14 лет и увеличившееся в объеме почти в 12 раз (с 2007 по 2021 гг.). Для лучшего понимания процессов развития высокогорных озер и оценки угрозы их прорыва нами ежегодно проводятся батиметрические измерения. Последние измерения, проведенные в 2021 году, показывают, что озеро Адыгене Приледниковое практически достигло максимума в своем развитии, и дальнейшее увеличение площади озера будет незначительным. Так под отступающим ледником уже обнажилась морена и дальше озеро расти будет некуда, увеличение объема озера возможно лишь за счет протаивания дна озера. Очень важно и на последующих этапах развития данных озер наряду с дистанционным зондированием проводить батиметрические измерения с целью изучения этапов развития высокогорных прорывоопасных озер.

Ключевые слова: моренно-ледниковый комплекс, батиметрия, внутреморенная депрессия, приледниковое озеро, прорывоопасность

Введение. По мере отступления ледника на моренно-ледниковом комплексе Адыгене за последние 40 лет появилось около 10 новых озер [1-3]. Ледник за это время отступил почти на километр. Средняя скорость линейного отступления ледника составила около 22 метров в год, что обусловлено экспозицией ледника и климатическими особенностями района [4]. Новые озера представляют интерес с точки зрения их прорывоопасности. По долине Адыгене проходили в прошлом мощные селевые потоки [5, 6], они были вызваны прорывами озер на моренно-ледниковом комплексе Тезтор. На данный момент на моренно-ледниковом комплексе нет озер с высокой степенью прорывоопасности, но стремительно развивающаяся ситуация с отступанием ледника Адыгене может привести к образованию новых озер и увеличению объемов существующих. Для мониторинга за состоянием озер в долине Адыгене на берегу Большого озера Адыгене была построена научно-исследовательская станция в 2008 году, где и по настоящее время проводится стационарный мониторинг за состоянием прорывоопасных озер. Мониторинг озер необходимо продолжать и дальше с целью построения прогнозов на будущее.

Место исследования. Озера Адыгене (Рис. 1) расположены в верховьях одноименной долины, являющейся правым притоком реки Ала-Арча (центральная часть северного склона Кыргызского хребта) на высоте 3600 м н.у.м.

Озеро Большое Адыгене, на Рис. 1 отмечено цифрой 1. По режиму наполнения озеро стационарное. Питание озера снежно-ледниковое. Максимальный подъем уровня наблюдается в 3-ей декаде июля – первой декаде августа.

Озеро Адыгене-приледниковое, на Рис. 1 отмечено цифрой 2. Питание озера - ледниковое. Максимальный подъем уровня наблюдается в 3-ей декаде июля – первой декаде августа. Озеро активно развивается.

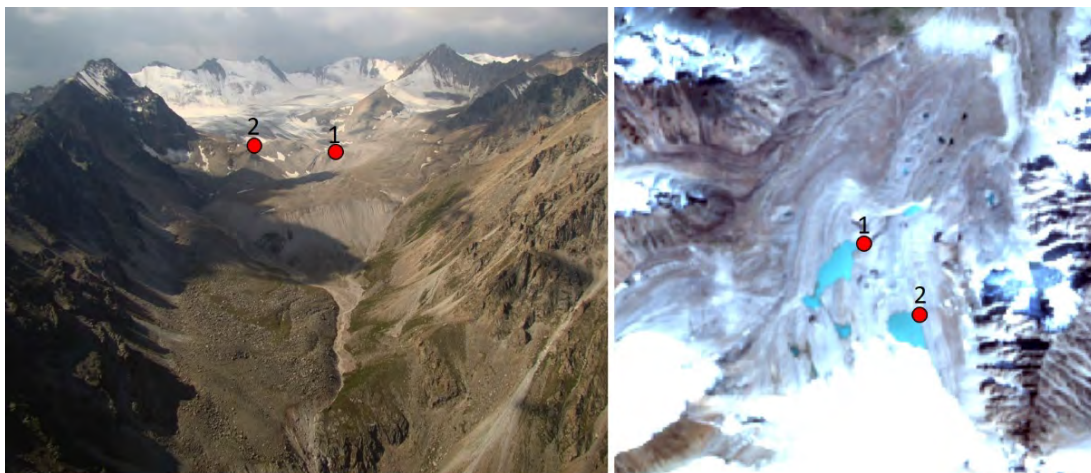


Рисунок 1 – Расположение озер на моренно-ледниковом комплексе Адыгене

Озера Адыгене Большое и Приледниковое относятся к моренно-ледниковому типу озер, к подтипу озер внутриморенных депрессий.

Методы работ. Батиметрические измерения проводились при помощи эхолота Deeper Pro+, данные обрабатывались в программе ArcGIS, метод применяемой интерполяции - Кригинга. Для сбора спутниковых снимков за разные года использовались доступные бесплатные сервисы. Снимки обрабатывались в программах ENVI и SNAP.

Результаты. Внутриморенная депрессия, весьма распространенная, своеобразная форма морено-ледниковой аккумуляции ледников долинного типа. Она образуется в зоне наибольшего давления ледника, в его центре. Здесь давление максимальное, к краям ледника оно уменьшается. Под действием давления слои чистого и мореносодержащего льда отжимаются от центра к краям ледника. При этом благодаря процессу режеляционного плавления льда, толща мореносодержащего льда обогащается обломочным материалом. Это приводит к тому, что в краевых частях в толще ледника накапливается обломочный материал. Здесь появляются слои мореносодержащего льда, еще ниже по разрезу слои ледсодержащей морены.

При отступлении ледника мореносодержащий лед бронируется вытаивающим обломочным материалом и проявляются на дневной поверхности в виде валов конечных морен. В центре ледника сохраняется относительно чистый лед, в котором почти нет бронирующего его обломочного материала, поэтому он тает более активно чем мореносодержащий лед. Поэтому, после деградации ледника в центре образовавшегося моренно-ледникового комплекса проявляется внутриморенная депрессия. Её окаймляют валы конечноморенных образований конечной (фронтальной) и боковых морен.

Днище и борта депрессий состоят из водоупорных пород, представленных следующими разновидностями: 1) чистый лед; 2) мореносодержащий лед; 3) ледсодержащая морена; 4) мерзлые рыхлообломочные породы. Условия оттока талых вод из депрессии через такой водоупорный экран весьма затруднены. Поэтому на днищах внутриморенных депрессий скапливается вода. В зависимости от соотношения притока и оттока талых вод, объемы их скоплений могут достигать несколько тысяч кубических метров. За счет солнечного тепла талая вода нагревается до 8-10⁰ и активно воздействует на ледсодержащие моренные отложения днища и бортов депрессии. Формируется озерная ванна, которая может охватывать в своем развитии до 90% площади днища внутриморенной депрессии.

Объем воды в озерах внутриморенных депрессий меняется в широких пределах, от нескольких тысяч до более 1 млн. м³. Объем озера Четынды (И-7), в долине Тоссор, на северном склоне Терской-Алатоо достигает 1400 тыс. м³. Из этого ряда выделяется своими

огромными размерами уникальное озеро Петрова (И-76) в горном массиве Акшийрак. Его объем превышает 60 млн. м³.

Процесс развития озер внутриморенных депрессий разделяется на три этапа, от активного к пассивному.

На первом этапе развития озера его ванна активно углубляется и расширяется за счет таяния языка ледника, который чаще всего спадает в озеро уступом, высотой от 1 до 40 м, озеро Адыгене Приледниковое.

На втором этапе озеро переходит в относительно спокойный режим развития. Главным признаком этого этапа является отступление открытой части ледника от акватории озера. Между ледником и озером появляется забронированная грубообломочным материалом моренная поверхность, озеро Адыгене Большое.

На третьем этапе развития озер внутриморенных депрессий пропускная способность внутриморенных каналов стока увеличивается настолько, что обеспечивает полный отток воды из озера. Их ванны наполняются водой только в отдельные периоды, когда, по каким-то причинам, происходит закупорка каналов стока. Между длительными «сухими» периодами отсутствия в озерных ваннах воды, случаются периоды их наполнения. Если «сухие» периоды продолжаются от 3-5 до 20-25 лет, то периоды наполнения обычно проявляются в течении 1 года, реже 2-3 лет. Периоды наполнения озер заканчиваются их опорожнением, которое бывает либо в форме прорыва, часто с катастрофическими последствиями для жителей горных доли, либо постепенного стока воды из озера. После опорожнения наступает очередной «сухой» период.

Для оценки текущей ситуации и прогноза развития на будущее необходимо проводить регулярные батиметрические измерения.

Батиметрические измерения, 2021 год. Все батиметрические измерения проводились в периоды максимального наполнения озер, август и сентябрь. Последние батиметрические измерения проводились в августе 2021г.

По результатам батиметрических измерений (Рис.2), проведенных в 2021 году площадь озера Адыгене Большое составила $32,6 \times 10^3$ м², средняя глубина составила 6,3 метра, объем озера составил 205×10^3 м³. Максимально обнаруженная глубина составила 21,3 метра. Периметр озера 1,15 км. Длина озера 377 метра, ширина 140 метров.



Рисунок 2 – Батиметрическая карта озера Адыгене Большое, 2021 г.

Площадь приледникового (Рис.3) озера в 2021 году составила 24141 м², средняя глубина составила 6,2 метров, объем озера составил 151×10^3 м³. Максимально обнаруженная глубина составила 13,8 метра. Периметр озера 0,61 км. Ширина озера составила 188 метров, а длина 150 метров.

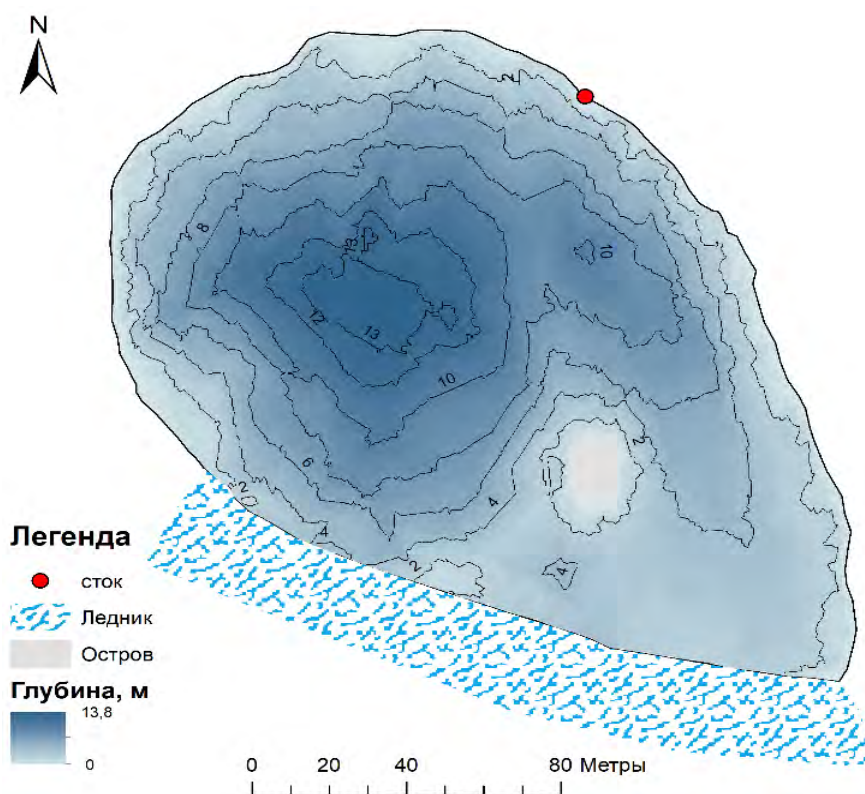


Рисунок 3 – Батиметрическая карта озера Адыгене Приледникового, 2021 г.

Батиметрические измерения, 2019 год. По результатам батиметрических измерений (Рис.4), проведенных в 2019 году площадь озера Адыгене Большое составила $32,6 \times 10^3 \text{ м}^2$, средняя глубина составила 6,5 метра, объем озера составил $212 \times 10^3 \text{ м}^3$. Максимально обнаруженная глубина составила 22,1 метра. Периметр озера 1,14 км.

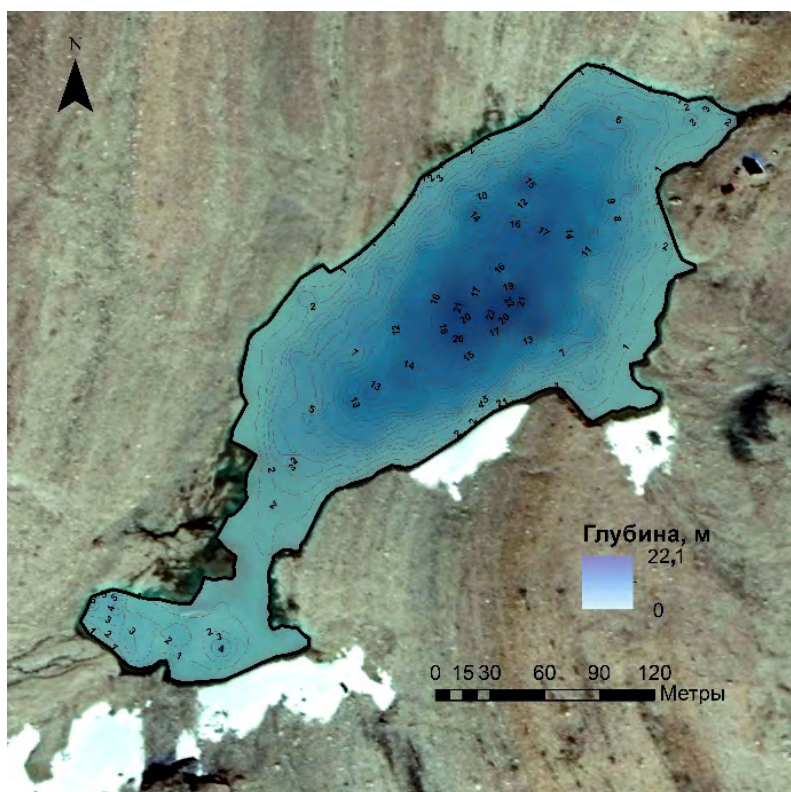


Рисунок 4 – Батиметрическая карта озера Адыгене Большое, 2019 г.

Площадь приледникового озера 19935 м² (Рис.5), средняя глубина составила 6,5 метров, объем озера составил 130×10³ м³. Максимальная обнаруженная глубина составила 13,5. Периметр озера - 0,56 км.

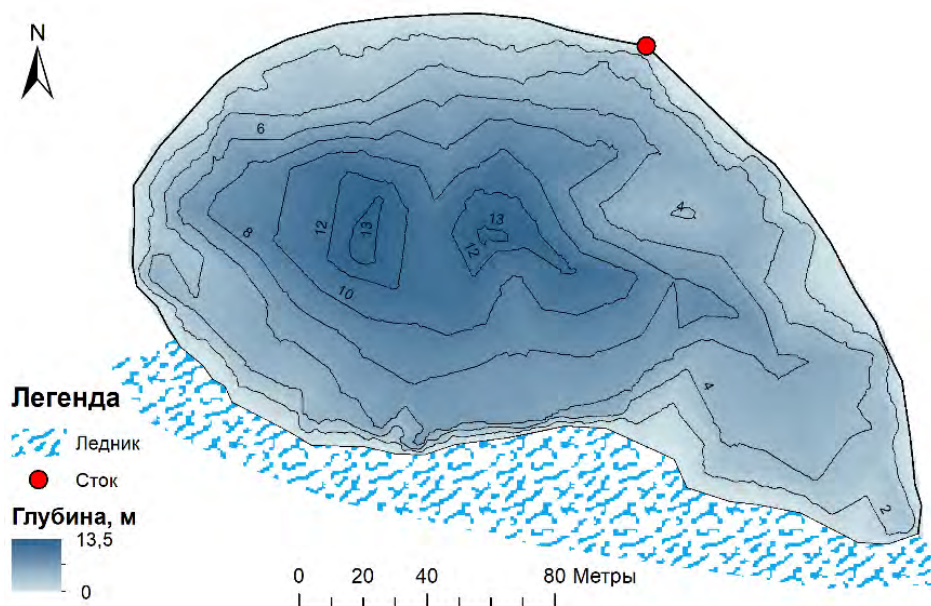


Рисунок 5 – Батиметрическая карта озера Адыгене Приледниковое, 2019 г.

Батиметрические измерения, 2007 и 2010 года. В 2010-ом году была проведена батиметрическая съемка озера Адыгене Большое (Рис.6). Глубина озера при его максимальном заполнении составила 21,6м. Площадь акватории озера достигала при этом 32700 м², объем 208 тыс.м³.

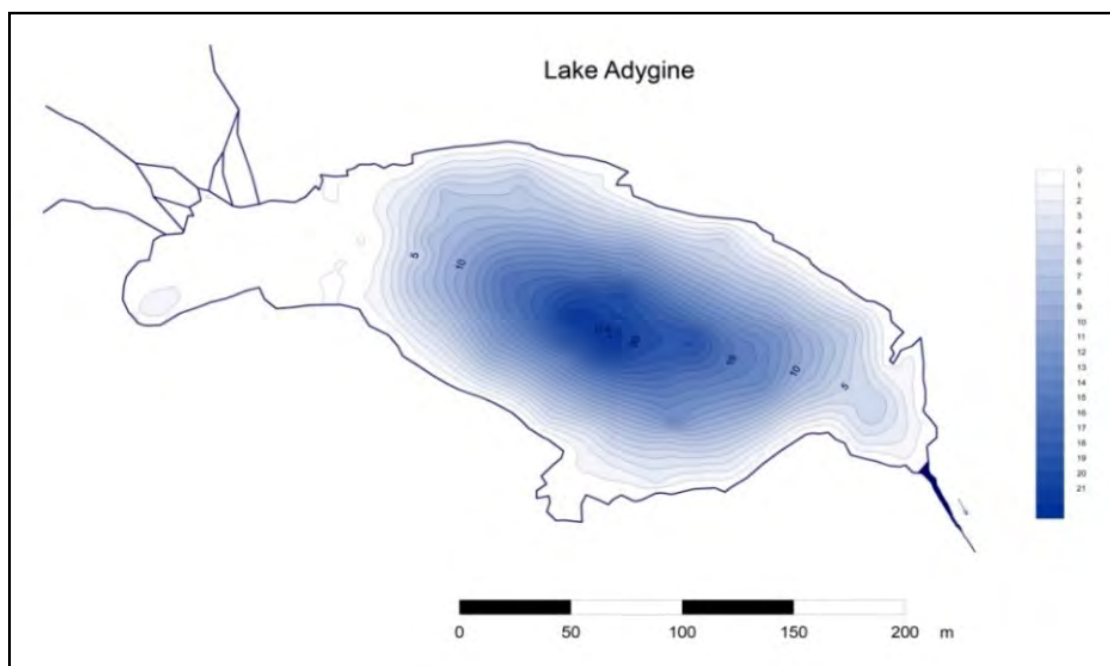


Рисунок 6 – Батиметрическая карта озера Большое Адыгене в 2010 г.

В 2007 году на озере Адыгене Приледниковое была выполнена батиметрическая съемка при максимальном его наполнении (Рис.7). Выяснилось, что максимальная глубина озера составляет 3,8м, размеры 130х50, объем до 10 тыс.м³.

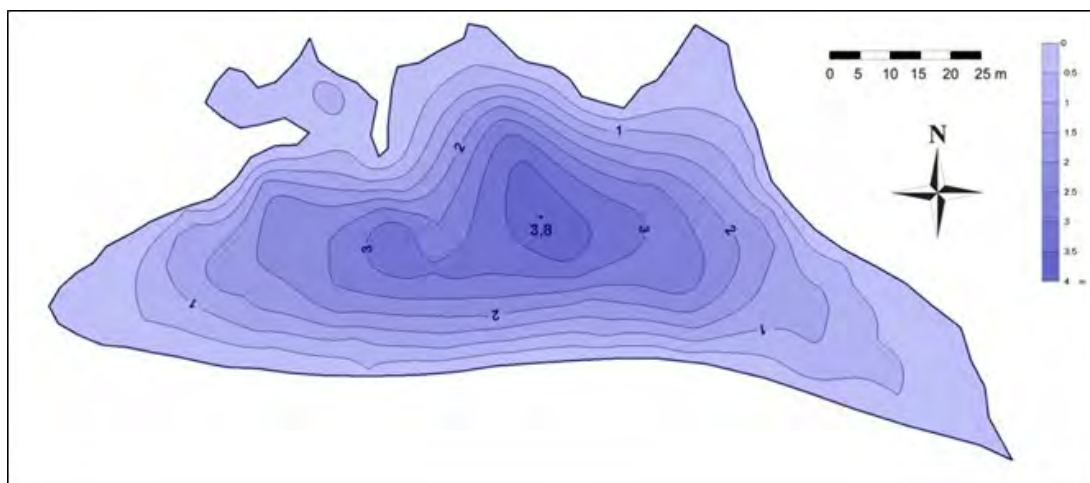


Рисунок 7 – Батиметрическая карта озера Адыгене-приледникового в 2007 г.

Анализ таблицы 1 показывает, что акватория озера Адыгене Большое с 2010 по 2021 года показывает, что ванна озера находится в стабильно спокойном режиме развития. Тогда как озеро Адыгене Приледниковое изменилось значительно, за период с 2007 года по 2021 год, за 14 лет, площадь озера увеличилась более чем в 4 раза. Объем озера увеличился в 12 раз.

Таблица 1 – Площади озера Адыгене большое и Приледниковое за разные годы

Озеро	Год	Площадь, м ²	Объем, м ³
<i>Адыгене Большое</i>	2010	32,7×10 ³	208×10 ³
	2019	32,6×10 ³	212×10 ³
	2021	32,6×10 ³	205×10 ³
<i>Адыгене Приледниковое</i>	2007	5,7×10 ³	12,5×10 ³
	2013	8,6×10 ³	45,7×10 ³
	2016	16,3×10 ³	84,6×10 ³
	2019	19,9×10 ³	130×10 ³
	2021	24×10 ³	151×10 ³

Выводы. За последние 14 лет площадь акватории озера Адыгене Большое не изменилась, а максимальные глубины 22,1 метра обнаруженные в ходе батиметрической съемки 2019 года не были обнаружены при повторном исследовании в 2021 году, что может указывать на выпадение донных осадков. За счет процессов протаивания в южной части озера увеличилась глубина залива, в среднем значении на 1 метр. Озеро Адыгене Приледниковое, напротив, за последние 14 лет увеличилось более чем в 4 раза, это связано с быстро отступающим ледником (Рис.8), озеро Адыгене Приледниковое отмечено красным квадратом).



Рисунок 8 – Увеличение размеров озера Адыгене Приледниковое с 2013 по 2021 года

При проведении батиметрии в 2021 году установлено что под отступающим ледником обнажаются участки морены и дальнейшее увеличение площади акватории озера будет незначительным. Но за данным озером необходимо дальнейшее наблюдение так как объем озера может увеличиваться за счет протаивания дна озера.

Активное развитие озера Адыгене Приледниковое активно связано с контактом озера и языком ледника (Рис.8). Как только ледник и озеро будут отделены друг от друга, приледниковое озеро перейдет в такой же режим развития, как и озеро Адыгене Большое.

Вода озера, нагретая солнцем до 6-10 °С, активно воздействует на ледовый уступ в его основании, подмываемом озерной водой. В результате береговая часть ледникового уступа теряет опору и отсекает в озеро блоками (рис 9). Поверхность приозерной части ледникового языка разбита трещинами отседания (рис.9).



Рисунок 9 – Озеро Адыгене (Ч-9) - приледниковое на северном склоне Кыргызского хребта активно расширяется за счет деградирующего ледника Адыгене, от которого в озеро отсекают ледяные блоки

Активный этап развития моренно-ледниковых озер внутриморенных депрессий является самым прорывоопасным. В этот период факторами прорывоопасности могут стать как большие сбросы талой воды со стороны ледника, способные переполнить озерную ванну, так и закупорка каналов стока, приводящая к тому же явлению переполнения озера и его неизбежному прорыву. Механизм прорыва в каждом конкретном случае прорыва озера имеет свои особенности. Однако во всем многообразии этих особенностей имеются одинаковые моменты, по сходству которых все модели прорыва озер внутриморенных депрессий можно разделить на три варианта: 1) поверхностный прорыв; 2) подземный прорыв; 3) смешанный подземно-поверхностный прорыв.

Прорывы озера внутриморенных депрессии по первому и третьему вариантам заканчиваются формированием проранов в плотинах озер, через которые происходит поверхностный сток.

Примером последнего катастрофического прорыва озера внутриморенной депрессии является прорыв озера Акпай (Рис. 10), расположенного в верховьях долины реки Сокулук. Одной из характерных черт данного озера является контакт ледника с озером. В 20021 году возникла ситуация, что внутреледниковые каналы стока закупорились, затруднив сток воды из озера. При достижении критического объема озеро прорвало 2 августа вызвав селевой поток. Озерная депрессия активно углубляется и расширяется за счет таяния языка ледника,

который сейчас спадает в озеро уступом, высотой от 10 м. За данной депрессией необходимо дальнейшее наблюдение, особенно в периоды интенсивного наполнения май-июль.



Рисунок 10 – Озеро Акпай (долина Сокулук) за неделю до и после прорыва

Литература

1. Ерохин С.А. Периодичность прорывоопасности горных озер различного типа // Мониторинг, прогнозирование опасных процессов и явлений на территории КР. Бишкек: МЧС КР. 2014. С. 590-594.
2. Ерохин С.А., Черны М. Типы морено-ледниковых комплексов как критерии регрессии горно-долинного оледенения Тянь-Шаня // Изменения климата и риски стихийных бедствий в горных районах. Тр. Междунар. конф., г. Душанбе, 19-20 сент. 2011 г. Душанбе. 2011. С. 65-66.
3. Meleshko A.A., Konovalov Y., Zaginaev V., Anatskaya E.E. Remote sensing based monitoring: glacier changes in Alaarcha and Alamedin river basins in the northern Tien-Shan // Молодежь XXI века в научном, культурном и образовательном пространстве: новые ценности, вызовы, перспективы. Сб. науч. тр. Междунар. молодежной науч.-практ. конф. В 2 ч. М.: РУДН. 2017. С. 138-142.
4. Meleshko A.A., Erokhin S.A., Zaginaev V.V. Factors of moraine-dammed lake outbursts: nonstationarity of the Tien-Shan lakes in Kyrgyzstan under climate change conditions // Environmental Problems of the Third Millennium Proceeding of the International Youth Scientific Conference. М.: РУДН. 2016. С. 137-141.
5. Загинаев В.В., Тузова Т.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: МЧС КР. 2013. С. 563-570.
6. Ерохин С.А., Диких А.Н. Оценка опасности действия селевых и паводковых потоков на территории Ала-Арчинского национального парка // Известия НАН КР. 2003. Вып. 4. С. 130-139.

НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ЧАСТОТАМИ КОЛЕБАНИЙ ПЛОТИНЫ АХАНГАРАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Иброгимов Ф.И.¹, Мухаммадқулов Н.М.^{1,2}, Бахриддинова Д.Х.^{1,2}
ibragimovfaxriyor4@gmail.com, muhammadqulovn1996@gmail.com, dildora.baht@gmail.com

¹ Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Национальный университет Республики Узбекистан, г. Ташкент, Республика Узбекистан,

В работе обсуждаются результаты наблюдений за собственными частотами колебаний плотины Ахангаранского водохранилища. Представлен метод контроля собственных частот плотины на основе непрерывных сейсмических наблюдений. Для измерения микросейсмических волн используется сейсмометр Guralp 6TDE. Показано, что резкое относительное изменение значений амплитуды и частоты относительно друг друга в определенных точках характеризуется изменением разности акустической жесткости неоднородных частей конструктивного состояния плотины по отношению к другим частям плотины. Выявлено также, что в пунктах, расположенных в северной части плотины, наблюдалась более низкая частота собственных колебаний, чем в других пунктах. В этом случае скорость распространения микросейсмических волн в горных породах мала, а это означает, что волна движется в полых породах.

Ключевые слова: наблюдение, плотина, колебание, частота, амплитуда, состояние, сейсмометр, скорость, микросейсм

Введение. Водная среда и основание при колебаниях плотин оказывают определенное инерционное влияние вследствие того, что в движение вовлекаются массы воды и грунта. Они как бы увеличивают массу самого сооружения, поэтому их обычно называют присоединенной массой грунта и присоединенной массой воды. «Присоединение» масс воды и грунта приводит к тому, что собственные частоты и формы колебаний плотины иные, чем в плотине без их учета. Известно, что при увеличении массы сооружения уменьшаются его собственные частоты и увеличиваются периоды собственных колебаний [1]. Оценка частоты и эюр основных форм колебаний объекта необходимо для определения динамических характеристик колебания плотин. По ним можно оценить жесткость и прочность конструкций [2]. Исследованиями выявлено, что старении сооружения сопутствует понижение частоты основных колебаний [3,4]. Подобное изменение было обнаружено обследованием плотины Чарвакской ГЭС. Исследователями, анализируя данные форм колебаний плотины в течение девяти лет эксплуатации, выявлено, что изменение частоты первой собственной формы снизилась для гребня на 11%, для бермы на 9% [2,3]. Подобные изменения частот колебаний могут отмечаться в других каменно набросных и грунтовых плотинах Узбекистана. Так же как [2,3] значительные изменения жесткости могут образовать дополнительные колебания. На практике определением вариации частот первых форм собственных колебаний плотины в процессе эксплуатации оценивается возможный износ конструкции [4,5]. Поэтому на практике определение величин частот форм колебаний плотин могут, отображают состояние сооружения [4,5]. Выполнение работ по определению сейсмических и собственных частот колебаний плотин Узбекистана предварительно нами произведена оценка состава микросейсмических колебаний. Оценка амплитудно-частотного состава микросейсмических колебаний произведена для плотины Ахангаранского водохранилища, используя метод спектральных отношений вертикальных и горизонтальных компонент микросейсм (H/V-отношения) или метод Накамуры [6].

Объект исследования - Ахангаранское водохранилище в Восточном Узбекистане. Ахангаранское водохранилище – гидротехническое сооружение на реке Ахангаран, служащее для орошения земель Ахангаранского, Средне-Чирчикского, Пскентского и Бокинского районов. Нарушение структурного состояния плотины может поставить под угрозу жизни многих людей и снизить экономическую стабильность. Однако бедствия можно свести к минимуму, чтобы эффективно контролировать структурное состояние плотины. Изучение изменения собственных частот инженерных сооружений является одним из наиболее распространенных методов изучения их конструктивного строения. Однако сложная структура плотины затрудняет определение ее собственных частот. Также трудно объяснить изменение значений собственных частот из-за значительного влияния уровня воды в водохранилище. В статье представлен метод контроля собственных частот плотины на основе непрерывных сейсмических наблюдений. Предназначен для контроля стабильности технического состояния плотины путем измерения значений собственных частот по телу плотины.

Проведенные геофизические работы. На основе контроля структурного состояния плотины Ахангаранского водохранилища необходимо будет выявить и интерпретировать изменения различных физических параметров волнового поля (в первую очередь собственных частот). Изменения волнового поля помогают выявить дефекты конструкции плотины. Изменение собственной частоты плотины при наблюдении повышения или понижения уровня воды определяют методом сейсмометрических измерений. Существует множество факторов, препятствующих измерению собственной частоты плотины, при этом существенное значение имеет гидростатическое давление водохранилища. Для правильной интерпретации собственной частоты необходимо стационарное наблюдение за геодинамическими процессами. На начальном этапе будут проведены измерения в разных частях плотины для измерения собственных колебаний (рис. 1).



Рисунок 1 – Вид на водохранилище Ахангарон и точки, измеренные сейсмометром Guralp 6TDE на плотине (2022 год)

Для измерения собственных колебаний плотины была проделана следующая работа.

Измерительный инструмент. Выбор мест для сейсмометрических измерений производился как на основе схемы Гиссаракской плотины и карты инженерно-геологического районирования ближней зоны Ахангаранской плотины [7]. Один комплект аппаратуры использовался в качестве опорной станции (на рис.1 обозначен как “station” измерительный пункт ПК9 в 0,2 км от основания плотины. По проведенным циклам измерений, так же как в [7] для сейсмометрических измерений на теле плотины использовались два комплекта нестационарных дополнительных сейсмических станций с трехкомпонентными сейсмометрами. Для измерения микросейсмических волн используется сейсмометр Guralp 6TDE. Это цифровой трехкомпонентный сейсмометр, который

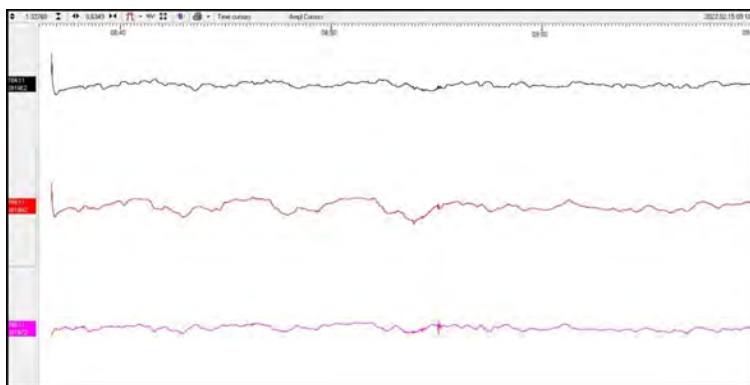
одновременно регистрирует север-юг, восток-запад и вертикальные части движения плотины (рис. 2).



Рисунок 2 – Сейсмометр Guralp 6TDE

Точки измерения определяются в зависимости от длины плотины. Измерения проводились в верхней и нижней части плотины. Измерения проводились в 8 точках на плотине. Расстояние между измерительными точками в верхней части плотины (пункт ПК-1, ПК-2, ПК-3, ПК-4, ПК-5, ПК-6, ПК-7, ПК-8) составляет 165 метров. Внизу (200 м от дамбы) замеры производились от точки ПК-9.

Сейсмометр ориентируют на север и приводят в горизонтальное положение. Продолжительность каждого измерения должна составлять 30 минут. С помощью сейсмометра измеряются 3 составляющие (x, y, z) сейсмической волны (рис. 3).



а



б

Рисунок 3 – Сейсмограмма (а) и пункт записи (б) сейсмометром Guralp 6TDE

Результаты и обсуждение. Полученная сейсмограмма показывает вибрацию скал плотины. Так как величина амплитуды очень мала ($A_0 \rightarrow 5-10$), то и частота колебаний волны будет небольшой. Для интерпретации сейсмограммы использовался метод Накамуры [5,6]. Объяснение природы отношения H/V , лежащего в основе большинства исследований, состоит в следующем: - микросейсмический шум состоит в основном из поверхностных волн (поэтому вертикальная составляющая соответствует в основном волне Релея); - Эллипс отношения H/V релейных волн) меняется с частотой f , соответствующей определенной глубине H исследования (рис.4). Метод Накамуры основан на получении отношения горизонтальной и вертикальной составляющих микросейсмических колебаний к спектру отношений H/V , которые аналогичны амплитудно-частотной характеристике для всей мощности относительно прерывистого геологического слоя наземного разреза. [7]. При обработке сейсмограммы удаляются различные мешающие волны (сейсмические шумы). Это помогает выделить параметры волны собственных колебаний (f, A_0) [3].

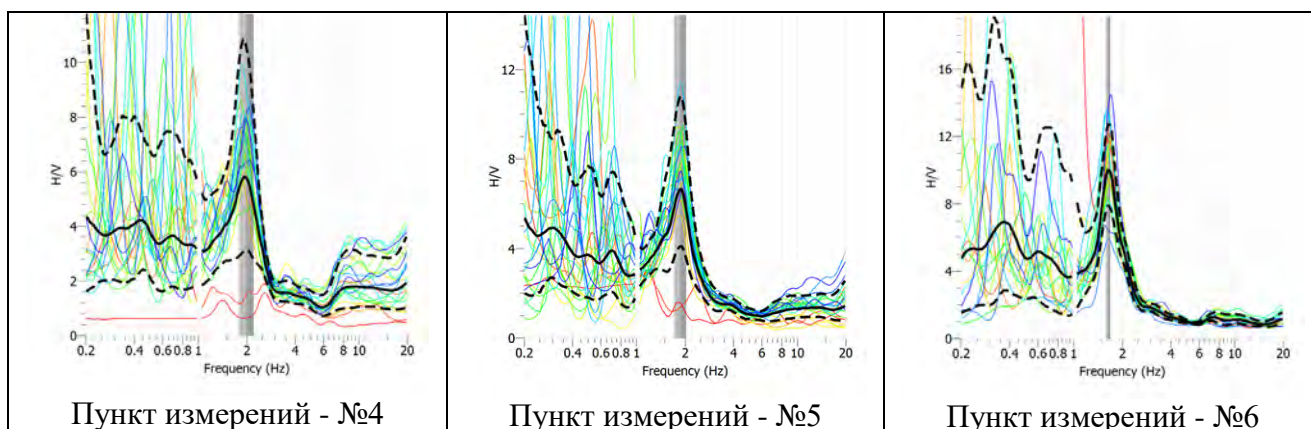


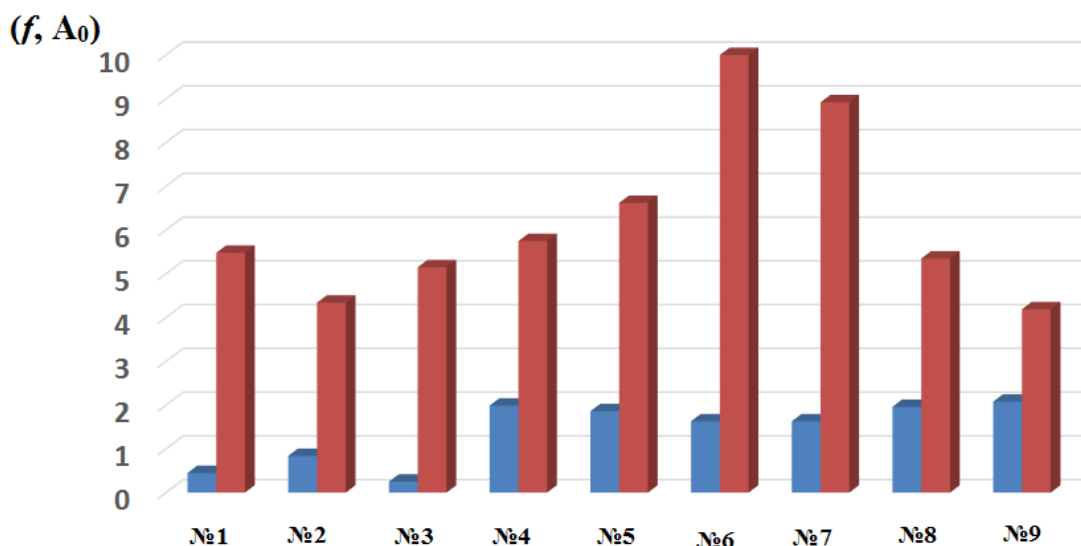
Рисунок 4 – Примеры изменения H/V в центральной части гребни плотины Ахангаранского водохранилища при разных частотах

На основании полученных результатов максимальная частота собственных колебаний и амплитуда колебаний плотины приведены в следующей таблице (табл. 1).

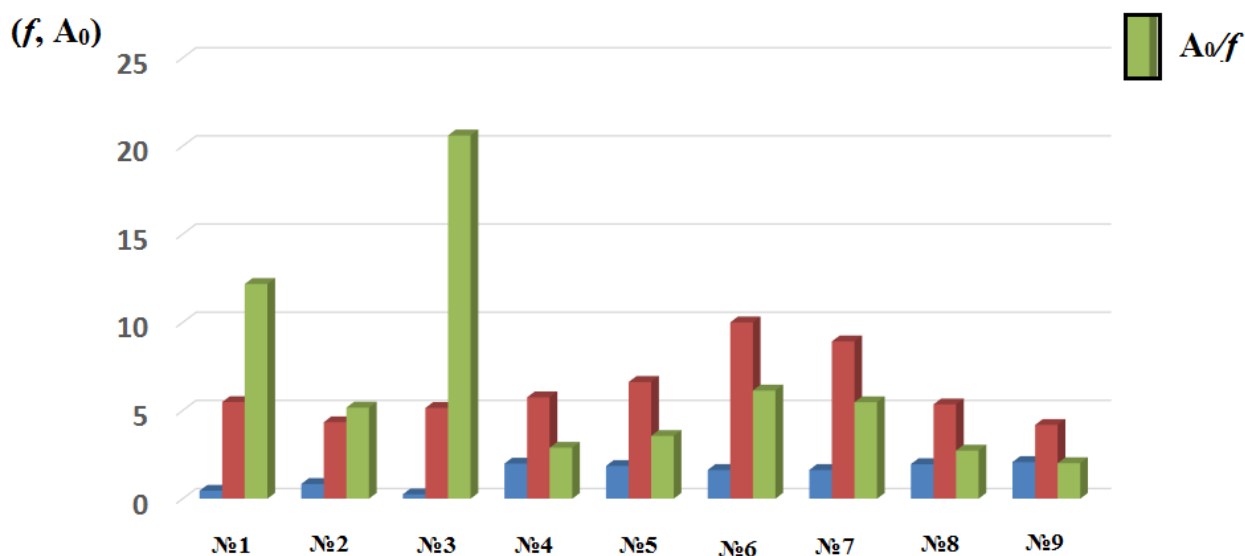
Таблица 1 – Максимальная частота собственных колебаний и амплитуда колебаний плотины

Измерительные пункты	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9
Частота	0.45	0.84	0.25	1.99	1.86	1.63	1.63	1.96	2.08
Амплитуда	5.48	4.34	5.15	5.75	6.62	10.0	8.92	5.35	4.19

Изменение значений амплитуды и частоты в точках измерения показано на следующей диаграмме (рис.5).



а



б

Рисунок 5 – Изменение значений амплитуды и частоты в точках измерения.
 а) - изменение амплитуды и частоты волны; б) - амплитуда и частота волны и их математическое отношение (относительно друг друга) изменение.

Для определения относительного изменения значения собственной частоты и амплитуды можно наблюдать соотношение изменений в каждой точке измерения, описывая их отношение (A_0/f) на диаграмме (рис. 5.б).

Как видно из этой диаграммы, в точках измерения ПК1 (0,45Гц; 5,48) и ПК3 (0,25Гц; 5,15) наблюдается резкое изменение отношений (изменение значений амплитуды и частоты относительно друг друга). Это резкое относительное изменение характеризуется резким изменением разности акустической жесткости неоднородных частей конструктивного состояния плотины по отношению к другим частям плотины.

Заключение. Используя взаимозависимость частоты собственных колебаний и амплитуды плотины, изменением их соотношения друг к другу удалось добиться контроля за конструктивным состоянием плотины. В пунктах ПК1, ПК3, расположенных в северной части плотины, наблюдалась более низкая частота собственных колебаний, чем в других пунктах. В этом случае скорость распространения микросейсмических волн в горных породах мала, а это означает, что волна движется в полых породах.

Литература

1. Константинов И.А. Динамика гидротехнических сооружений. Учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 2. Расчет плотин на сейсмические воздействия. Л.: Ленингр. политехн. ин-т. 1976. 196 с.
2. Золотухин Е.П., Кузьменко А.П. Система контроля динамических характеристик плотин гидроэлектростанций по микросейсмическим колебаниям // Проблемы информатики. 2009. № 3 (4). С. 24-33.
3. Плотникова Л.М., Карнаухова О.В. Геофизическая интерпретация переходных характеристик грунтовых плотин по данным натуральных наблюдений // Сейсмологические исследования. 1989. № 11. С. 57-63.
4. Саямова К.Д., Нуртаев Б.С. Исследование динамического поведения грунтовой плотины при сейсмических воздействиях // Геология и минеральные ресурсы. 1999. № 5. С. 43-49.
5. Хамидов Х.Л., Ибрагимов Ф.И., Ганиева Б.Р. Изменение кинематических параметров колебания плотины Гиссаракского водохранилища (Южный Узбекистан) // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Материалы докл. XIII Междунар. конф. молодых учёных и студентов, г. Бишкек, 28–30 апреля 2021 г. Бишкек. 2021. С. 288-295.
6. Nakamura, Y. A Method for Dynamic Characteristics Estimation of Subsurface using Microtremor on the Ground Surface, Quarterly Report of RTRI, Vol. 30, No. 1, pp. 25-33, 1989.
7. Хамидов Х.Л., Ганиева Б.Р., Хамидов Л.А., Ибрагимов Ф.И., Анварова С.Г. Кинематика колебания плотины Гиссаракской ГЭС // Доклады АН РУз. № 5. С. 42-47.
8. Хамидов Х.Л., Ибрагимов А.Х., Хамидов Л.А. Современное состояние и результаты сейсмического мониторинга на плотине и береговых склонах Чарвакского водохранилища // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. 2020. Т. 4. № 3. С. 287-296.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ИЗ НАКОПИТЕЛЯ СТОЧНЫХ ВОД СОРБУЛАК ГОРОДА АЛМАТЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ

Искандеров Р.Р.

r_u_s.tam@mail.ru

ТОО «Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина»,
Satbayev University, г. Алматы, Республика Казахстан

В статье приведены водохозяйственные расчеты для определения возможной водоотдачи водохранилища за многолетний период эксплуатации при заданном режиме и заданной надежности водообеспечения.

Результаты расчетов показывают принципиальную приемлемость существующей технологии использования накопителя в общей системе водоотведения сточных вод г. Алматы для приема стоков в зимний период года с последующим использованием их на орошение в вегетационный период. Расчеты показывают необходимость проведения в ближайшее время дополнительных исследований для пересмотра и утверждения величины нормального подпорного уровня (НПУ) на отметке = 622.00м.

В работе использована общепринятая методика расчета испарения с водной поверхности, адаптированная непосредственно к условиям водоема накопителя сточных вод Сорбулак. Батиметрические характеристики накопителя были получены и уточнены в процессе проведения комплексных исследований.

Ключевые слова: водохозяйственные расчеты, накопитель сточных вод, подземные воды, фильтрация

Город Алматы, входящий в число городов с более чем миллионным населением, для своей деятельности, как южной столицы, промышленного центра, пропускает через себя большое количество сточных вод, загрязненных и обогащенных различными элементами: органикой, химикатами, металлами, отходами нефтепродуктов, моющих средств и т.п. Количество стоков, в зависимости от времени года, часа суток и климатических условий, постоянно меняется и составляет от 3 до 8 м³/с. Годовой объем сточных вод г. Алматы, поступающих на очистные сооружения городской канализации (станцию аэрации) на протяжении многих лет (в связи с ростом города), возрастал, и достиг максимальных значений в 1990 г., когда на очистных сооружениях было очищено 213 млн.м³ стоков, что составило в среднем 583 тыс.м³ в сутки. На сегодня доля промышленных стоков, в связи с уменьшением объемов промышленного производства, резко уменьшилась и составляет около 8% от общего количества поступающих на очистку сточных вод. Общее же количество стоков от промышленных предприятий (включая и их хозяйственно-бытовые стоки) в общегородских сточных водах составляет немногим более 20%.

Отвод сточных вод г. Алматы предусмотрен в оз. Сорбулак с последующим использованием их для орошения.

Накопитель Сорбулак представляет естественную замкнутую котловину северо-западной г. Алматы, используемую для сбора, доочистки и хранения городских стоков (рисунок 1). После достижения предельного НПУ (~620 м) и прорыва на дамбе сопряженного накопителя Жаманкум (1988 г.) в 1995 г. для разгрузки Сорбулака были построены отводящий канал в р.Или (Правобережный Сорбулакский Канал) и несколько накопителей – водохранилищ, образованных в естественных понижениях местности в начальной части ПСК. Общая вместимость накопителей системы ПСК до 50 млн.м³.



Рисунок 1 – Обзорная карта района работ

В юго-западной и западной частях котловина Сорбулак не имеет высоких берегов. Здесь явно выражены два пониженных участка, один длиной 3,3 км, другой – 2,0 км. По этим участкам, вдоль накопителя (по западной его стороне) проходит автодорога Алматы-Караганда.

Плотины накопителя Сорбулак выполнены из супесчано-суглинистых грунтов с плотностью укладки 1,67 – 1,75 т/м³ и обладают высокой сейсмической устойчивостью. По содержанию водорастворимых солей, гипса и органических примесей, грунты отвечают требованиям, предъявляемым к связным грунтам, укладываемым в тело плотин. Отметка гребня плотин составляет 624,00 метра, максимальная высота 6 метров. Плотины по капитальности относятся к IV классу.

Накопитель принимает сточные воды после механической и искусственной биологической очистки, поступающие по отводящему каналу длиной 45 км. Расчетный расход поступления стоков по этому каналу составляет 12 м³/с.

В настоящее время поступление стоков в накопитель Сорбулак не превышает 4.6 м³/с. В последние годы из Сорбулакского накопителя орошается около 3.0 тыс.га, хотя возможности накопителя позволяют орошать не менее 13.0 тыс. га.

Накопитель имеет следующие параметры: длина - 13 км; ширина - 6 км; максимальная глубина - 30,6 м; поступление стоков среднее - 355.0 тыс. м³/сут (4.1 м³/с); отметка гребня дамб №1 и №2 - 624.0 м; максимальная высота дамб - 6.0 м.

Методика водохозяйственного расчета. Водобалансовый расчет производился в специально разработанной программе, которая позволяет моделировать работу водохранилища многолетнего регулирования по календарному ряду среднемесячных значений гидрометеорологических элементов стока весеннего половодья, осадков, испарения, фильтрации, поступления стоков из очистных сооружений и полезного водоотбора.

Расчет производится при условии варьирования горизонта воды в многолетнем разрезе от горизонта мертвого объема до нормального подпорного горизонта, причем обе эти величины хотя бы один раз достигаются в течение расчетного периода.

Состав исходной информации. Исходная информация прежде всего включает данные "испарение минус осадки", которые являются результатом предварительного расчета.

Затем была добавлена исходная информация по рядам среднемесячных значений: температуры воздуха; абсолютной влажности воздуха, мб; скорости ветра, м/с; общей облачности, балл; нижней облачности, балл; осадков, мм. Метеорологические данные приняты по метеостанции Аксенгер.

По расчетам фильтрационной устойчивости грунтов сооружений накопителя сточных вод Сорбулак для отметки уровня воды в накопителе минимальный подпорный горизонт - 622.0 м (площадь F_0 - 68.47 км²) потери из накопителя составляют: $W_{\text{ф0}}$ - 3426 м³/сут = 0.104 млн.м³/месяц.

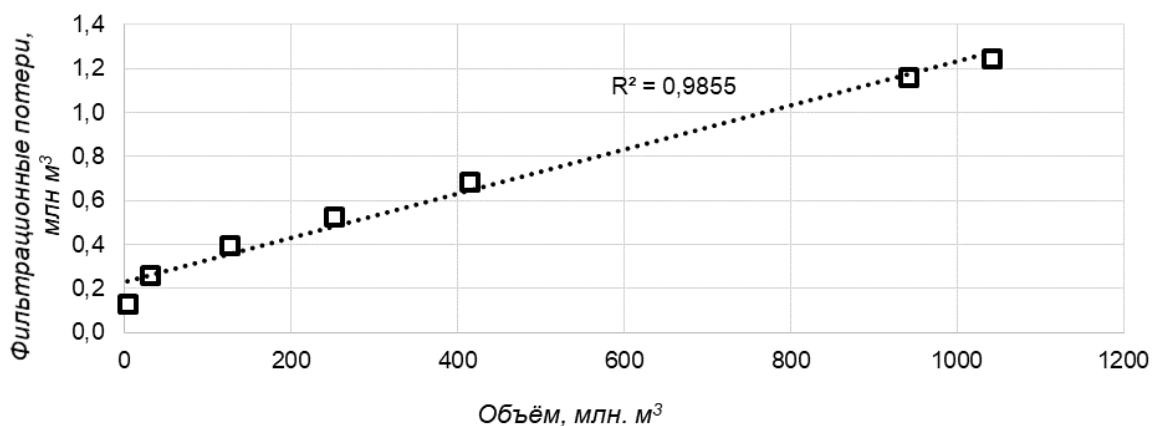


Рисунок 2 – Зависимость фильтрационных потерь от объема накопителя сточных вод

Считая величину среднемесячных потерь на фильтрацию линейной функцией (рисунок 2) от площади зеркала водохранилища, значения этих потерь в таблице определены по формуле: $W_{\text{фи}} = \frac{W_{\text{ф0}}}{F_0} * F_i = 0.00152 * F_i$ млн.м³/месяц.

Принятая в расчете величина потерь на фильтрацию в зависимости от батиметрических характеристик накопителя Сорбулак приведена на рисунке 3.

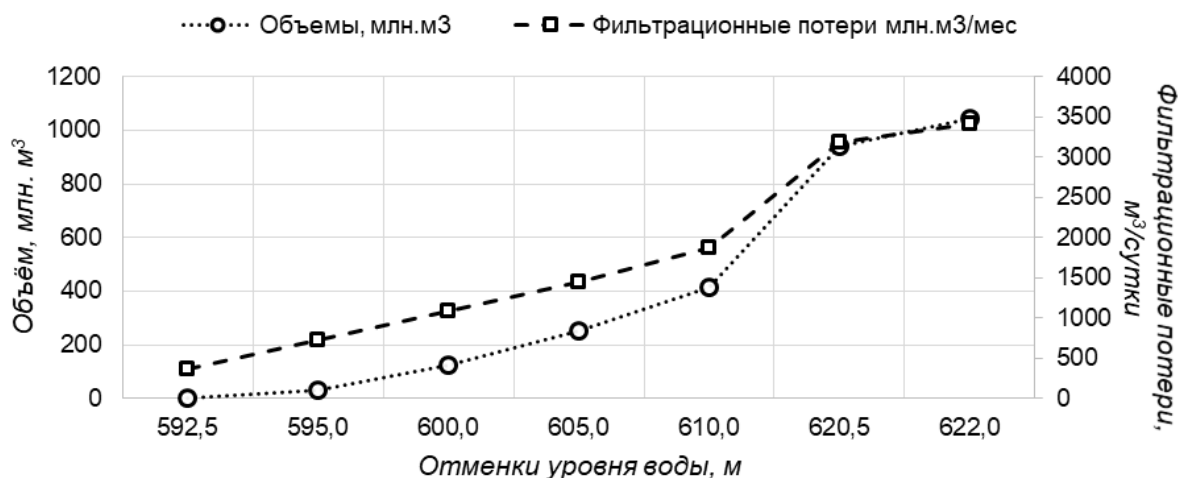


Рисунок 3 – График изменения объема накопителя и величины фильтрационных потерь при изменении уровня

Анализ результатов водобалансовых расчетов

Реконструкция системы водоотведения стоков г. Алматы в первую очередь должна восполнить недостающие площади орошаемых земель до проектных значений.

Реконструкция системы водоотведения стоков г. Алматы в первую очередь должна восполнить недостающие площади орошаемых земель до проектных значений.

Использование накопителя в режиме испарителя принятых стоков не только расточительно и неприемлемо с экологической точки зрения, но вполне может привести систему отвода стоков г. Алматы в опасное и нерабочее состояние.

Кроме того, расчеты убедительно показали необходимость в ближайшее время рассмотрение, дополнительного исследования и утверждения вопроса о назначении нормального подпорного горизонта на отметке 622.00 м.

Это решение, без дополнительных материальных затрат, более, чем вдвое увеличит аккумулирующую способность накопителя, не отразится на прочности, устойчивости, надежности и ответственности напорных сооружений накопителя Сорбулак и закроет вопрос о сбросе сточных вод в р. Или.

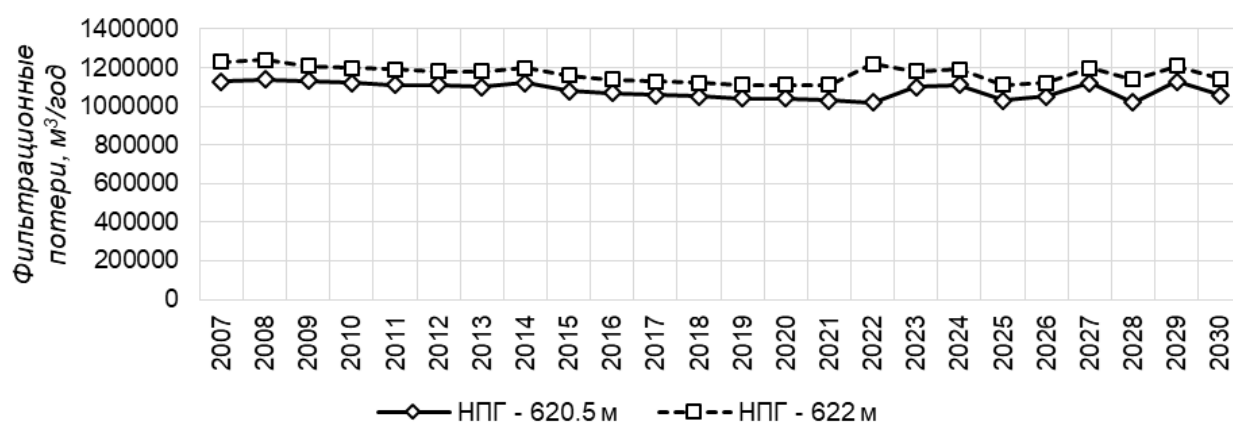


Рисунок 4 – График изменения фильтрационных потерь из накопителя Сорбулак за период 2007–2030 гг. при различных нормального подпорного горизонта

Выводы

Аналитическими методами с привлечением приемов математической статистики оценен вклад процесса фильтрации в водный баланс накопителей сточных вод прудов и водохранилищ. По результатам расчетов дан прогноз развития процесса фильтрации на длительный период. Со временем вклад фильтрационной составляющей в водный баланс накопителей остается практически постоянным и является линейной функцией площади водоемов. Выполнены два варианта водобалансовых расчетов:

- первый - соответствующий прогнозу увеличения объемов водоотведения, предложенный эксплуатирующей организацией при сохранении существующей отметки нормального подпорного горизонта - 620.50 м;
- второй - соответствующий определению полной аккумулирующей способности накопителя Сорбулак при возможном безопасном и надежном решении о назначении нормального подпорного горизонта - 622.00 м, что отвечает по всем параметрам конструктивных решений напорных сооружений требованиям нормативных документов Республики Казахстан.

Оба варианта исследованы на математической модели заданной технологии работы накопителя с учетом оценки фильтрационных потерь и их прогноза до 2030 года - период по среднемесячным значениям всех рассматриваемых величин, что дает достаточную точность и надежность водохозяйственного расчета.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТАБЛИЦЫ 1.1 НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА КМК-2.01.03.96 «СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ»

Исмаилов В.А.¹, Хусомиддинов А.С.^{1,2}, Тешаева Р.Б.¹, Турдиева М.³
ahrorhs1980@mail.ru

¹ Институт сейсмологии Академия наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Ташкентский государственный транспортный университет,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

³ Ташкентский Государственный технический университет,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

В статье рассмотрены результаты инженерно-геологических, макросейсмических и геофизических исследований для оценки влияния грунтовых условий на параметры сейсмической интенсивности, и на их основе разработать новую версию классификации грунтов по сейсмическим свойствам. Существующие «Правила строительных норм 2.01.03-96» (табл.1.1) в качестве нормы классификация имеют ряд недостатков, связанных с погрешностью входных параметров свойств грунтов, не корректностью при определении баллов и недоучетом внешней среды, влияющей на балльность и т.д. Учитывая имеющиеся недостатки, в статье предлагается новая версия классификации грунтов по сейсмическим свойствам. Разработанная классификация грунтов базируется на большом количестве фактических материалов по территории республики. Достоинством усовершенствованной классификации, в отличии от имеющейся таблицы КМК 2.01.03-96, является то, что она расширена в диапазоне выделения типов грунтов, который позволяет более детально оценивать категорию грунта и приращение сейсмической интенсивности в пределах строительных площадок.

Ключевые слова: классификации грунтов, сейсмические свойства, сейсмические колебания, макросейсмические исследования, корреляционный анализ, дисперсный грунт, повреждения зданий, инженерно-геологические условия.

В целях развития сферы сейсмологии, обеспечение сейсмостойкости сооружений и сейсмической безопасности на основе мировых стандартов Президентом Республики Узбекистан принят Постановление от 30.07.2020 года №ПП-4794 «О мерах по коренному совершенствованию системы обеспечения сейсмической безопасности населения и территорий Республики Узбекистан». В данном постановлении особое внимание уделено совершенствованию научных разработок в области обеспечения сейсмической безопасности территории республики. Согласно пункту 23 приложения 1 данного постановления Институту сейсмологии Академии наук РУз поручено в 2021-2022 год разработать и реализовать проект на тему: «Определение категорий грунтов по сейсмическим свойствам для изменения таблицы 1.1 сейсмологической части нормативного акта КМК-2.01.03-96» «Строительство в сейсмических районах».

Изучения последствий сильных землетрясений, произошедших не только на территории Узбекистана и других соседних государствах, такие как Ташкентское (1966, 2008 гг.), Газлийские (1976, 1984 гг.), Назарбекское (1980 г.), Папское (1984 г.), Кайраккумское (1985 г.), Избасканское (1992 г.), Канское (2011 г.), Марджанбулакское (2013 г.) и др. позволили достаточно надежно установить, что сейсмическая интенсивность и, как следствия, разрушения здания и сооружения, в общем случае на слабых грунтах имеют более высокие значения, чем на территориях с плотными грунтами. В соответствии с этим в строительных нормах Узбекистана «Строительство в сейсмических районах» КМК 2.01.03-

96 для оценки расчетной сейсмичности территории рекомендуется использовать таблицу 1.1 (КМК 2.01.03-96, 1996. - стр. 5-8) [1], где вся совокупность грунтов разделена на три категории, которые влияют на изменение исходной сейсмической интенсивности соответственно на -1,0 (уменьшая интенсивность); 0 и +1,0 (повышая интенсивность) балл. Практическая ценность рассматриваемой таблицы заключается в том, что данная таблица при отсутствии карт сейсмического микрорайонирования позволяет проектировщикам и строителям определять сейсмические нагрузки на здания и сооружения.

Мировой [2] практике также используется классификация грунтов по сейсмическим свойствам. Так в Европе применяется Еврокод 8 (European Committee for Standardization (CEN). Eurocode 8, 2004) [3], где выделены шесть категории грунтов по сейсмическим свойствам, в США используется более дробная классификация с восемью категориями грунтов DSSC (Building Seismic Safety Council, 2003) [4], а в КНР и Республике Казахстан обходятся с четырьмя категориями и в СНГ используется классификация с тремя категориями грунтов по сейсмическим свойствам. При выделении категории грунтов принимаются разные показатели: в DSSC скорость поперечных волн верхней 30 м толщи и сопротивление прочности стандартному пенетрометру и сдвиговая прочность, в Eurocode 8 – скорость поперечных волн и грунтовые коэффициенты, в СП 14.13330.2014 (2014) скорость поперечных волн и отношение скорости продольных волн к поперечным волнам [5].

За истекший период практического использования нормативного документа изыскательскими и проектными организациями выявили ряд недоучетов и несоответствие с принятыми в последние годы стандартами и уровнем развития научных разработок. Все это в конечном итоге приводит в одних случаях необоснованное к занижению проектной стоимости зданий и сооружений, в других повышению. В частности, в примечание 1 к табл. 1.1. КМК 2.01.03-96 указывается определять расчетную сейсмичность площадки строительства на территории просадочных лессовых грунтов в зависимости от мероприятий по улучшению свойств грунтов. К сожалению данный пункт в практике проектировании не применяется. Хотя антипросадочные мероприятия с одной стороны улучшают сейсмическую устойчивость грунтов, и с другой снижает уровень сейсмической интенсивности до 1 балла, в результате снижаются затраты на строительства до 9-11%.

При реализации основной задачей является выявления признаков, характеризующие грунтовые условия. В предыдущей классификации грунтов по сейсмическим свойствам табл. 1.1. КМК 2.01.03-96 основными показателями были приняты, такие показатели инженерно-геологических свойств как предел прочности на одноосное сжатие, степень влажности, коэффициент пористости, показатель консистенции и для некоторых грунтов модуль деформации. Из геофизических показателей свойств грунтов только скорости распространения продольных и поперечных волн, что явно недостаточен для определение сейсмичности площадки. Кроме того в 2011 году принят Межгосударственный Стандарт (ГОСТ 25100-2011) “Грунты Классификация” [6], где грунты упорядочены по новой технологии. Учет этого стандарта в целом меняет содержание табл. 1.1. КМК 2.01.03-96.

В современном уровне научных достижений, используемая на протяжении более 20 лет в качестве нормативного документа классификация показала не совершенность при определении расчетной сейсмичности строительных площадок [2].

Учитывая вышеприведенные недостатки существующей классификации, и обобщая многолетние инженерно-сейсмологические данных с сопоставлением последствий сильных землетрясений предлагается (табл.1) усовершенствованная квалификация грунтов по сейсмическим свойствам. Предлагаемая квалификация разработана на основе учета класса ответственности инженерных сооружений и особого подхода в разграничении типов грунтов.

Таблица 1 – Усовершенствованная классификация грунтов по сейсмическим свойствам (для определения расчетной сейсмичности площадки строительства)

№ пп	ГРУНТЫ	СЕЙСМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА		РАСЧЕТНАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ ПЛОЩАДКИ ПРИ СЕЙСМИЧНОСТИ РАЙОНА (по карте ОСР) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КАТЕГОРИИ ГРУНТА, балл															
		Скорость поперечных волн, V_s , км/с	Сейсмическая жесткость ($V_s^2 \rho$)	I-II КЛАСС ОТВЕТСТВЕННОСТИ				III-IV КЛАСС ОТВЕТСТВЕННОСТИ				V- КЛАСС ОТВЕТСТВЕННОСТИ							
				Категория грунта	6	7	8	9	Категория грунта	6	7	8	9	Категория грунта	6	7	8	9	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
СКАЛЬНЫЕ ГРУНТЫ:																			
1	Не выветрелые и слабо выветрелые скальные - (предел прочности на одноосное сжатие $R_c > 50$ МПа)	1,4-2,3	2,45-5,61	I	-	-	7	8	I	-	-	7	8	I	-	-	7	8	
2	Выветрелые скальные - (предел прочности на одноосное сжатие $15 < R_c \leq 50$ МПа). Мощность выветрившей толщи до 5 метров	1,1-1,4	1,67-2,10											I	-	-	7	8	
3	Выветрелые и сильновыветрелые с пределом прочности на одноосное сжатие $R_c \leq 15$ МПа). Мощность выветрившей толщи более 5 метров. Алевриты, каменные лессы, мергели и др.	0,9-1,1	1,20-1,85	II	6	7	8	9	II	6	7	8	9						
КРУШНООБЛОМОЧНЫЕ ГРУНТЫ																			
1	Валуново-галечниковые с песчаным заполнителем до 30%, плотные, водонасыщенные	0,9-1,4	1,95-2,75	I	-	-	7	8	I	-	-	7	8	I	-	-	7	8	
2	Галечниковые, гравийные, (щебнистые, дресвяные) песчано-глинистым заполнителем с содержанием до 30%, влажные	0,6-0,90	1,45-2,00	II	6	7	8	9											
3	Галечниковые, гравийные, (щебнистые, дресвяные) песчано-глинистым заполнителем с содержанием более 30%	0,4-0,6	0,80-1,20						II	6	7	8	9						
ПЕСЧАНЫЕ ГРУНТЫ																			
1	Пески гравелистые крупные и средней крупности с коэффициентом пористости $e < 0,5$, маловлажные, со степенью влажности $Sr \leq 0,5$, плотные	0,50-0,70	0,85-1,35	II	6	7	8	9	II	6	7	8	9	I	-	-	7	8	
2	Пески мелкие и пылеватые с коэффициентом пористости $e < 0,5$, и при $Sr \leq 0,5$, плотные и средней плотности.	0,40-0,60	0,70-1,15						II	6	7	8	9						
3	Пески гравелистые, крупные и средней крупности с коэффициентом пористости $e = 0,5-0,7$ и степенью влажности $Sr \leq 0,5$; средней плотности	0,30-0,40	0,52-0,80	III	7	8	9	9*						II	6	7	8	9	
4	Пески мелкие и пылеватые с коэффициентом пористости $e = 0,5-0,7$, маловлажные ($Sr \leq 0,5$), средней плотности	0,25-0,35	0,43-0,70						II	6	7	8	9						
5	Пески гравелистые, крупные и средней крупности с коэффициентом пористости $e < 0,7$ и степенью влажности $0,5 < Sr \leq 0,8$, средней плотности	0,30-0,35	0,50-0,65	III	7	8	9	9*						II	6	7	8	9	
6	Пески мелкие и пылеватые с коэффициентом пористости $e < 0,7$, со степенью влажности $0,5 < Sr \leq 0,8$ средней плотности.	0,20-0,30	0,35-0,55						III	7	8	9	9*						
7	Пески гравелистые, крупные и средней крупности с коэффициентом пористости $e > 0,7$, при степени влажности $Sr > 0,8$; рыхлые	0,20-0,30	0,25-0,40	IV	7*	8*	9*	-						III	7	8	9	9*	
8	Пески мелкие и пылеватые с коэффициентом пористости $e > 0,7$, при степени влажности $Sr > 0,8$, рыхлые	0,10-0,20	0,15-0,25																

Таблица 1 – Продолжение

ГЛИНИСТЫЕ ГРУНТЫ																		
1	Глины плотные (неогеновые, палеогеновые сухие) с $I_L \leq 0$	0,40-0,70	0,65 – 1,20															
2	Лессовые грунты (в том числе лессовидные суглинки, и супеси) с коэффициентом пористости $e < 0,8$ при консистенции $I_L \leq 0,5$	0,40 – 0,65	0,60 – 1,00	II	6	7	8	9	II	6	7	8	9	I	-	-	7	8
3	Лессовые грунты (в том числе лессовидные суглинки, супеси и глины) с коэффициентом пористости $e = 0,8-1,0$ при консистенции $I_L \leq 0,5$	0,25-0,45	0,45 – 0,70	III	7	8	9	9*	II	6	7	8	9					
4	Лессовые грунты (в том числе лессовидные суглинки, супеси и глины) с коэффициентом пористости $e \leq 0,8$ при консистенции $I_L = 0,5 - 1,0$	0,20 – 0,35	0,35 – 0,55											II	6	7	8	9
5	Лессовые грунты (в том числе лессовидные суглинки, супеси и глины) с коэффициентом пористости $e = 0,8-1,0$ при консистенции $I_L = 0,5 - 1,0$	0,15 – 0,28	0,20 – 0,40	IV	7*	8*	9*	-	III	7	8	9	9*					
6	Лессовые грунты (в том числе лессовидные суглинки, супеси и глины) показателем консистенции $I_L > 1$ независимо от e	0,10 – 0,25	0,16 – 0,35						IV	7*	8*	9*	-	III	7	8	9	9*
НАСЫПНЫЕ ГРУНТЫ																		
1	Слежавшиеся песчано-глинистые перетолженные грунты со степенью влажности $S_r \leq 0,5$ с пористостью $e \leq 0,9$ и включениями менее 30%	0,30-0,45	0,45 – 0,65	III	7	8	9	9*						III	7	8	9	9*
2	Тоже самые со степенью влажности $S_r > 0,5$	0,25-0,40	0,32 – 0,60	IV	7*	8*	9*	-						III	7	8	9	9*

Разработанная классификация дисперсных грунтов по сейсмическим свойствам является основной грунтов для прогнозирования сейсмического эффекта, так как при разработке были использованы многолетние исследования по сейсмическому микрорайонированию территории городов, макросейсмические изучения последствий сильных и разрушительных землетрясений и теоретические расчеты. Оперативность ее в прогнозирования заключается в том, что, зная инженерно-геологический разрез площадки можно определить расчетную сейсмичность, без проведения дорогостоящих инструментальных исследований.

Литература

1. КМК 2.01.03-96 Строительство в сейсмических районах. Издание официальное. Комитет Республики Узбекистан по архитектуре и строительству. Ташкент. 1996. 103 с.
2. Исмоилов В.А., Исламова Н.Ф., Тешаева Р.Б. О новой версии классификации грунтов по сейсмическим свойствам // Наука и инновационное развитие. 2019. № 6. С. 58-68.
3. European Committee for Standardization (CEN). Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. EN 1998. Brussels, 2004. 229 p.
4. BSSC (Building Seismic Safety Council). NEHRP recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, 2000 Editor, Part 1: Provisions, prepared by the Building Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency (Report FEMA 386), Washington, D.C. 2001. 356 p.
5. СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. М. 2014. 68 с.
6. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. М.: Стандартиформ. 2013. 39 с.

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТ СТОЯЧИХ ВОЛН ЗДАНИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ

Коковкин И.В., Громыко П.В.

Titanoks1@yandex.ru, GromykoPV@mail.ru

Сейсмологический филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук», г. Новосибирск, Россия

Работа посвящена развитию пассивных методов сейсмического мониторинга зданий и сооружений, и направлена на оценку их техногенного воздействия на грунты. В работе представлены результаты наблюдений частот собственных колебаний нескольких домов, расположенных в новосибирском Академгородке. В процессе наблюдений выявлено влияние на них внешней температуры. Наибольшее изменение частоты собственных колебаний зданий происходит в летнее время, при температурах более 30 градусов С, когда появляется большой контраст между дневной и ночной температурами. Рост температуры окружающей среды приводит к увеличению значений частоты собственных колебаний, а снижение температуры к уменьшению значений.

Ключевые слова: частота собственных колебаний, мониторинг зданий, температурное воздействие.

Введение. Изменения состояния целостности сооружения (появление трещин, ослабленных зон, смена напряженно-деформированного состояния и т.д.), приводят к изменению динамических параметров сооружения, в том числе к изменению значений его собственных частот. В СЕФ ФИЦ ЕГС РАН был разработан способ непрерывного мониторинга физического состояния сооружений [1], в результате применения которого на изучаемых объектах были выделены сезонные изменения частот собственных колебаний Саяно-Шушенской и Бурейской ГЭС [2;3;4]. Данный способ позволяет определять значения собственных частот сооружений, используя записи непрерывно регистрирующей сейсмостанции. В случае обнаружения значительных их отклонений от первоначальных значений необходимо искать причины изменения динамического состояния сооружения.

В данном исследовании будут показаны результаты мониторинга в рамках инфраструктуры города Новосибирска.

Аппаратура и методика проведения исследований. Основная задача исследования мониторинг и анализ динамических характеристик собственных колебаний зданий, расположенных в городе Новосибирске. Исследуемые объекты представляют собой многоэтажные здания, на верхних этажах которых установлены пункты наблюдения (рис. 1). Каждый пункт наблюдения состоит из трехкомпонентного сейсмоприемника (датчик скорости GD-4.5, GD-10) и автономного сейсмического регистратора («Байкал-7», «Байкал-8»).

Регистраторы устанавливаются в точках измерений, в непосредственной близости от сейсмических датчиков. Запись производится в непрерывном режиме с постоянной передачей данных на сервер СЕФ ФИЦ ЕГС РАН или старт-стопном режимах (по таймеру или критериям).

Направления осей трехкомпонентных сейсмоприемников следующие: X – направлены вдоль узкой части сооружения, Y – вдоль длинной части сооружений, Z - вертикально.

Для обработки зарегистрированных данных использован метод построения спектрограмм, разработанный в СЕФ ФИЦ ЕГС РАН. Данный метод позволяет преобразовывать запись сейсмических трасс в спектрограммы, которые позволяют определять, как меняется амплитудно-частотный состав записи с течением времени, и

выделять из всей записи источник определенной частоты (пример спектрограммы изображен на рис. 2). Для получения количественных оценок, строятся графики изменения амплитуд колебаний на фиксированных частотах по формуле:

$$A(\omega, t) = \frac{1}{T} \left| \int_{t-T/2}^{t+T/2} f(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau \right|, \quad (1)$$

где $f(\tau)$ – зарегистрированный сейсмический сигнал, ω – частота, для которой строится график, t – текущее время, T – интервал времени (окно), в котором определяется амплитуда (в нашем случае окно $T = 100$ с, шаг окна 100 с).

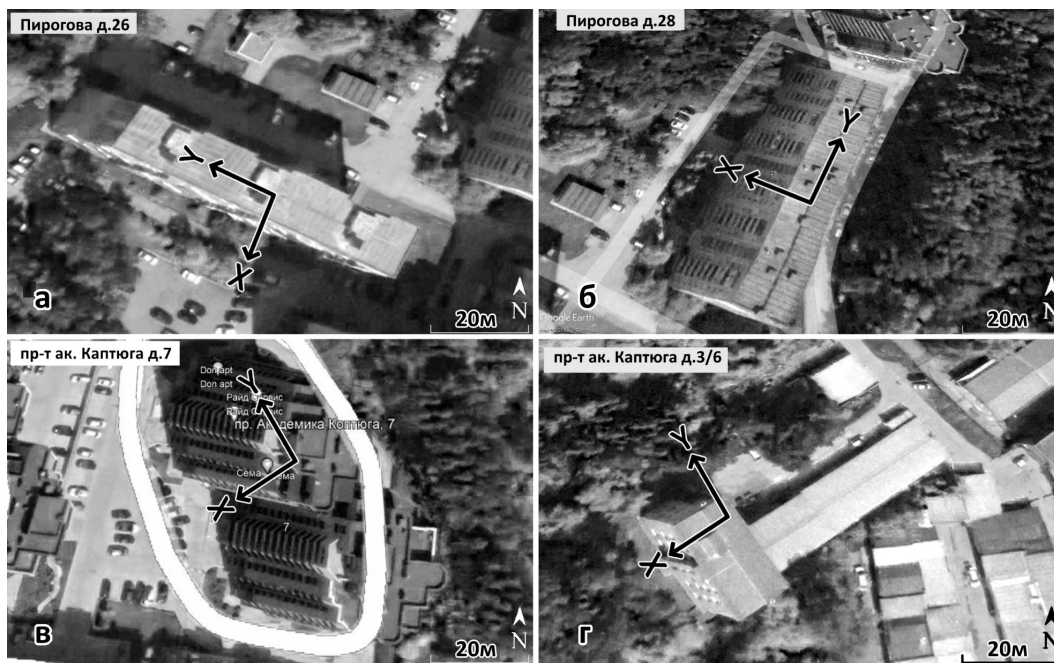


Рисунок 1 – Расположение пунктов наблюдений и их ориентация, г. Новосибирск ул. Пирогова д. 22 (а), ул. Пирогова д. 28 (б), проспект академика Коптюга д. 7 (в), проспект академика Коптюга д. 3/6 (г)

Результаты обследования здания. Ранее было проведено исследование здания по адресу ул. Пирогова 28 методом стоячих волн [1,5], результатом которого стало определение частот его собственных колебаний. В направлении X (поперек здания) в колебаниях объекта выделяются 4 собственных частоты, отвечающих по порядку с 1-й по 4-ю формам колебаний конструкции (Гц): 1.91; 2.10; 3.19; 5.93, в направлении Y (вдоль здания) в колебаниях здания выделяются 2 собственные частоты: 2.50 Гц и 7.25 Гц.

На рис. 2 представлены результаты обработки данных, зарегистрированных в верхней части жилого 10-ти этажного дома по адресу ул. Пирогова, д. 28, в зимний (с 01.02.2021 по 14.02.2021) и летний (с 29.05.2021 по 09.06.2021) периоды. Видно, что с течением времени значения собственных частот сооружения меняются, причем в летний период данные изменения наиболее заметны. Если изменение частоты в зимний период, как вариант, можно связать с присоединённой массой снега, аналогично [1,3,4], то в летний период этот фактор исключается.

На рис. 3.а приведены усредненные спектры X-компонент записи, зарегистрированной на пункте наблюдения, в период с 29.05.2021 по 09.06.2021. На рисунке хорошо видны изменения первых трех мод с течением времени. Значения частот этих мод из усредненных спектров, для наглядности, нанесены на спектрограмму, где видна их полная корреляция (рис. 3.б).

Полученные изменения значений собственных частот сравнивались с изменением температуры в данный период времени. Данные о температуре получены с метеостанции, установленной в сооружении Института ядерной физики имени Г.И. Будкера СО РАН. В результате данного сравнения можно однозначно утверждать, что температура среды

значительно влияет на изменение значений частот собственных колебаний. Причем рост температуры окружающей среды приводит к увеличению значений частоты собственных колебаний, а снижение температуры к уменьшению значений.

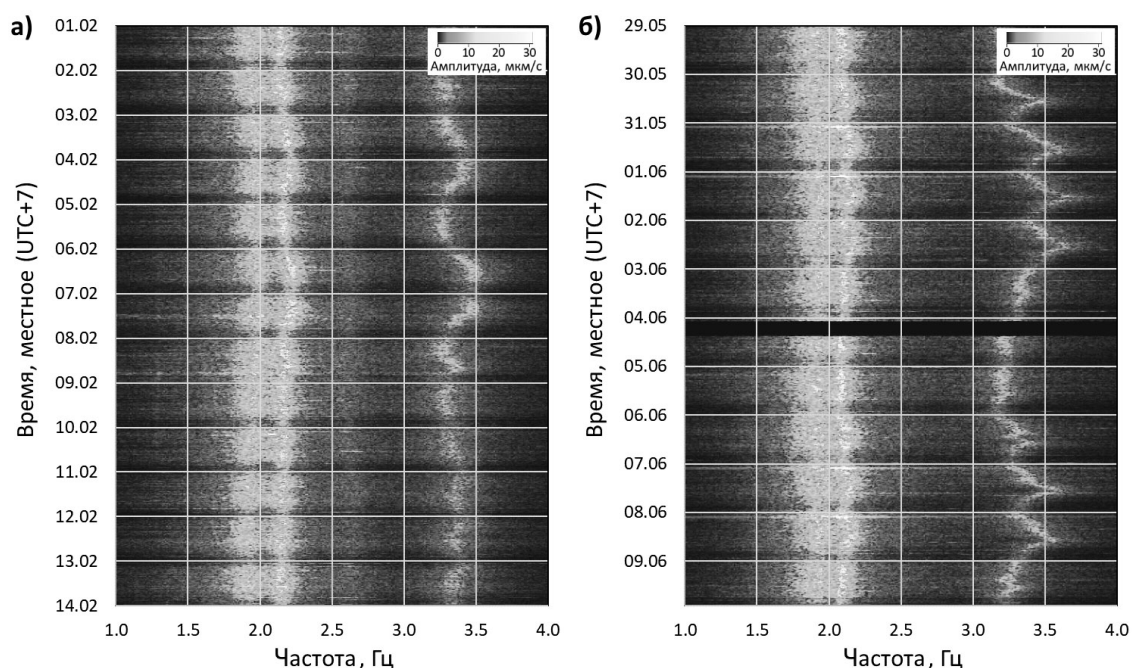


Рисунок 2 – Спектрограммы X-компонент записей, зарегистрированных на пункте наблюдений в верхней части жилого 10-ти этажного дома по адресу ул. Пирогова д. 28 в зимний (с 01.02.2021 по 14.02.2021) (а) и летний (с 29.05.2021 по 09.06.2021) (б) периоды

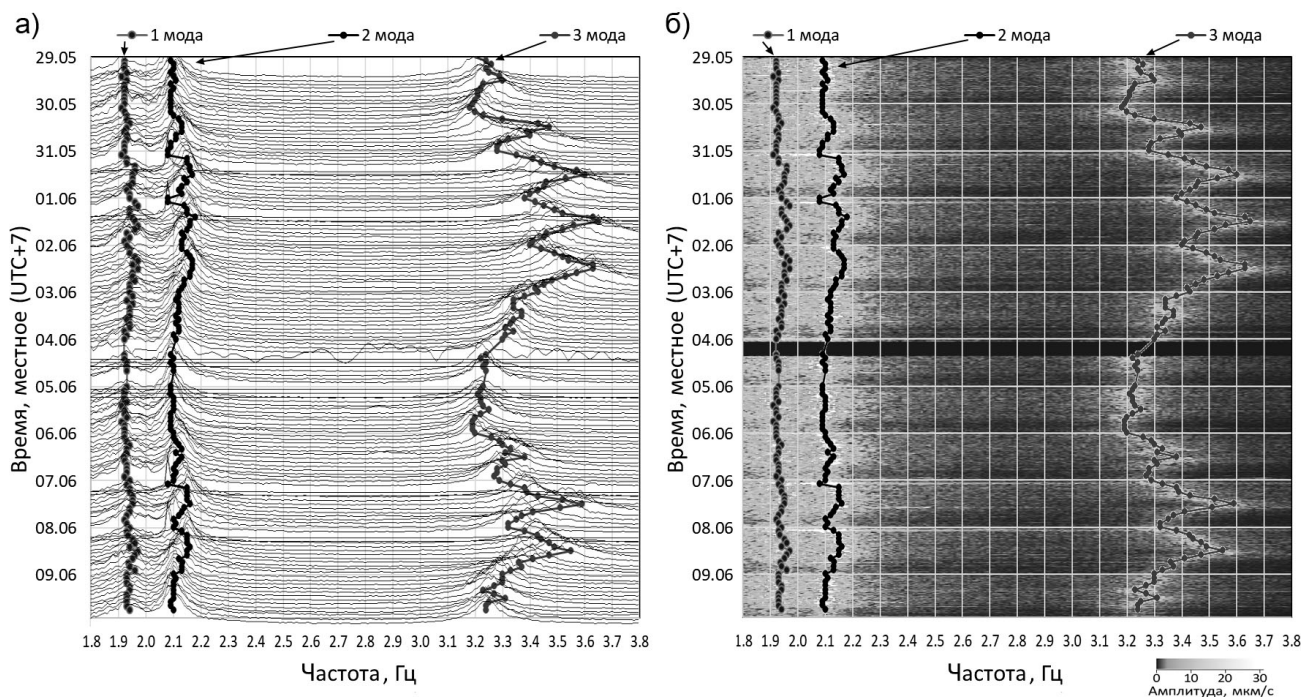


Рисунок 3 – Усредненные спектры (а), спектрограмма (б) и изменение собственных частот X-компонент колебаний с записей, зарегистрированных на пункте наблюдений в верхней части жилого 10-ти этажного дома по адресу ул. Пирогова д. 28 в летний период (с 29.05.2021 по 09.06.2021)

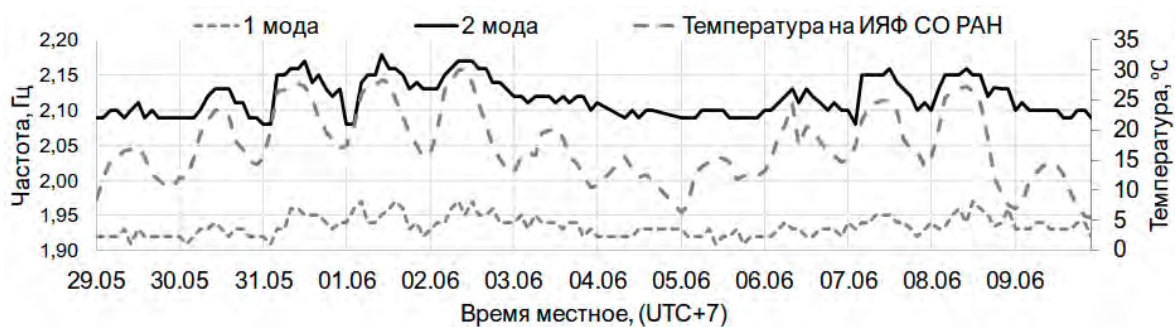


Рисунок 4 – Изменение температуры и значений 1 и 2 мод собственных частот Х-компонент колебаний с записей, зарегистрированных на пункте наблюдений, в верхней части жилого 10-ти этажного дома по адресу ул. Пирогова д. 28 в летний период (с 29.05.2021 по 09.06.2021)

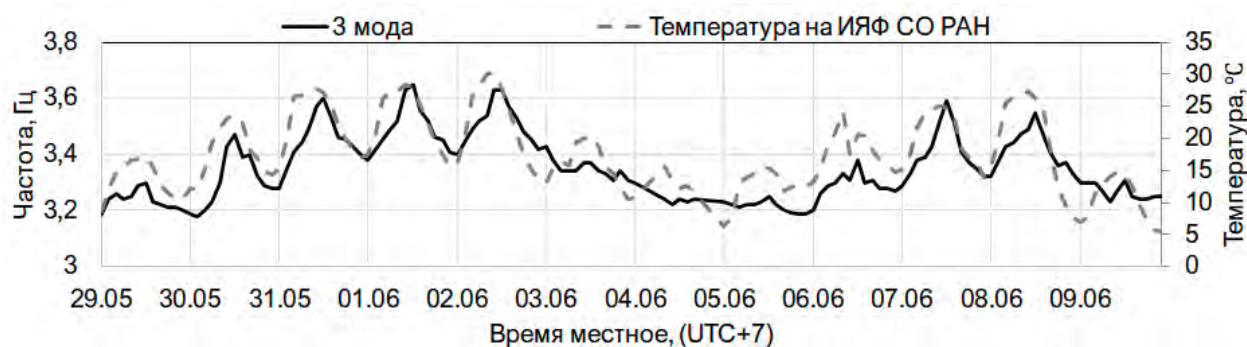


Рисунок 5 – Изменение температуры и значений 3 моды собственных частот Х-компонент колебаний с записей, зарегистрированных на пункте наблюдений, в верхней части жилого 10-ти этажного дома по адресу ул. Пирогова д. 28 в летний период (с 29.05.2021 по 09.06.2021)

Вышеописанный анализ был проведен для всех исследованных сооружений.

В период с 03.09.2021 по 20.09.2021 работали только 3 пункта наблюдений (сбой работы регистратора в доме на ул. Пирогова, д. 28), расположенные в 10-ти этажном жилом доме на ул. Пирогова, д. 22, в 16-этажном жилом доме на пр-те Ак. Коптюга, д. 7, и в 4-х этажном производственном сооружении на проспекте Ак. Коптюга, д. 3/6 (рис. 6).



Рисунок 6 – Расположение пунктов наблюдений в период с 03.09.2021 по 20.09.2021

На рис. 7 представлены спектрограммы и графики изменения температуры для 3-х пунктов наблюдений. Следует заметить, что для данных объектов обследования методом стоячих волн не проводились. Ввиду этого, трудно сказать к какому типу собственных колебаний (продольные/поперечные) относятся данные колебания, но предварительно (до проведения обследования методом стоячих волн), мы предполагаем, что данные частоты отвечают 3-м модам собственных колебаний. Тем не менее, на рисунках хорошо видно, что по показаниям для всех типов домов прослеживается корреляция изменений значений данных частот собственных колебаний с температурой окружающей среды.

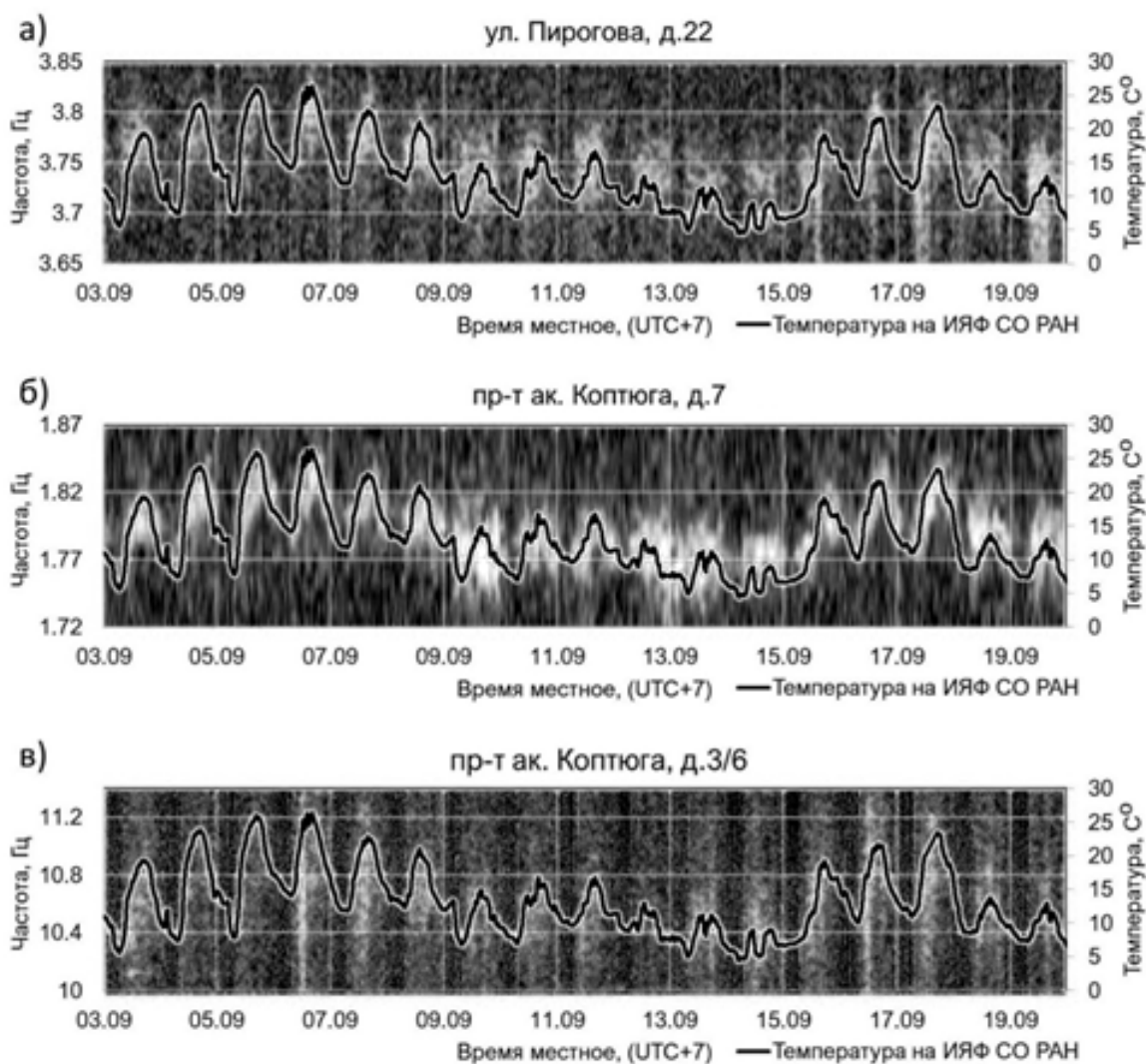


Рисунок 7 – Изменение температуры и значений 3 моды собственных частот X-компонент колебаний с записей, зарегистрированных на пунктах наблюдений в верхней части 10-этажного дома (а), 16-этажного дома (б), 4-этажного сооружения (в) в осенний период (с 03.09.2021 по 20.09.2021)

Выводы. В итоге наиболее хорошая корреляция наблюдается на пункте наблюдений на 16-этажном жилом доме на проспекте Ак. Коптюга, д. 7, и наиболее плохая в 4-этажном производственном сооружении на проспекте Ак. Коптюга, д. 3/6 (рис. 7). Таким образом высотные здания сильнее подвержены влиянию температуры, но это утверждение требует проведения дополнительных исследований и набора статистических данных. Тем не менее, по полученным результатам анализа данных с различных типов домов в различные временные периоды, можно утверждать, что изменение температуры окружающей среды приводит к изменению значения собственных частот колебаний. Причем рост температуры окружающей

среды приводит к увеличению значений частоты собственных колебаний, а снижение температуры к уменьшению значений.

Литература

1. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Брыксин А.А. Способ непрерывного мониторинга физического состояния зданий и/или сооружений и устройство для его осуществления // Изобретения (патенты). 2012. № 26 (II ч.). С.364-365. - Пат. 2461847 RU. - МПК G01V1/28, G01M7/02.
2. Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Кречетов Д.В. О мониторинге технического состояния плотины Саяно-Шушенской ГЭС по изменениям ее собственных частот // Гидроэнергетика. Гидротехника. Новые разработки и технологии. Десятая науч.-техн. конф. Приложение на CD-диске: доклады и выступления на секциях конференции. (г. Санкт-Петербург. 20-22 окт. 2016 г.). СПб. 2017. С. 55-60.
3. Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Адилов З.А., Кречетов Д.В. Мониторинг состояния плотин гидроэлектростанций на основе анализа изменений собственных частот // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Тр. Седьмой науч.-техн. конф. (г. Петропавловск-Камчатский, 29 сент.-5 окт. 2019 г.). Обнинск. 2019. С. 480-484.
4. Лисейкин А.В., Селезнев В.С., Адилов З.А., Ting-Yu H., Agyianni V. Особенности мониторинга собственных частот плотин гидроэлектростанций (на примере Чиркейской ГЭС) // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Тез. XIV Междунар. сейсмологической школы (Республика Молдова, 9-13 сент. 2019 г.). Обнинск. 2019. С. 60.
5. Еманов А.Ф., Селезнёв В.С., Бах А.А., Гриценко С.А., Данилов И.А., Кузьменко А.П., Сабуров В.С., Татьков Г.И. Пересчёт стоячих волн при детальном инженерно-сейсмологических исследованиях. // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 2. С. 192-207.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Кузьмин Д.К.
dimak1292@mail.ru

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук, г. Москва, Россия

В работе рассматривается наиболее часто встречаемый случай проявления локального оседания при повторных геодезических измерениях на геодинамических полигонах. Установлена среднестатистическая кривая с максимальной амплитудой смещений 1 см на ширине 1 км, и смоделированы теоретические кривые с различными геометрическими параметрами разломной зоны. Рассмотрены случаи, при каких значениях ширины модели разлома и глубин верхней и нижней его кромок, теоретическая кривая не выйдет за пределы установленной (канонической). На основании анализа определены условия и границы существующих конфигураций модели разлома для данного случая. Полученная диаграмма зависимости может использоваться для удобства решения обратных задач геодинамики, тем самым усиливая метод анализа результатов маркшейдерско-геодезических наблюдений на нефтегазовых месторождениях и ПХГ.

Ключевые слова: геодинамическая опасность, разлом, деформации, параметризация, моделирование, обратная задача.

Как известно, современный активный разлом представляет собой зону накоплений опасных деформаций [2]. Сроки эксплуатации объектов добычи УВ, как правило, составляют 50-100 лет и более. Отсюда следует, что выявление разломных зон и их идентификация по кинематическому типу, морфологии и степени активности, являются одной из главных задач при определении геодинамической опасности земной поверхности в окрестности разрабатываемых месторождений [3, 4, 13, 16, 17]. Практика показывает, на сколько важную роль в программе геодинамического мониторинга играет высокоточное повторное нивелирование вдоль профилей, пересекающих разломные зоны. Многочисленные данные наблюдений на различных месторождениях УВ, а также подземных хранилищ газа, позволяют на сегодня составить базу по выявленным аномалиям, характеризующим наличие разломов [1, 2, 6, 8, 12]. Анализируя эти данные, чаще всего приходится иметь дело с аномалиями амплитудой порядка 1 см/год, на ширине от 500 м. до 1 км. Зачастую, из-за нехватки геологических данных, исследователю приходится выявлять геометрические параметры разломной зоны, прибегая к решению обратных геодинамических задач, с помощью имеющихся на сегодняшний день аналитических методов [7, 10, 11, 14, 15, 18, 19, 20]. Однако, при таком подходе может возникнуть ситуация, при которой одинаковую конфигурацию аномалии даст моделирование двух и более соотношений ширины разлома к его глубине. В этом случае следует учитывать определенные условия, которые бы ограничили математическое решение этой задачи в рамках физических реалий. Так, например, очевидно, что вертикальная длина разломной зоны, как правило, в 5-10 раз больше ее ширины. Кроме того, миру неизвестны разломы на глубинах более 2-3 км. Целью этой работы является установить границу этих условий, на примере среднестатистической (канонической) кривой с амплитудой 1 см., и шириной 0,5-1 км.

При определении т.н. канонической кривой использовалась теория параметрически-индуцированной модели разлома [3, 5, 9]. Установлены и зафиксированы значения физических параметров разломной зоны: изменение порового давления $\Delta P=1,4$ МПа; пористость $m=25\%$; сжимаемость порового пространства $\beta=2 \cdot 10^{-3}$ 1/МПа.

После чего, с помощью моделирования лишь геометрических параметров, были получены положительные и отрицательные отклонения от канонической кривой, при различных соотношениях ширины модели разлома к его глубине. В анализе рассмотрен случай, при котором амплитуда канонической кривой в 1 см. наблюдается на ширине 1 км (Рис.1).

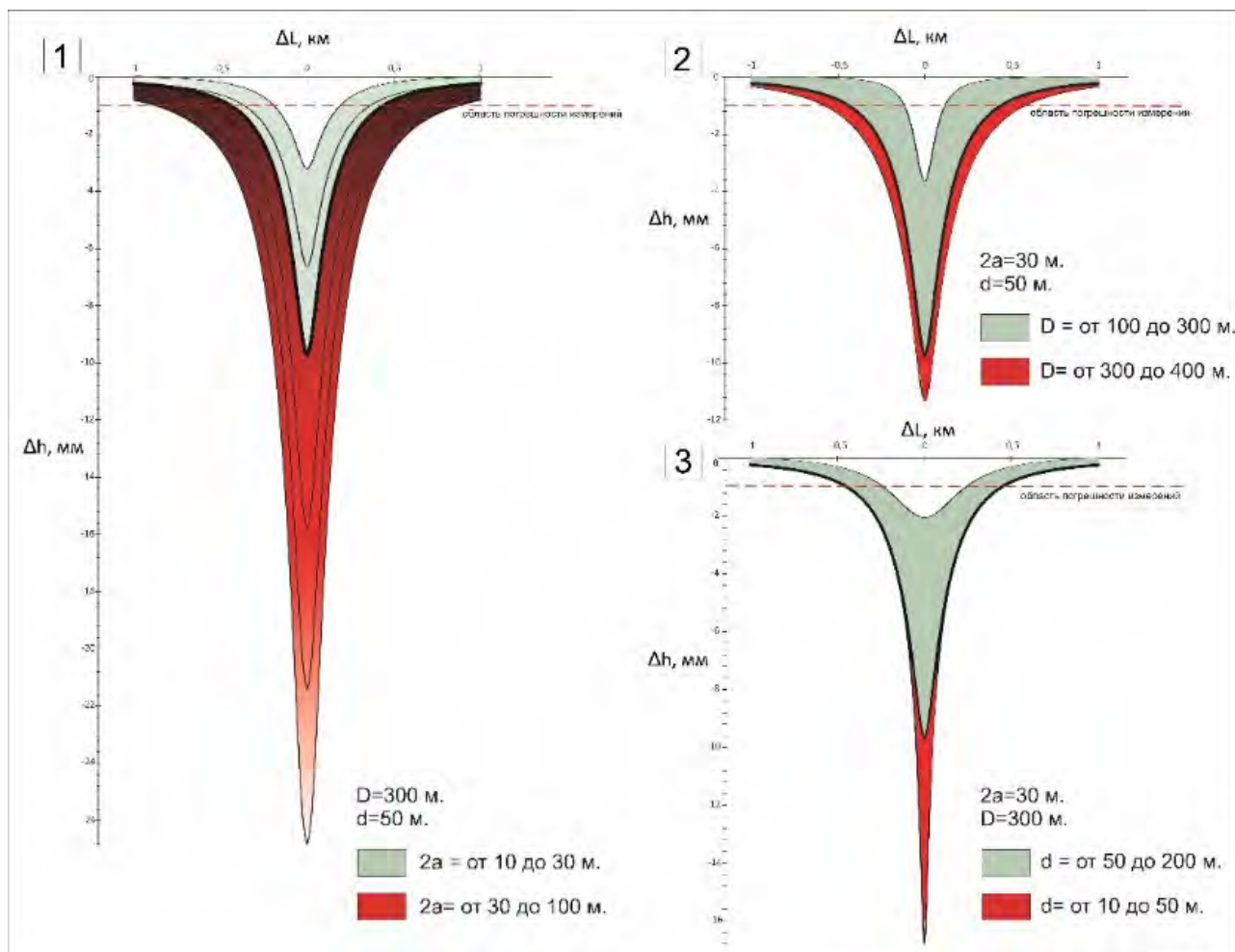


Рисунок 1 – Смоделированная каноническая кривая вертикальных смещений шириной 1 км, и области ее изменения в зависимости от геометрических параметров разломной зоны

На рисунке 1 каноническая кривая обусловлена геометрическими параметрами: ширина разлома $2a=30$ м, глубина верхней кромки разлома $d=50$ м, глубина нижней кромки разлома $D=300$ м. Поочередно, увеличивая или уменьшая в пределах допустимого один из этих параметров, видно, как меняется конфигурация кривой. Красный цвет указывает на увеличение значений Δh , зеленый цвет на их уменьшение. Можно заметить, что при увеличении ширины $2a$ модели разлома (Рис.1.1), максимальная амплитуда кривой увеличивается в 2,5 раза, а ширина аномалии как минимум в 1,5 раза, в пределах погрешности измерений. Уменьшение ширины $2a$ до 10 м., соответственно занижает значения смещений.

Изменение расстояния D до нижней кромки разлома (Рис.1.2) почти не сказывается на изменении ширины аномалии, в случае его увеличения. При уменьшении D до 100 м., значения смещений порядка 2-4 мм (в 5 раз меньше) наблюдаются при ширине 200 м. на земной поверхности.

Уменьшение расстояния d до верхней кромки разлома, наоборот, увеличивает амплитуду смещений в центре модели разлома, на ширине около 100 м. (Рис.1.3). Интересно заметить, что маленькая глубина разлома шириной 30 м., вообще не приведет к деформациям земной поверхности на расстояниях более 50 м от его центра.

Значения параметров $2a$, d , D , как было обусловлено выше, моделировались в пределах допустимых границ, позволяющих определять эту модель разлома как вертикальную, протяженную по горизонтали, призму. Этот анализ позволил выявить любые допустимые соотношения между ними, и построить наглядную таблицу взаимозависимости (Таб.1). Таблица составлена с учетом всех вышеописанных принципов, и может анализировать любую выявленную в ходе геодезических наблюдений кривую шириной 1 км с амплитудой 1 см и более

Таблица 1 – Оптимальный диапазон изменения геометрических параметров разлома

Диапазон $2a$ (м) (ширина разлома)	Глубина верхней кромки разлома d (м)	Глубина нижней кромки разлома D (м)
5-10 м	30-50 м	900 – 2000 м
15-20 м	30 м	450 м
	40 м	550 м
	50 м	650 м
25-35 м	30 м	160 м
	40 м	230 м
	50 м	300 м

Наличие в данных хотя бы одного из геометрических параметров, значительно упростит решение обратной геодинамической задачи для выявления параметров разлома. Следует учесть, что смоделированные диапазоны верны для построения аналитических кривых, схожих с большинством наблюдаемых кривых на полигонах, шириной аномалии около 1 км. Такие же диапазоны изменения параметров вышеописанный механизм позволяет выявить и для аномалий с шириной равной 300 м, 500 м., и более 1 км. Следует учитывать, что деформации накапливаются не по линейной зависимости, и занимаясь их прогнозом на 10-ки лет вперед, видится справедливым оценивать геодинамические риски при разных соотношениях ширины разлома к его глубине.

Работа выполнена в рамках Государственного задания ИФЗ РАН.

Литература

1. Изюмов С.Ф., Кузьмин Ю.О. Исследование современных геодинамических процессов в Копетдагском регионе // Физика Земли. 2014. № 6. С. 3-16.
2. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломных зон осадочных бассейнов и процессы подготовки землетрясений // Прогноз землетрясений. Сер. "Геодезические методы исследования" / Ин-т сейсмостойкого строительства и сейсмологии АН Тадж. ССР; Ин-т физики Земли им. О.Ю. Шмидта. Душанбе-Москва: Дониш. 1989. С. 52-60.
3. Кузьмин Ю.О., Никонов А.И. Геодинамическая природа аварийности нефтегазоносных скважин и трубопроводных систем // Перспективы развития экологического страхования в газовой промышленности / Всерос. НИИ природных газов и газовых технологий (ВНИИГАЗ). М. 1998. С. 315-328.
4. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и оценка геодинамического риска при недропользовании. М.: Агентство Экономических Новостей. 1999. 220 с.
5. Кузьмин Ю.О. Современная аномальная геодинамика недр, индуцированная малыми природно-техногенными воздействиями // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2002. № 9. С. 48-54.
6. Кузьмин Ю.О. Проблемные вопросы изучения деформационных процессов в современной геодинамике // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008. № 3. С. 98-107.
7. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика системы разломов // Физика Земли. 2015. № 4. С. 25-30.

8. Кузьмин Ю.О. Парадоксы сопоставительного анализа измерений методами наземной и спутниковой геодезии в современной геодинамике // Физика Земли. 2017. № 6. С. 24-39.
9. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика раздвиговых разломов // Физика Земли. 2018. № 6. С. 87-105.
10. Кузьмин Ю.О. Индуцированные деформации разломных зон // Физика Земли. 2019. № 5. С. 61-75.
11. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика и медленные деформационные волны // Физика Земли. 2020. № 4. С. 172-182.
12. Кузьмин Ю.О. Геодинамическая эволюция Центральной Азии и современная геодинамика Копетдагского региона (Туркменистан) // Физика Земли. 2021. № 1. С. 144-153.
13. Кузьмин Ю.О. Деформационные последствия разработки месторождений нефти и газа // Геофизические процессы и биосфера. 2021. Т. 20. № 4. С. 103-121.
14. Цуркис И.Я., Кузьмин Ю.О. Напряженное состояние упругой плоскости с одним или несколькими включениями произвольной формы: случай одинаковых модулей сдвига // Известия РАН. Механика твердого тела. 2022. № 1. С. 41-58.
15. Абрамян Г.О., Кузьмин Д.К., Кузьмин Ю.О. Решение обратных задач современной геодинамики недр на месторождениях углеводородов и подземных хранилищах газа // Маркшейдерский вестник. 2018. № 4. С. 52-61.
16. Абрамян Г.О., Кузьмин Д.К. Моделирование градиентов смещений земной поверхности на разрабатываемых месторождениях нефти и газа // Маркшейдерский вестник. 2019. № 5. С. 56-62.
17. Кузьмин Д.К. Сопоставление моделей деформационной активности раздвиговых разломов с результатами геодинамического мониторинга объектов нефтегазового комплекса // Проблемы недропользования. 2019. № 4. С. 18-27.
18. Кузьмин Д.К. Оценка напряженного состояния недр на разрабатываемых месторождениях нефти и газа // Маркшейдерский вестник. 2020. № 5. С. 37-43.
19. Кузьмин Д.К. Моделирование смещений земной поверхности, полученных различными спутниками со встроенным модулем РСА (на примере мониторинга месторождения нефти и газа) // Проблемы недропользования. 2021. № 2. С. 94-104.
20. Гатиятуллин Р.Н., Кузьмин Д.К., Фаттахов Е.А. Анализ результатов многолетних геодезических наблюдений на месторождении сверхвязкой нефти, юго-восток Татарстана // Наука и технологические разработки. 2021. Т. 100. № 4. С. 5-24.

ОСЕДАНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШУРТАН И ИНТЕНСИВНОСТЬ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ

Тухтамешов Ф.Г., Ёралова М.Ш.
maxturon@mail.ru, tamuraorolova@gmail.com
Национальный университет Республики Узбекистан им. Мирзо Улугбека,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Рассматривается зависимость оседания земной поверхности газового месторождения Шуртан от интенсивности геомагнитного поля. Используются имеющиеся литературные данные оседания земной поверхности и интенсивности геомагнитного поля. На основе корреляционно-регрессионного анализа выявлен коэффициент корреляции между исследуемыми факторами с вероятностью 0,9 равен -0,46. Зависимость между интенсивностью геомагнитного поля и оседанием земной поверхности получилась нелинейной.

Ключевые слова: оседание, интенсивность, геомагнитное поле, корреляция, уравнение регрессии.

Оседание земной поверхности нефтяных, газовых и газоконденсатных месторождений зависит от многих факторов: геодинамической активности исследуемого региона, геологического строения земной коры, интенсивности разработки и др. О масштабах явления можно судить по таким примерам: в Токио (Япония) оседание территории достигло 4 м, в Мехико – 8 м, в гавани Лонг-Бич (близ Лос-Анджелеса) – 9 м, в долине Сан-Хоакки (Калифорния, США) – 8,5 м. Это рекордные показатели. В меньшей степени оседание зарегистрировано во многих городах и районах в разных странах: Осаке и Ниигате, Венеции в дельте р. По, в Таллине и Белозерском железорудном месторождении, в Лондоне и др. [1].

Вертикальные и горизонтальные подвижки поверхностной части месторождений нефти и газа может быть вызвано различными факторами. На него влияют нефте- и газодобыча, геодинамические и другие процессы. Каждый фактор вносит свою долю. На разрабатываемых месторождениях нефти и газа уменьшение давления в системе «углеводороды - пластовые воды» нарушает сложившееся природное геодинамическое равновесие в геологических структурах, которое становится причиной их вертикальных и горизонтальных подвижек и сейсмических событий [2]. При интенсивной эксплуатации месторождений углеводородов в связи с уменьшением пластового давления значительно изменяются свойства окружающей их геологической среды, ее геодинамическое равновесие. Это приводит к формированию опасных геодинамических процессов и многократному увеличению количества и интенсивности сейсмических событий в районах добычи углеводородов. Целью настоящего исследования является изучение взаимосвязи между результатами мониторинга геодезических измерений вертикальных подвижек дневной поверхности на Шуртанском месторождении и напряженностью магнитного поля.

Шуртанское месторождение расположено в Бешкентской впадине Чарджоуской тектонической ступени Бухаро-Хивинской нефтегазоносной области. Магнитная разведка здесь проводилась в 1990-1991 гг. [3] (рис. 1).

Из схемы 1 видно, что величина интенсивности магнитного поля Шуртанского месторождения более изменчива в центральной части, что связано с большим объемом добычи газа в центральной части Шуртанского месторождения [3]. Также видно, что величина интенсивности магнитного поля синхронно связана с оседанием поверхности.

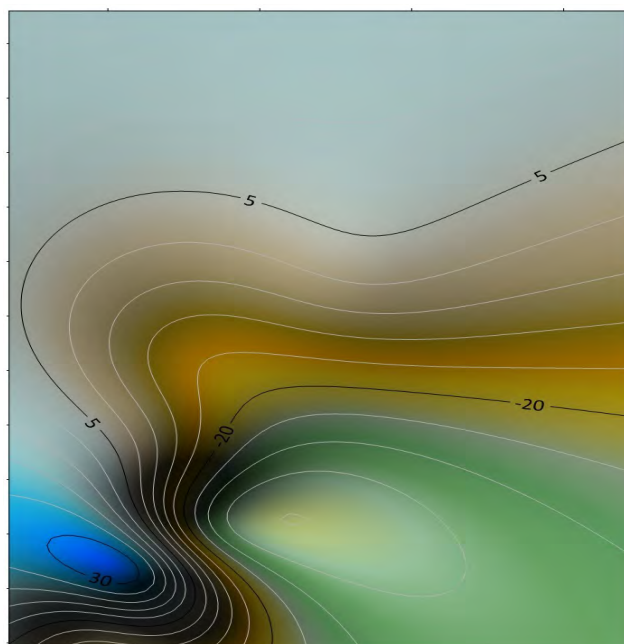


Рисунок 1 – Схема интенсивности магнитного поля, построенная по данным магниторазведки на Шуртанском месторождении

Связь между величинами вертикальных подвижек, установленных результатами геодезических измерений на Шуртанском месторождении (2007-2009 гг.), и данными о интенсивности магнитного поля анализировали с помощью программы Statistica-10 [5].

При этом, до установления регрессионной зависимости между вертикальными подвижками и интенсивностью магнитного поля, провели корреляционный анализ, который показал, что между вертикальными подвижками Δh точек наблюдений и интенсивностью геомагнитного поля ΔT в этих точках имеется обратная корреляция, с коэффициентом $r=-0,45$. Это говорит о том, что зависимость $\Delta h \sim \Delta T$ имеет нелинейный характер. При этом, также исследовали зависимость между $\Delta h \sim x$ и $\Delta h \sim y$. Расчеты показали, что между $\Delta h \sim x$, $\Delta h \sim y$ и $\Delta h \sim x^2$ имеет место тесная корреляционная зависимость с достоверностью 95% (табл. 1, достоверные зависимости выделены красным цветом). Здесь и далее приведены относительные значения исследуемых факторов.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции

	x	y	ΔT	x^2	ΔT^2	Δh
x	1,000000	0,956535	0,251190	0,999799	0,049463	-0,863142
y	0,956535	1,000000	0,055562	0,955676	0,046845	-0,805369
ΔT	0,251190	0,055562	1,000000	0,258112	0,498462	-0,459830
x^2	0,999799	0,955676	0,258112	1,000000	0,046935	-0,872133
ΔT^2	0,049463	0,046845	0,498462	0,046935	1,000000	-0,128446
Δh	-0,863142	-0,805369	-0,459830	-0,872133	-0,128446	1,000000

Между другими факторами достоверная зависимость не наблюдалась. По этой причине, при составлении уравнения регрессии были использованы только эти факторы. Как, известно, при составлении уравнений регрессии используется метод наименьших квадратов, согласно которой, сумма квадратов разностей истинного значения функции и полученной с помощью уравнения регрессии должна быть минимальной [6].

Проведенные расчеты (табл. 2) дали следующую зависимость между исследуемыми факторами:

$$\Delta h = 22,225 \cdot x + 0,048 \cdot y + 0,003 \cdot \Delta T - 0,19 \cdot x^2 - 0,003 \cdot (\Delta T)^2 - 654,29$$

Таблица 2 – Результаты построения регрессионной зависимости в Statistica 10

	В	Ст.Ош. - В	t(2)	p-знач.
Св.член	-654,290	208,2834	-3,14135	0,088145
<i>x</i>	22,225	6,7173	3,30864	0,080475
<i>y</i>	0,048	0,4098	0,11744	0,917243
ΔT	0,003	0,0618	0,04635	0,967245
x^2	-0,190	0,0574	-3,30365	0,080690
ΔT^2	-0,003	0,0035	-0,85401	0,483069

Из табл. 2 и полученной зависимости видно, что связь между вертикальными смещениями и интенсивность геомагнитного поля исследуемого региона носит нелинейный характер. Пакет Statistica позволяет получить значения исследуемой функции и разницы между его истинными значениями и значениями, полученными из модели. Эти данные приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Истинные и предсказанные значения исследуемой функции

	Наблюденные (истинные) значения	Предсказанные значения	Остатки
1	-0,70000	-0,32685	-0,373152
2	1,10000	0,29592	0,804079
3	-0,60000	-0,56196	-0,038044
4	0,10000	0,43509	-0,335091
5	0,00000	0,28331	-0,283312
6	0,40000	0,13892	0,261080
7	-0,70000	-0,62997	-0,070034
8	-6,80000	-6,83448	0,034474

На основе данных табл. 3 построим графическую зависимость (рис.2).

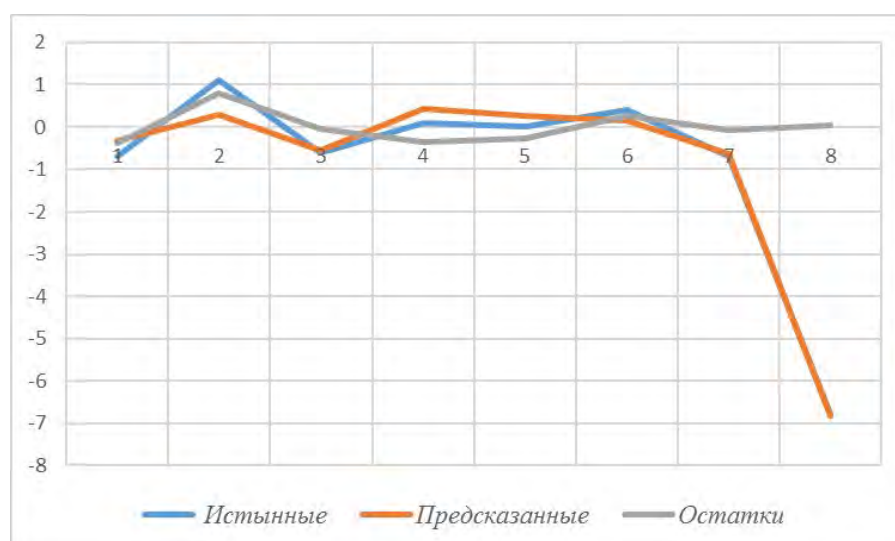


Рисунок 2 – Истинные, предсказанные значения исследуемого фактора и остатки

Как видно из рис. 2, несмотря на то, что рассмотрена нелинейная зависимость между исследуемыми факторами, в некоторых случаях имеются различия между истинными и предсказанными значениями величины вертикальных смещений. Это говорит о необходимости увеличения количества геолого-геофизических факторов, анализа их влияния на вертикальные смещения дневной поверхности и отбора среди них наиболее значимых на основе корреляционного и регрессионного анализа

Литература

1. Разумов Г.А., Хасин М.Ф. Тонущие города. М.: Стройиздат. 1991. 260 с.
2. Нестеренко М.Ю., Нестеренко Ю.М. Гидрогеологические процессы и их моделирование в районах добычи углеводородов на примере Южного Предуралья // Вестник ОГУ. 2010. № 9. С. 122-127.
3. Абдуллабеков К.Н., Бердалиев Е., Максудов С.Х., Нурматов У.А., Туйчиев А.И., Хаджиев Т.Х., Цветков Ю.П. Первые результаты геомагнитных исследований в районе газового месторождения Шуртан // Узб. геол. журн. 1994. № 2. С. 16-18.
4. Туйчиев А.И. Аномальные изменения геомагнитного поля, обусловленные сейсмогеодинамическими и техногенными процессами на территории Узбекистана // Геология и минеральные ресурсы. 2007. № 3. С. 52-54.
5. Общая теория статистики. Учебник / Под ред. О.Э. Башиной, А.А Спирина. М.: Финансы и статистика. 2007. 440 с.
6. Плохотников К.Э. Основы эконометрики в пакете Statistica (+CD-ROM). М.: ИЛ. 2015. 304 с.

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЮЖНО-ФЕРГАНСКОЙ СЕЙСМОАКТИВНОЙ ЗОНЫ

Усманова С.А.¹, Ибрагимова Т.Л.², Ибрагимов Р.С.², Мирзаев М.А.²
ibrroma@yandex.com

¹ Национальный университет Узбекистана им. Мирзо Улугбека,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

² Институт сейсмологии Академии наук Республики Узбекистан,
г. Ташкент, Республика Узбекистан

Методами катакластического анализа разрывных смещений (МКА) проведено исследование современного напряженного состояния земной коры Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны, в пределах которой за исторический и инструментальный период времени произошло множество разрушительных землетрясений с магнитудой $M \geq 6.0$. В результате проведенных инверсий определено пространственное положение осей главных напряжений, геодинамический тип напряженного состояния земной коры, а также коэффициент Лодена-Надаи, характеризующий вид тензора напряжений Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны. Определены участки зоны с низкими значениями эффективного всестороннего давления и максимальных касательных напряжений, в которых в дальнейшем могут произойти сильные землетрясения.

Ключевые слова: земная кора, механизм очага землетрясения, напряженное состояние, реконструкция напряжений.

На основе сейсмологических и сеймотектонических данных на территории Узбекистана выделено несколько крупных сейсмоактивных зон, направление которых совпадает с простираем активных разломов земной коры [1, 2, 3]. В данной статье рассматриваются особенности современного напряженного состояния земной коры Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны, которая характеризуется наибольшей по сравнению с остальными сейсмоактивными зонами сейсмической активностью, в том числе и на уровне сильных (с магнитудой $M \geq 5.0$) землетрясений.

Южно-Ферганская сейсмоактивная зона (рисунок 1) имеет длину порядка 700 км и ширину - 40-50 км. Она простирается в субширотном направлении вдоль Алайского и Туркестанского хребтов на востоке и Нуратинского хребта на западе. В центральной и восточной своей части Южно-Ферганская сейсмоактивная зона охватывает область динамического влияния системы Южно-Ферганских, Куршабских и Талдысуйских разломов субширотного простираения. В западной части сейсмичность Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны обусловлена современной геодинамической активностью Бесаянских и Северо-Нуратинских разломов северо-западного простираения. Считается, что в современной тектонической структуре Западного Тянь-Шаня системы перечисленных разломов являются гранью между погружающейся Ферганской впадиной и воздымающейся Алай-Туркестанской мегантиклиналью [3].

В пределах Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны произошло множество землетрясений с магнитудой $M \geq 6.0$. К наиболее сильным землетрясениям западной части данной зоны относятся следующие сейсмические события: историческое землетрясение 1892 года с магнитудой $M=6.1$ в районе поселка Нурата и два Ура-Тюбинских землетрясения с магнитудой $M=6.6$ и $M=6.7$, произошедшие в 1897 году с интервалом в два часа на расстоянии около 50 километров друг от друга. Сильнейшие землетрясения центральной части данной зоны - историческое Костакоское землетрясение 1888 года с магнитудой $M=6.2$, а также три землетрясения, произошедшие за последние 50 лет: Исфара-Баткенское 1977 года с магнитудой

$M=6.4$; Чимионское 1982 года с магнитудой $M=5.8$ и Канское 2011 года с магнитудой $M=6.1$. Наиболее сильными землетрясениями восточной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны считаются два Куршабских землетрясения 1924 г. с магнитудой $M=6.4$ и $M=6.5$, возникшие в области сочленения Южно-Ферганской зоны с восточным окончанием Восточно-Ферганской сейсмоактивной зоны. Макросейсмический эффект в эпицентре от каждого из этих землетрясений составлял не менее 7-8 баллов по шкале MSK-64.

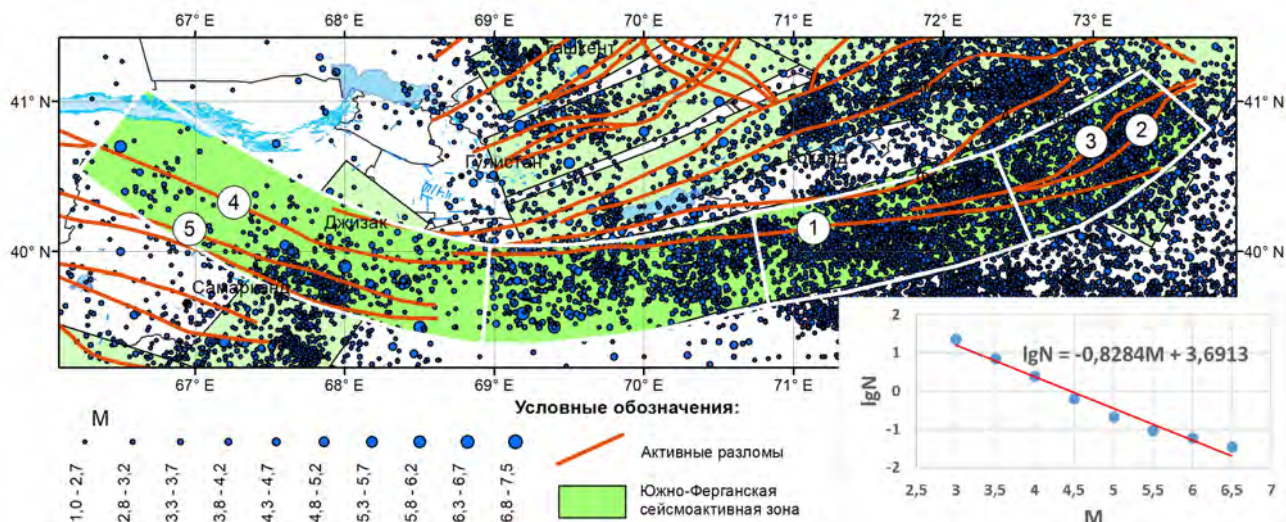


Рисунок 1 – Карта эпицентров землетрясений и активные разломы земной коры Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны. Цифры в кружках – номера разломов, входящих в Южно-Ферганскую сейсмоактивную зону: 1- Южно-Ферганский; 2- Куршабский; 3- Талдысуйский; 4 – Бесаянский; 5 – Северо-Нуратинский. Врезка в нижнем правом углу - график повторяемости землетрясений Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны

В качестве информационной основы для изучения сейсмичности Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны использовался региональный каталог Института сейсмологии АН РУз, включающий в себя параметры исторических и инструментальных сейсмических событий. Для классификации землетрясений по величине в дальнейшем изложении мы будем использовать магнитуду M_b , рассчитываемую по объемным волнам, которая определяется в настоящее время. Врезкой к рисунку 1 показан график повторяемости землетрясений различных магнитуд для всей Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны. Сейсмическая активность различных ее сегментов не одинаковая и убывает с продвижением с востока на запад, что наглядно видно по плотности эпицентров.

Реконструкция напряженного состояния земной коры Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны проводилась алгоритмами метода катакластического анализа разрывных смещений (МКА), с привлечением программного комплекса STRESSseism, разработанных в ИФЗ РАН [4]. Для проведения реконструкции напряженного состояния земной коры Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны использовалась выборка механизмов землетрясений по исследуемой территории из сводного каталога механизмов очагов землетрясений территории Узбекистана [5, 6]. Карта эпицентров землетрясений выборки с указанием механизма очага приведена на рисунке 2. Как это следует из рисунка, западная, центральная и восточная части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны представлены примерно равным количеством землетрясений, для которых имелись определения механизма очага, и преобладающим кинематическим типом подвижки в очагах землетрясений исследуемой зоны являются взбросы.

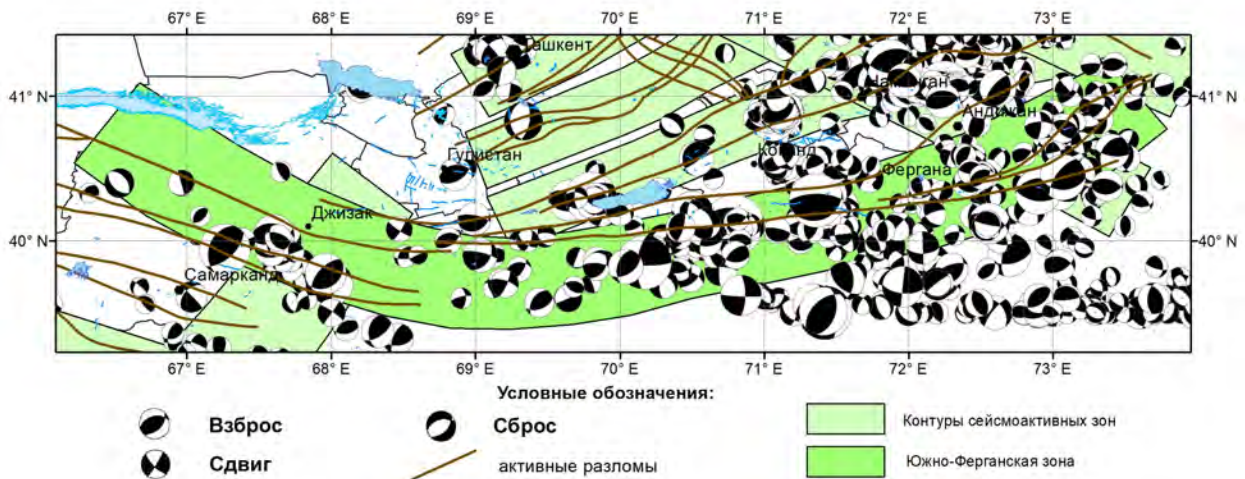


Рисунок 2 – Карта эпицентров землетрясений Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны, для которых имелись определения механизма очага

В результате реконструкции природных напряжений, проводимых МКА, в каждой точке исследуемой области определяется пространственное положение осей главных напряжений, геодинамический тип напряженного состояния земной коры, а также коэффициент Лодэ-Надаи, характеризующий вид тензора напряжений. Весьма полезным результатом инверсий, осуществляемых алгоритмами МКА, является нахождение относительных (нормированных на прочность сцепления горных пород) величин максимальных касательных напряжений и эффективного всестороннего давления на плоскости хрупкого разрыва.

Площадное распределение подвижек в очагах землетрясений Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны по кинематическим типам при классификации Ю.Л. Ребецкого [4] (рисунок 3) свидетельствует о том, что подавляющую часть подвижек составляют взбросы и взбросо-сдвиги. Подвижек сбросового и сбросо-сдвигового типа существенно меньше, и практически отсутствуют землетрясения с чисто сдвиговым типом подвижки.

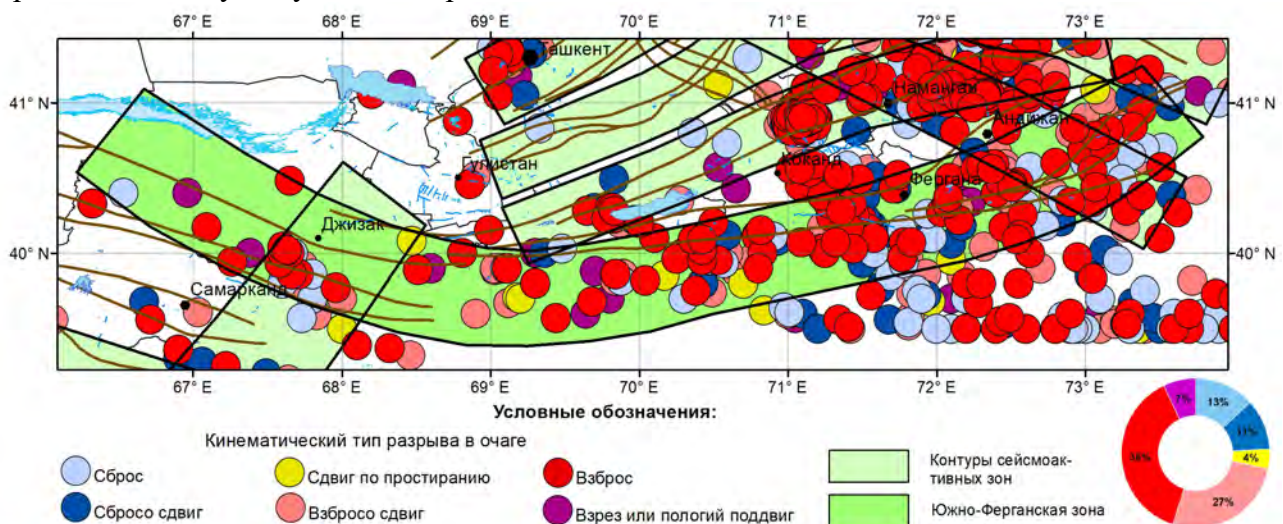


Рисунок 3 – Кинематические типы подвижек в очагах землетрясений Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны по классификации Ю.Л.Ребецкого [4]

Реконструкция напряженного состояния земной коры Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны алгоритмами МКА проводилась по сетке $0.2 \times 0.2^\circ$ с минимальным размером однородной выборки, состоящей из пяти определений механизмов очагов землетрясений в каждом домене. Радиус круговой области, в пределах которой осуществлялся отбор необходимого числа событий для формирования однородных выборок

в каждой расчетной точке, варьировал от 15 до 60 км. С целью детализации получаемых результатов отдельно проводились дополнительные реконструкции для различных глубинных слоев земной коры.

Проекции на горизонтальную плоскость осей главных напряжений минимального σ_1 и максимального σ_3 сжатия в Южно-Ферганской сейсмоактивной зоне приведены на рисунке 4. Азимут оси максимального сжатия σ_3 в центральной и восточной частях зоны имеет в основном меридиональное направление и юго-восточное направление в западной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны. В большинстве случаев азимут оси максимального сжатия σ_3 ортогонален азимуту простиранию активных разломов земной коры. Ось σ_3 для большинства доменов близ горизонтальна. Угол погружения оси максимального сжатия σ_3 меняется в небольших пределах от 10^0 до 20^0 от горизонта. Азимут оси минимального сжатия (растяжения) σ_1 имеет преимущественно близширотное направление, а угол погружения оси σ_1 от горизонта варьирует для различных участков исследуемой территории от 60^0 до 90^0 . Роза-диаграмма распределения в пространстве азимутов и углов погружения осей главных напряжений σ_1 и σ_3 приведена в левом верхнем углу рисунка 4.

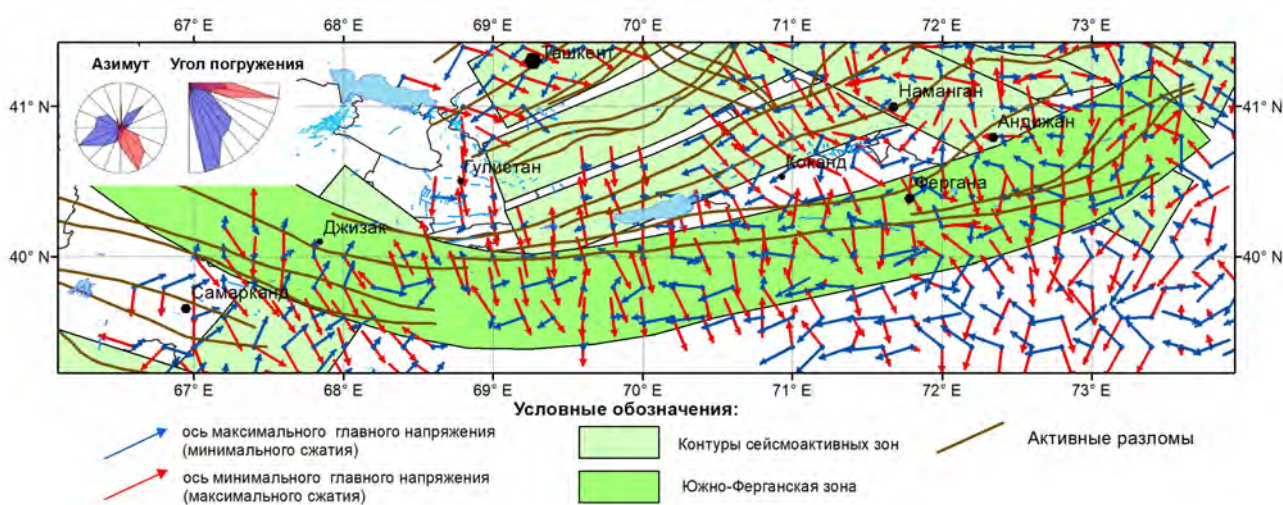


Рисунок 4 – Проекция на горизонтальную плоскость осей напряжений главного минимального σ_1 и максимального σ_3 сжатия для Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны

Соотношения между осями главных напряжений σ_1 , σ_2 и σ_3 в механике горных пород обычно выражают через коэффициент Лодэ – Надаи μ_σ :

$$\mu_\sigma = 2[(\sigma_2 - \sigma_3) / (\sigma_1 - \sigma_3)] - 1.$$

Коэффициент Лодэ – Надаи μ_σ варьирует в пределах от -1 до 1. При этом принято считать, что значение $\mu_\sigma = 0$ отвечает напряженному состоянию, близкому к чистому сдвигу. Значение $\mu_\sigma = 1$ характеризует напряженное состояние, близкое к одноосному сжатию, а значение $\mu_\sigma = -1$ соответствует напряженному состоянию, близкому к одноосному растяжению.

Площадное распределение доменов с различными значениями коэффициента Лодэ – Надаи в пределах Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны показано на рисунке 5. Число доменов с напряженным состоянием, близким к чистому сдвигу ($-0.2 < \mu_\sigma < 0.2$), одноосному сжатию ($\mu_\sigma \geq 0.6$) и одноосному растяжению ($\mu_\sigma \leq -0.6$) в пределах зоны приблизительно одинаковое. Большие области с напряженным состоянием, близким к чистому сдвигу, на западе располагаются между городами Джи́зак и Самарканд, а в центральной части - к юго-западу от города Коканда. Наибольшее число доменов с напряженным состоянием, близким к одноосному сжатию, расположены во втором сегменте Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны к востоку от города Джи́зак. Домены с напряженным состоянием, близким к одноосному растяжению, расположены в основном в восточной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны между городами Анди́жан и Фергана.

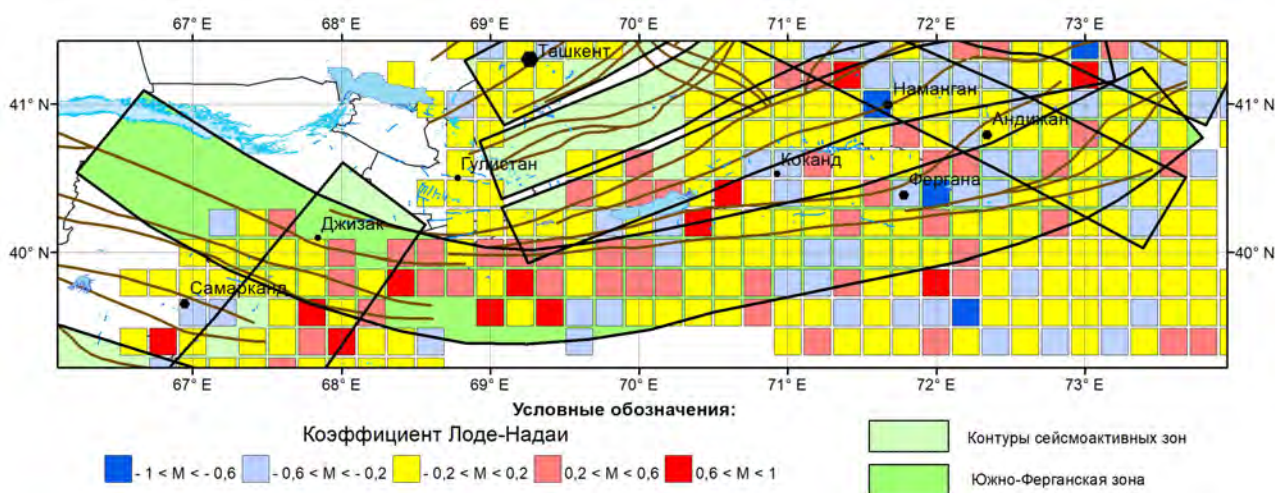


Рисунок 5 – Площадное распределение коэффициента Лодэ – Надаи в Южно-Ферганской сейсмоактивной зоне

На рисунке 6 показано деление исследуемой территории по геодинамическим типам напряженного состояния земной коры. Известно, что различные кинематические типы подвижки в очагах землетрясений (взбросы, сбросы, сдвиги) реализуются в различном поле действующих напряжений. Взбросы происходят в областях, в которых ось максимального сжатия σ_3 близгоризонтальна, а ось минимального сжатия σ_1 (ось растяжения) – близвертикальна. Сбросовый тип подвижки в очаге, наоборот, реализуется в условиях, когда ось растяжения σ_1 близгоризонтальна, а ось максимального сжатия σ_3 – близвертикальна. Наконец, сдвиги происходят в областях, где обе оси главных напряжений σ_1 и σ_3 близгоризонтальны. Анализ геодинамического типа напряженного состояния земной коры Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны свидетельствует о том, что практически вся исследуемая территория находится в режиме горизонтального сжатия. Области с геодинамического типа напряженного состояния земной коры горизонтального растяжения в Южно-Ферганской сейсмоактивной зоне расположены южнее города Ферганы в пределах Алайского хребта и одноименной долины. В центральной части Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны расположено несколько доменов с геодинамического типа напряженного состояния земной коры горизонтального сдвига. Они расположены в центральной части зоны.

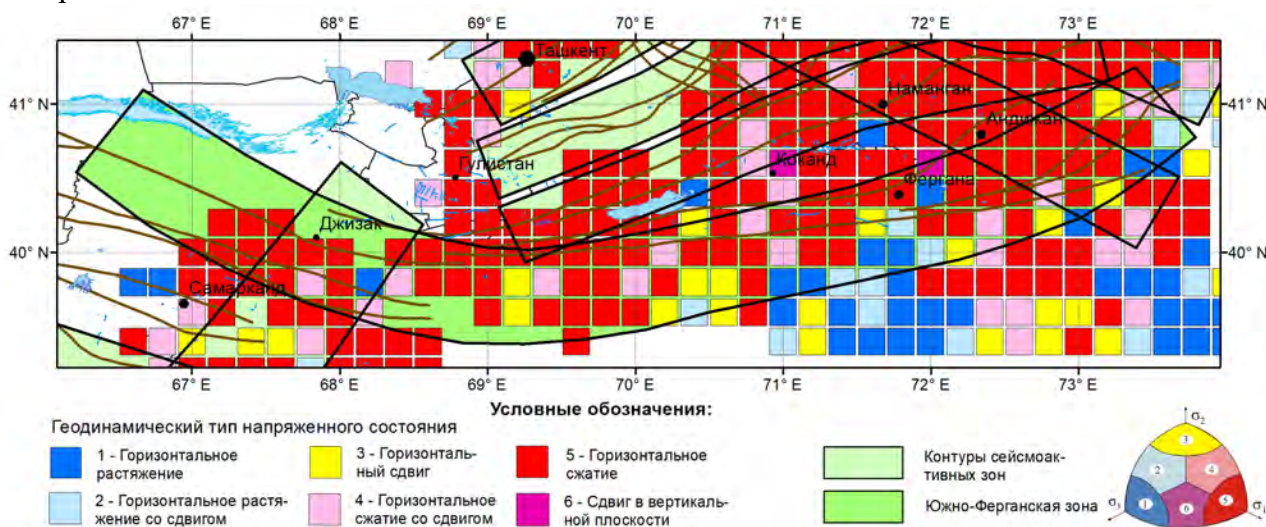


Рисунок 6 – Площадное распределение геодинамических типов напряженного состояния земной коры Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны

На рисунке 7 показано площадное распределение нормированной на прочность сцепления горных пород τ_f , величины эффективного всестороннего давления p^* (разность между давлением в горных породах и флюидным давлением трещинно-порового пространства $p^* = p - p_{фл}$, где $p = -(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$), при различных вариантах реконструкции напряжений в Южно-Ферганской сейсмоактивной зоне. Если в результате реконструкции, проведенной по всей совокупности землетрясений, области больших и малых значений величины p^*/τ_f расположены достаточно мозаично (рис. 7 а), то по результатам инверсии по механизмам очагов с магнитудой $M > 4.5$, которая фактически отражает напряженное состояние сейсмоактивного слоя, расположенного ниже глубины $H = 10$ км, где сосредоточена основная масса землетрясений такого уровня, области повышенных и пониженных значений величины p^*/τ_f достаточно хорошо структурированы (рис. 7 б).

Как правило, наиболее сильные (с магнитудой $M \geq 6.0$) землетрясения происходят в областях с невысокими значениями эффективного всестороннего давления и максимальных касательных напряжений [4, 6-8]. Это связывают с тем, что в таких областях понижены значения сил трения на разрывах, а это создает благоприятные условия для крупномасштабного разрушения.

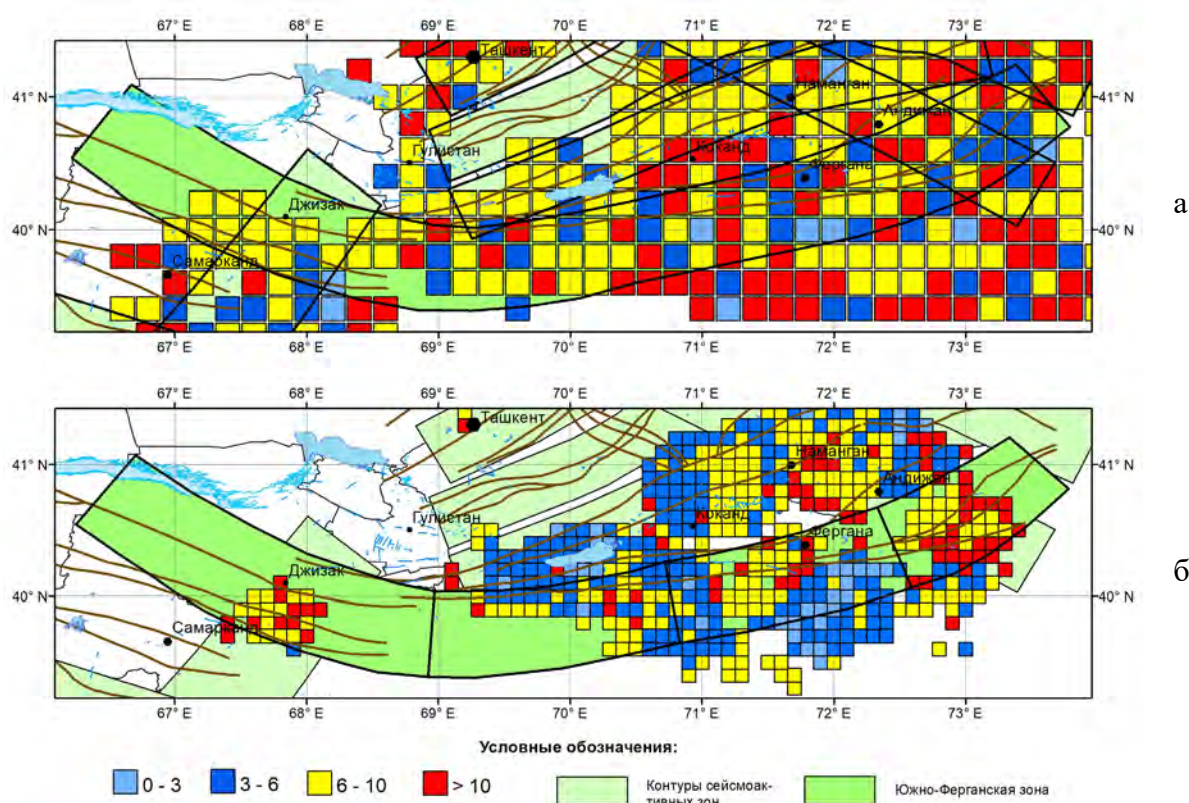


Рисунок 7 – Площадное распределение нормированной на прочность сцепления горных пород величины эффективного всестороннего давления (p^*/τ_f) в Южно-Ферганской сейсмоактивной зоне при различных вариантах проведенной реконструкции: а) по всем землетрясениям; б) по землетрясениям с магнитудой $M > 4.5$

Как это вытекает из рисунка 7б, в пределах Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны существуют значительные по размерам участки с пониженными значениями p^*/τ_f , в которых в дальнейшем возможна реализация сильных землетрясений. Эти данные могут быть полезны для уточнения места будущего разрыва при комплексном анализе сейсмологической обстановки Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны.

Литература

1. Artikov T.U., Ibragimov R.S, Ibragimova T.L, Mirzaev M.A., Artikov M.T. Revealing of seismic activation interrelationships in various seismoactive zones // *Geodesy and Geodynamics*. 2015. Vol. 5. No. 6. P. 351-360. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geog.2015.03.007>
2. Artikov T.U., Ibragimov R.S., Ibragimova T.L., Mirzaev M.A. Identification of expected seismic activity areas by forecasting complex seismic-mode parameters in Uzbekistan // *Geodesy and Geodynamics*. 2018. Vol. 9. No. 2. P. 121–130. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geog.2017.11.005>
3. Ибрагимов Р.Н., Нурматов У.О., Ибрагимов О.Р. Сейсмотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования // *Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане / Под ред. Абдуллабекова К.Н.* Ташкент: Гидроингео. 2002. С. 59–74.
4. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природный горных массивов. М.: ИКЦ «Академкнига». 2007. 406 с.
5. Ibragimova T.L., Ibragimov R.S., Mirzaev M.A., Rebetsky Yu.L. The current stress of earth's crust in the territory of Uzbekistan according to focal earthquake mechanisms // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2021. Vol. 12. No. 3. P. 435-454 (in Russian) <https://doi.org/10.5800/GT-2021-12-3-0532>.
6. Rebetsky, Yu.L., Ibragimova, T.L., Ibragimov, R.S., Mirzaev, M.A. Stress State of Uzbekistan's Seismically Active Areas // *Seismic Instruments*. 2020. Vol. 56. P. 679–700, <https://doi.org/10.3103/S0747923920060079>.
7. Rebetsky Yu.L., Tatevossian R.E. Rupture propagation in strong earthquake sources and tectonic stress field // *Bulletin de la Societe Geologique de France*. 2013. V. 184. No. 4–5. P. 335–346.
8. Ребецкий Ю.Л., Сычева Н.А., Сычев В.Н., Кузиков С.И., Маринин А.В. Напряженное состояние коры Северного Тянь-Шаня по данным сейсмической сети KNET // *Геология и геофизика*. 2016. Т. 57. № 3. С. 496–520. <https://doi.org/10.15372/GiG20160303>.

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШАПКИ РАЗВАЛА БЛОКА СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ «BLASTMAKER»

Абдизамилов Э.У., Райымкулов М.А.

erlan.abdizhamilov@gmail.com, raiymkulovma@blastmaker.kg

Институт коммуникаций и информационных технологий

Кыргызско-Российского Славянского университета, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В работе рассмотрены инструменты системы «BlastMaker» для численного моделирования развала блока с применением средств короткозамедленного взрывания. Проведены результаты оценки влияния отклонений от номинальных значений средств замедлителя на шапку развала.

Ключевые слова: развал, короткозамедленное взрывание, отклонение замедлителя, моделирование развала, энергия взрыва.

Введение. В настоящее время существует три способа взрывания: мгновенное, замедленное и короткозамедленное (КЗВ). В первом случае все заряды взрывают одновременно с помощью электродетонаторов мгновенного действия. Замедленное взрывание применяют лишь при шпуровом методе отбойки. В третьем случае — с интервалом замедления, исчисляемым миллисекундами или десятками миллисекунд. В текущей статье рассмотрим третий способ взрывания зарядов в скважинах и влияние возможных отклонений от номинальных значений средств КЗВ на формирования конечного развала.

Короткозамедленное взрывание обеспечивает лучшую степень дробления, минимальное нарушение массива, сокращает ширину развала взорванной массы, а также снижает сейсмическое воздействие взрыва. Указанные преимущества могут проявляться одновременно, но чаще достигается только одно или два из них. Улучшение степени дробления при короткозамедленном взрывании обеспечивается образованием дополнительных свободных поверхностей и соответствующим уменьшением линий наименьшего сопротивления, а также частично соударением горных масс, движущихся от различных зарядов, а также увеличивается время воздействия взрыва на массив.

В связи с интенсификацией горных работ, предприятием горного производства требуются детальная оценка результатов буро-взрывных работ (БВР), в том числе оценка выброса горной массы. Например, при прохождении железнодорожных путей вблизи ведения горных работ, необходимо произвести проектирование блока так, чтобы избежать осыпания горной массы близлежащих путей. В случае проектирования БВР для золоторудных месторождений, возникает необходимость сформировать шапку развала так, чтобы горная масса с высоким содержанием полезного ископаемого была отделена от вскрышной породы. Для этих задач необходимо подготовить проект с применением КЗВ, удовлетворяющий запросам. Программное обеспечение «BlastMaker» позволяет осуществить прогноз формирования развала и в случае неудовлетворительного результата, произвести редактирование параметров БВР [1].

Однако применяемые средства КЗВ имеют погрешность срабатывания, что может быть источником погрешности прогнозируемой шапки развала. Задачей данной статьи произвести оценку погрешности моделирования на примере горно-технологических условий одного из золоторудных месторождений.

Методики обработки. В САПР БВР «BlastMaker» реализовано моделирование развала с использованием средств КЗВ. Параметры КЗВ задаются в полуавтоматическом режиме в программе при проектировании БВР. Основным параметром КЗВ является время замедление (рис.1).

Наименование:	СИНВ-П-45
Тип:	Замедлитель
Время замедления:	125 мс

Рисунок 1 – Время замедления задается при создании замедлителя

В последующем, при проектировании сети коммутации, пользователь задает соответствующие средства КЗВ, заданные в Базе Данных. Пример проекта на взрыв с применением средств КЗ приведен на рисунке 2.

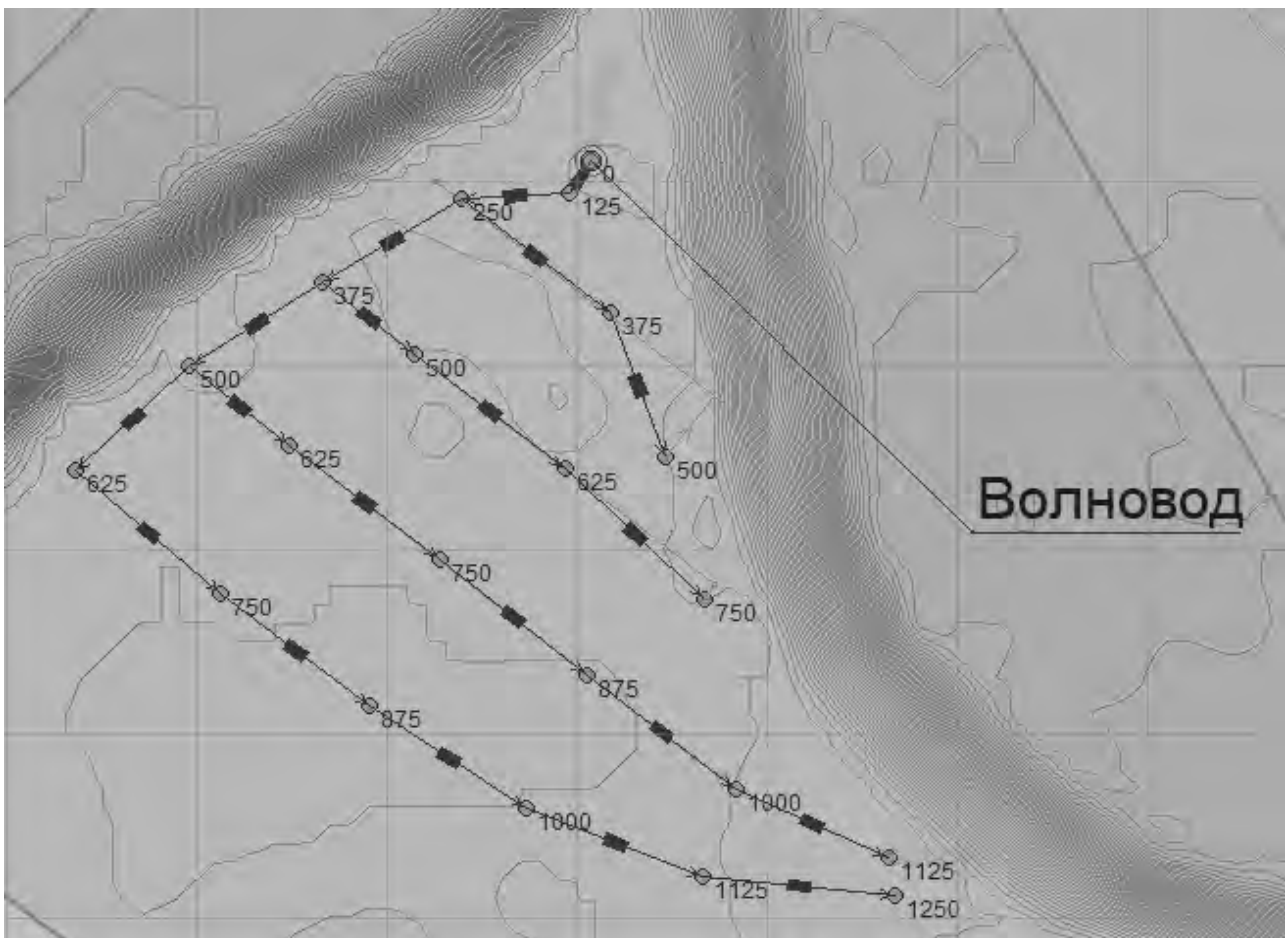


Рисунок 2 – Коммутация скважин в САПР БВР «BlastMaker» с указанным интегральным временем замедления

Моделирование развала в САПР БВР «BlastMaker» происходит следующим образом: для каждой скважины рассчитывается энергия дробления с учетом задания физико-механических свойств пород, далее импульс энергии взрыва передается окружающей горной массе. Отрабатываемый горный массив разбиваем на конечные элементы 0,5м.Х0,5м.Х0,5м. Каждому элементу задается начальная скорость в соответствии с распределением энергии взрыва. Затем рассчитывается окончательная шапка развала в соответствии с последовательностью взрывания. При моделировании развала пользователь задает также параметры моделирования как коэффициент разлета взорванной горной породы, время затухания импульса, коэффициент трения и рыхления горной породы, соответствующие

условиям месторождения (рис.3). Указанные коэффициенты получены экспериментальным путем и для каждого месторождения они разнятся [2].

Коэффициент разлета :	8.50
Время затухания (мс) :	100.00
Коэффициент трения :	0.50
Коэффициент рыхления :	1.30

Рисунок 3 – Параметры, задаваемые для моделирования развала

Так как моделирование развала зависит от энергии взрыва, то в САПР БВР «BlastMaker» также задаются параметры энергии взрыва (рис.4).

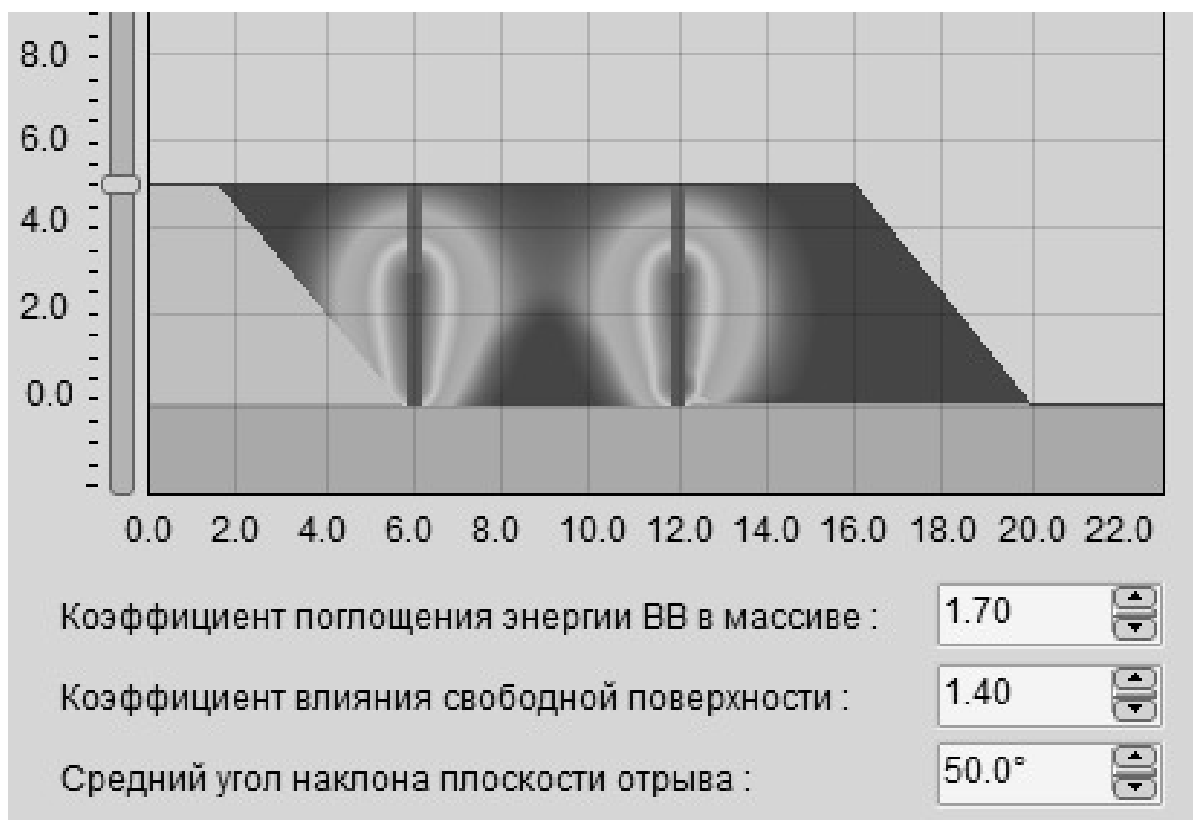


Рисунок 4 – Параметры энергии взрыва

Данные параметры настраиваются на основе обработки статистических данных: сопоставление проекта на взрыв с фактическими координатами устьев и дна скважин, длин скважин и массой ВВ, съемки линии отрыва, съемки отработанного блока и др.

Результаты. Для анализа влияния отклонения от номинальных значений средств КЗВ на конечную форму развала рассмотрен рудной блок со следующими характеристиками: объем блока - 3840 куб.м., количество скважин - 21 шт., средний диаметр скважин - 131 см, средняя длина скважин - 5.6 м, применяемый тип взрывчатого вещества (ВВ) - Риофлекс, общая масса ВВ - 1000 кг, плотность породы - 3000 кг/куб.м., прочность по шкале проф. Протодеяконова - 10, применяемое средство КЗВ - СИНВ-П-45, номинальное время замедление - 125 мс.

Согласно данным от производителя средств КЗВ допустимым отклонением времени замедления от номинального значения составляет 10%. Значение времени замедления задавалось случайным образом в границах допустимого отклонения.

В результате сравнения отклонений смоделированных развалов, относительно развала с номинальным значением замедлителя было получено что максимальные отклонения составили от 83 см до 110 см, в процентном соотношении от 4,2% до 6%. Среднеквадратичное отклонение составило от 11-15 см.

Исходя из этих результатов, можно говорить, что стохастические отклонения времени замедления сказывается на увеличении разницы смоделированного развала относительно развала с номинальным значением КЗВ. Это происходит за счет того, что у энергии взрыва предыдущей скважины есть больше или меньше времени чтобы рассеяться по массиву горной породы прежде чем срабатывает следующая скважина, образуя напряженность в горном массиве.

Вывод. Проведенный эксперимент показал, что стохастические отклонения времени замедления средств КЗВ от номинального значения приводит к максимальной погрешности прогнозируемой шапки развала до 6%. Стохастические отклонения в срабатывании средств КЗВ в диапазоне от -10% до 10% приводят к погрешности моделируемой шапки развала в диапазоне от 4% до 6 %. Таким образом, при применении инструментов моделирования шапки развала системы «BlastMaker» при соответствующих настройках параметров моделирования к горно-технологическим условиям месторождения, необходимо учитывать погрешность результата моделирования в результате отклонения фактического времени срабатывания средств КЗВ от номинальных значений.

Литература

1. Коваленко В.А., Григорьев В.В. О численном моделировании разрушения твердых горных пород динамическим нагружением // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 1991. № 5. С. 71-77.
2. Долгушев В.Г. Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на карьерах «Blast Maker» // Горный журнал Казахстана. 2013. № 11. С. 28-32.

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАТЯЖЕНИЯ ТЯГОВОГО КАНАТА ШАХТНОЙ ПОДЪЕМНОЙ МАШИНЫ

Абылов И., Равшанова А.

iskhak.abyllov@mail.ru, ravshanoa@gmail.com

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В статье описывается система контроля натяжения тягового каната шахтной подъемной установки, применяемой в подъемно-транспортном оборудовании, и может быть использована в шахтных подъемных установках. Рассматривается актуальная для подъемных установок проблема натяжения тягового каната, наблюдаемая в процессе эксплуатации подъемных сосудов. Необходимо отслеживание натяжения тягового каната, образующегося по мере его вытяжки под воздействием прилагаемой нагрузки. Конкретика проблемы заключается в предупреждении образования предельно допустимого натяжения каната, которое может привести к его разрушению – обрыву. Предложены два варианта решения этой проблемы, выполненной на изобретательском уровне. Автором приводится принципиальное описание конструкции и работы устройства, позволяющего достичь положительного результата при решении названной проблемы эксплуатации тягового каната. Описано устройство, которое может повысить надежность работы оборудования и, соответственно, повысить безопасность эксплуатации шахтной подъемной установки. Техническое решение заключается в системе контроля натяжения тягового каната шахтной подъемной установки, включающем корпуса подшипников копровых шкивов, датчики, связанные с корпусами подшипников, систему автоматизации и обработки сигнала, соединенную с датчиками, цепь включения тормоза подъемной машины, соединенную с системой закреплены на корпусах подшипников, а система автоматизации и обработки сигнала выполнены из компаратора и соединенных с ним усилителей сигнала, блока эталонного сигнала и анализатора сигнала. При этом, система автоматизации и обработки сигнала подключена в цепь включения тормоза подъемной машины.

Ключевые слова: подъемные установки, тяговый канат, датчики, обрыв тягового каната, силовые перегрузки, блок эталонного сигнала и анализатора сигнала, копровый шкив, корпуса подшипников, цепь тормоза, усилитель сигнала, система автоматизации и обработки сигнала

Шахтная подъемная установка – это один из основных транспортных комплексов, который связывает подземную часть шахты с поверхностью и предназначен для выдачи на поверхность горной массы, спуска и подъема людей, транспортирования горношахтного оборудования и материалов. 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 тяговый канат подъемной установки, который позволит решить эту проблему [1].

Задача изобретения – повышение безопасности эксплуатации шахтной подъемной установки за счет повышения надежности работы системы контроля натяжения тягового каната.

Изобретение относится к горной промышленности и может быть использовано в системах автоматического контроля и защиты от разрушения тяговых канатов шахтных подъемных установок при зависании подъемных сосудов в шахтном стволе.

Известно устройство для автоматического останова шахтной подъемной машины, включающие датчик, установленный между верхней и нижней балками копрового шкива,

подшипник шкива, закрепленный на верхней балке. Датчик размещен в центрирующем стакане, закрепленном на нижней балке, с нижней частью стакана соединена регулировочная гайка, установленная на нижней балке (а. с. СССР 140970, класс 35а, 1821; 1961г.).

Недостаток известного устройства для автоматического останова шахтной подъемной машины заключается в том, что вероятно заклинивание датчика в центрирующем стакане и его разрушение за счёт деформации верхней и нижней балок копрового шкива в процессе эксплуатации подъемной машин, что обуславливает снижение надежности подъемной машины в работе.

Кроме этого, надежность работы подъемной машины снижается из-за вероятности заклинивания и разрушения регулировочной гайки за счёт деформации верхней и нижней балки копрового шкива. Снижение надежности работы подъемной машины приводит, соответственно, к снижению безопасности эксплуатации шахтной подъемной установки.

Известна система защиты шахтных подъемных установок при застревании сосудов в стволе, содержащая датчики масс, связанные с подшипниками шкивов копра и соединенных с сумматором сигналов, соединенным с устройством передачи и обработки сигналов, к которому подключены система управления подъемной установки и цепь включения предохранителя тормоза подъемной установки (а. с. СССР 698894, В 66 В 5/02, 05.12.79).

Недостатком известной системы является вероятность отказа в работе и разрушения датчиков масс за счёт деформации элементов конструкций под воздействием динамического силового воздействия, образующегося при вращении шкивов копра и перемещении канатов и подъемных сосудов, чем снижается надежность работы системы, что, соответственно, приводит к снижению безопасности эксплуатации.

За прототип выбрано устройство для контроля силы натяжения канатов, включающее корпус подшипников копровых шкивов, магнитоупругие датчики, установленные в корпусах подшипников под их обоймами через подвижные втулки, соединенные с подшипниками, и релейный блок управление ослаблением и перегрузкой каната (а. с. СССР 201738; G011, кл. 42к, 7/02; 21.11.1967).

Недостатком известного устройства для контроля силы натяжения каната является вероятность заклинивания и разрушения магнитоупругих датчиков в посадочных местах в корпусах подшипников за счет возможного перекоса обойм подшипников под воздействием силовой нагрузки, что обуславливает снижение надежности работы устройства.

Также, надежность работы устройства снижается за счет вероятности деформации корпусов подшипников под силовой нагрузкой, образуемой перемещающимися тяговыми канатами и скипами, что может привести к заклиниванию и разрушению магнитоупругих датчиков, чем, соответственно, обуславливается, за счет снижения надежности, снижение безопасности устройства в эксплуатации.

Задача изобретения – повышение безопасности эксплуатации шахтной подъемной установки за счет повышения надежности работы системы контроля натяжения тягового каната.

Поставленная задача решается тем, что в системе контроля натяжения тягового каната шахтной подъемной установки, включающей корпуса подшипников копрового шкива, датчики, связанные с корпусами подшипников, систему автоматизации и обработки сигнала, соединенную с датчиками, цепь включения тормоза подъемной машины, соединенную с системой автоматизации и обработки сигнала, датчики закреплены на корпусах подшипников, система автоматизации и обработки сигнала выполнена из компаратора и соединенных с ним усилителя сигнала, блока эталонного сигнала и анализатора сигнала. При этом, система автоматизации и обработки сигнала подключена в цепь включения тормоза подъемной машины. В другом конструктивном варианте датчики установлены над обоймами подшипников в их корпусах.

Повышение безопасности эксплуатации шахтной подъемной установки обуславливает закрепление датчиков на корпусах подшипников, что исключает силовую нагрузку на датчики

при их расположении в корпусах под обоймами подшипников, чем повышается надежность работы датчиков.

Выполнение системы автоматизации и обработки сигнала в виде компаратора и соединенных с ним усилителей сигнала, блока эталонного сигнала, анализатора сигнала и подключение системы автоматизации и обработки сигнала в цепь включения тормоза подъемной машины позволит автоматически сравнивать сигналы, поступающие с датчиков, с эталонными сигналами, соответствующими нормальной режиму эксплуатации подъемной машины.

При расхождении сигналов, что фиксируется анализатором, с последнего посылается сигнал в цепь включения тормоза подъемной машины, что обеспечивает повышение безопасности эксплуатации шахтной подъемной установки за счет исключения разрывной нагрузки на тяговый канат.

Установка датчиков в корпусах над обоймами подшипников обуславливает повышение надежности датчиков в работе за счет исключения вероятности их разрушения, так как датчики расположены внутри корпусов и защищены от внешних факторов, чем, соответственно, повышается безопасность эксплуатации подъемной установки. Кроме этого, установка датчиков в корпусах над обоймами подшипников обеспечит более высокую точность сигналов, поступающих с датчиков в систему автоматизации и обработки сигнала, что позволит повысить надежность работы системы контроля натяжения тягового каната и тем повысить безопасность эксплуатации подъемной установки.

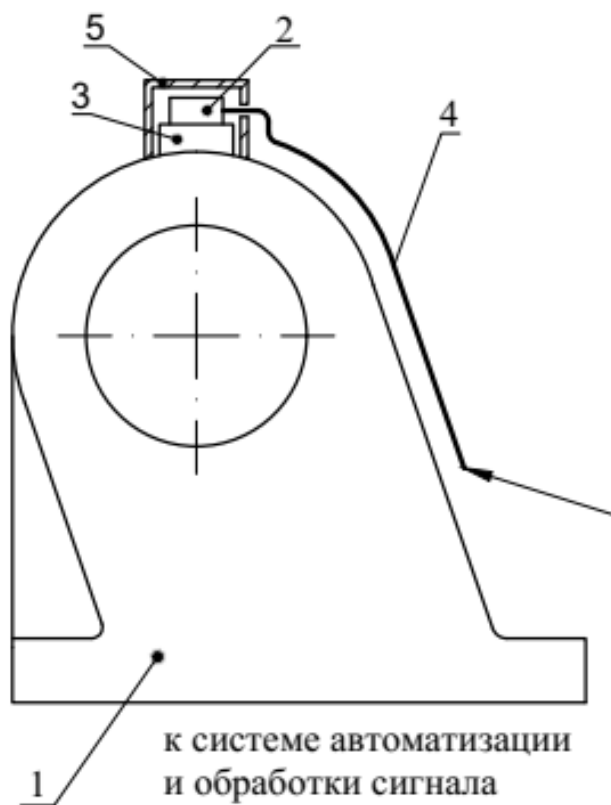


Рисунок 1 – Схема расположения каната в рабочем состоянии: 1 – корпус; 2 – датчик; 3 – площадка; 4 – провод; 5 – кожух

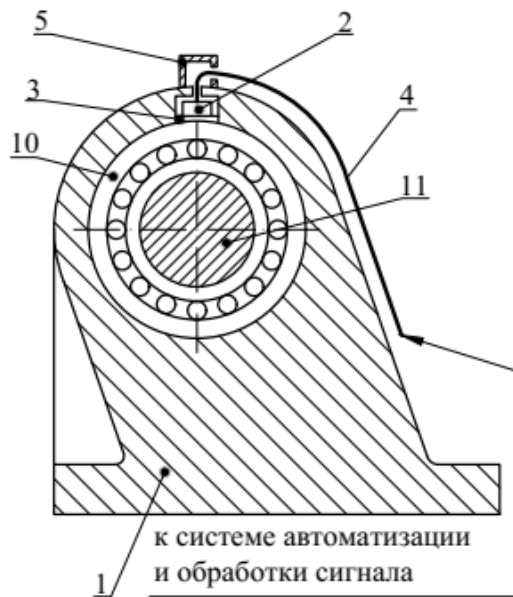


Рисунок 2 – Продольный и поперечный разрезы: 1 – корпус; 2 – датчик; 3 – площадка; 4 – провод; 5 – кожух; 10 – внешняя сторона обоймы подшипника; 11 – вал

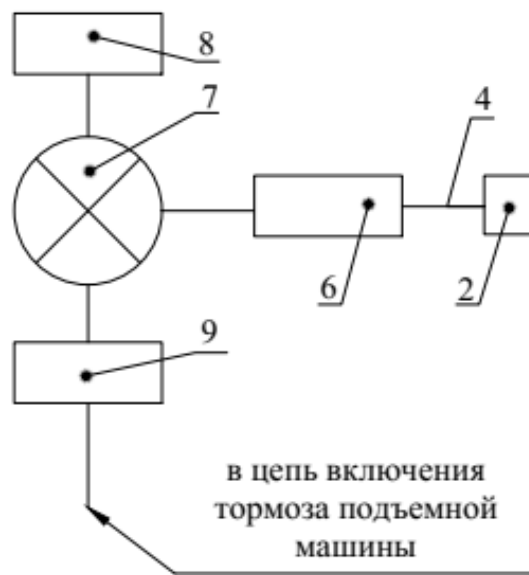


Рисунок 3 – Продольный и поперечный разрезы: 2 – датчик; 4 – провод; 6 – усилитель; 7 – компаратор; 8 – блок эталонного сигнала; 9 – анализатор

Система контроля натяжения тягового каната шахтной подъемной установки представлена на рисунках: на рисунке 1 показан корпус подшипника копрового шкива с установленным на нем датчиком; на рисунке 2 – вертикальный поперечный разрез корпуса подшипника с датчиком, установленным над обоймами подшипников; на рисунке 3 – структурная схема системы автоматизации и обработки сигнала.

Система контроля натяжения тягового каната шахтной подъемной установки включает корпуса 1 подшипников копрового шкива (шкив на фигурах не показан), датчики 2, установленные на площадках 3, закрепленных на внешней стороне корпуса 1. Датчики 2 соединены проводом 4 с системой автоматизации и обработки сигнала, связанную с цепью включения тормоза подъемной машины. Датчики 2 закрыты кожухами 5, закрепленными на корпусах 1.

Система автоматизации и обработки сигнала (см. рис. 3) включает усилитель 6 сигнала, связанный проводом 4 с датчиками 2, компаратор 7, соединенный с усилителем 6, блок 8 эталонного сигнала и анализатор 9 сигнала, соединенные с компаратором 7. Анализатор 9 подключен к цепи включения тормоза подъемной машины.

В другом конструктивном исполнении (см. рис. 2) датчики 2 размещены в корпусах 1 и установлены на площадках 3, расположенных на внешней стороне обойм 10 подшипников, закрепленных в корпусах 1 на валу 11, на котором установлен копровой шкив.

Система контроля натяжения тягового каната шахтной подъемной установки работает следующим образом. При перемещении подъемного сосуда в стволе шахты происходят колебательные процессы в тяговом канате, его вибрация под воздействием динамической нагрузки. Колебания, вибрация каната передаются на шкив копра, со шкива на вал 11, с вала 11 через подшипники на корпуса 1. Датчики 2 фиксируют вибрацию корпусов 1 через площадки 3 и передают сигналы через провода 4 в систему автоматизации и обработки сигнала.

При нормальной эксплуатации каната, исключаяющей его натяжения и ослабления в случае застревания подъемного сосуда в стволе шахты, канат колеблется, вибрирует в диапазоне частот в соответствии с его силовой нагрузкой от минимальной до максимальной в процессе эксплуатации. Величины и частоты колебаний, вибраций каната при нормальной эксплуатации зарегистрированы в блоке 8, как эталонные сигналы, датчиками 2.

Сигналы от датчиков 2, поступающие в систему автоматизации и обработки сигнала по проводам 4, усиливаются усилителем 6 и передаются от него в компаратор 7. В компараторе 7, поступившие в процессе эксплуатации сигналы, сравниваются с эталонными сигналами, поступающие в компаратор 7 от блока 8. Эксплуатационные и эталонные сигналы сравниваются в компараторе 7 и результирующий сигнал поступает в анализатор 9. Если величина результирующего сигнала выходит за пределы эксплуатационно-допустимых, то анализатор 9 посылает сигнал в цепь включения тормоза подъемной машины и подъемная установка останавливается.

При другом исполнении (см. рис. 2), когда датчики 2 расположены в корпусах 1 и установлены на площадках 3, непосредственно контактирующих с внешней стороной обойм 10 подшипников, колебания, вибрации подшипников фиксируются датчиками 2 непосредственно, чем повышается точность сигналов, подаваемых от датчиков 2 в систему автоматизации и обработки сигнала. Датчики 2 устанавливаются на обоих корпусах 1 для обеспечения непрерывной работы системы в случае отказа в работе какого-либо из них.

Таким образом, применение предложенной системы контроля натяжения тягового каната шахтной подъемной установки позволит повысить безопасность эксплуатации подъемной установки посредством повышения надежности работы системы контроля натяжения тягового каната.

Предложенная система контроля натяжения тягового каната шахтной подъемной установки признана экспертизой Кыргызпатента изобретением. Решение о выдаче патента 02/625 (заявка 20210033.1) от 21.02.2022. Авторы: Шамсутдинов М.М., Степанов С.Г., Абылов И., Равшанова А.Р.

Литература

1. Авторское свидетельство №140970, кл. 35а, 18₂₁, 1961, «Устройство для автоматического останова шахтной подъемной машины».
2. Авторское свидетельство №627051, кл. В 66 В 5/14, 1977, «Устройство контроля состояния канатов шахтной подъемной установки».
3. Авторское свидетельство №201738; G011, кл. 42к, 7/02; 21.11.1967, «Устройство для контроля силы натяжения канатов».

ПРОБЛЕМА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТАМ ГУМАНИТАРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ

Александров П.Н.¹, Шаховская О.Ю.²

alexandr@igemi.troitsk.ru, olga.roh@gmail.com

¹ Центр геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта
Российской академии наук, г. Троицк, Россия

² Российская академия адвокатуры и нотариата, г. Москва, Россия

В современном мире количественные данные с каждым днем приобретают все большую актуальность, особенно на фоне научно-технического прогресса. В каждой стране существуют различные статистические службы, которые аккумулируют численные данные по тем или иным сферам деятельности государства (экономические, демографические, социальные показатели и т.д.). К статистическим данным все чаще обращаются политологи и социологи, анализирующие ту или иную информацию в рамках контент-анализа, ивент-анализа и т.д. Безусловно, такие объемы численных данных невозможно анализировать, не используя математические методы. Современное состояние вычислительной техники позволяет решать самые сложные математические задачи. Сложность применения математических методов в анализе социально-экономических, политических, общественных и других гуманитарных процессов связана не со сложностью используемого математического аппарата, а с насыщением математики содержанием предметной области.

Ключевые слова: количественные методы, гуманитарные, госстатистика, математические модели

Введение. Объектом исследования являются данные государственной статистики с целью изучения гуманитарных процессов с применением количественных методов. При наличии огромного объема ретроспективных данных и современного состояния вычислительной техники, разработка методологии применения математических методов анализа и изучения общественных процессов представляет одну из основных и актуальных проблем гуманитарных наук.

Для анализа такого огромного объёма числовой информации необходимо строить математические модели. Собственный анализ цифр бесперспективен и может привести к неверным выводам. При изучении политических процессов, понимая их развитие, можно определить некоторую логику развития этого процесса. Формализованная логика, по определению, и есть математика. Следовательно, математика – гуманитарная наука, поскольку математика исчезнет вместе с человеческой цивилизацией как носительницей математических знаний.

При построении математической модели необходимо руководствоваться первым законом диалектики – единство и борьба противоположностей. Пример, бюджетная политика – единство, а доходная и расходная части бюджета – противоположности.

На примере количественного анализа политических вопросов рассмотрим методологию построения математических моделей для количественного анализа гуманитарных процессов.

Материал, изложенный в данной работе, имеет методологический характер, поэтому математической основой является школьный курс математики. Для более углубленного изучения математических операций, рекомендуется дополнительная литература по математике, где некоторые вопросы изложены более подробно. Используемые

математические методы адаптированы к изучению и использованию в гуманитарной сфере, каковой и является политология.

Количественные характеристики любых процессов имеют числовое выражение. Они состоят из цифр. Цифры – это письменный знак, изображающий число. В десятичной системе исчисления имеются десять цифр от нуля до девяти: 0,1,2,3,4,5,6,7,8,9.

Подобно тому, как из букв алфавита любого языка формируются слова, цифры используются для формирования чисел. Предложение, состоящее из слов, – это функция в математическом языке. Литературное произведение, любой связный текст вообще, состоящий из предложений, – это оператор в математическом языке.

Все данные, приведенные в статистических службах государств, министерствах, организациях и др. имеют не только количественное выражение, но и размерность, аналогичную размерности физической величины.

Теория размерности в гуманитарных науках. Размерность физической величины определяет ее физический смысл. Аналогично, размерность статистических величин определяет их гуманитарный смысл.

Выражение $2+3=5$ имеет математический смысл. Если $2+3=10=20=$ и т.д., то последнее выражение теряет математический смысл и, как следствие, теряется вся математика. Аналогичное имеет место и относительно физического смысла, который появляется в связи с размерностью используемых величин. Известно, что складывать яблоки ($я$) и груши ($г$) нельзя, поскольку они имеют разную размерность. Введем коэффициент a соответствующей размерности, так чтобы можно было провести операцию сложения: $2я + a3г$. Формальные требования π -теоремы [Бриджмен, 2001] выполнены – суммируемые величины имеют одинаковую размерность. Однако размерность коэффициента a будет $\frac{я}{г}$,

что означает – сколько яблок находятся в одной груше. Если бы в груше имелось бы яблоко, то это не было бы грушей, ни яблоком. Теряется физический смысл данного коэффициента и, следовательно, результата операции сложения. Иначе говоря, как и в примере с математическим смыслом операции сложения, потеря физического смысла приводит к потере физического содержания результата математических операций с физическими (размерными) величинами, что выводит исследования за рамки научного познания природы.

В математике имеются две операции суммирования – сложение и объединение. Второе приводит к новому математическому объекту - матрице (таблице), которая может иметь другую (свою) размерность, в данном случае фрукты. Таким образом, $\phi = 2я \cup 3г = [2я, 3г]$.

Отметим, что теория размерности в прошлом использовалась для вывода законов природы.

Стационарные процессы – законы [2]. Закон – правило, по которому элементу из множества объектов действия закона ставится в соответствие элемент из множества результатов действия закона.

Пример: Математической моделью закона о выборах (связь вектора результата голосования X и вектора результата выборов Y) является система уравнений $Y = AX$, где матрица A - определяет реальный механизм действия закона о выборах и является искомой величиной. Вектора X и Y есть векторы-толбцы.

Динамические процессы. Под политическим процессом будем понимать любой процесс, который можно рассматривать с политических позиций. Сложный процесс можно рассматривать как совокупность простых (линейных) процессов. Для построения линейных моделей (линейные функции, системы линейных алгебраических уравнений, системы линейных дифференциальных уравнений и т.п.) необходимо соблюдения условий.

- Между какими процессами существует однозначная взаимосвязь.

- Интервал времени, в котором взаимосвязь процессов может быть описана набором констант.

Пример: динамика предпочтений электората.

Методология количественного анализа политических процессов [1].

1. Время t – единственная независимая переменная в математических моделях политического процесса (ПП). Всякий анализ динамики развития политического процесса должен проводиться с позиций будущего, что является основой для формирования политических выводов и выработки политических решений. Числовые данные, как правило, заданы в дискретные моменты времени и отличаются повышенной точностью, поскольку являются, в основном, данными строгой отчетности (например, валовой внутренний продукт, бюджеты стран и т.п.). Эти данные имеются в достаточном длительном интервале времени по практически всем областям деятельности государства.

2. В общем случае, математические модели ПП – это функции (скалярные, векторные и матричные) времени – $F(t)$, и являются функциями только одной переменной. Переход от табличного (или графического) представления к аналитическому виду функции позволяет решать задачи выявления закономерностей и прогноза развития отдельных политических процессов. Математические методы перехода от таблично заданных функций к их аналитическому описанию являются хорошо разработанным математическим аппаратом.

3. Нахождение и определение взаимосвязей между функциями, описывающие отдельные политические процессы, позволяет определять закономерности в развитии этих процессов во всем комплексе проблем. Основная задача этой части методологии состоит в определении линейных связей между функциями для формирования полной математической модели развития ПП. Это позволит моделировать как сценарии развития (прогноз), так и анализировать ситуации на основе строгого количественного анализа.

Пример построения математической модели динамика предпочтений электората.

$\mathbf{X}(t + \Delta t) = B(\Delta t)\mathbf{X}(t)$ – результаты голосования в последующие моменты времени $t + \Delta t$ линейно зависят от результатов голосования в предыдущие моменты времени t . При достаточно малом интервале времени Δt матрицу B можно разложить в ряд и ограничиться первыми двумя слагаемыми $B(\Delta t) = [I] + \Delta t A$, где $[I]$ – единичная матрица. Тогда $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\mathbf{X}(t + \Delta t) - \mathbf{X}(t)}{\Delta t} = \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{X}(t) = A\mathbf{X}(t)$ – системы линейных обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка.

Пусть объектом нашего исследования является бюджет Российской Федерации, состоящий из двух главных составляющих – доходной и расходной частей. Данные по каждой из частей представляют собой ряды динамики (функции от времени). В соответствии с указанными выше установками, мы сосредоточим внимание на отыскании линейных связей между доходами (D) и расходами (P) бюджета как функциями от времени. Математическая модель имеет вид:

$$D(t + \Delta t) = b_{11}D(t) + b_{12}P(t) \quad (1)$$

$$P(t + \Delta t) = b_{21}D(t) + b_{22}P(t)$$

Смысл коэффициентов системы уравнений следующий:

b_{11} – доходы в предыдущий момент времени $D(t)$ будут влиять на доходы в следующий момент времени $D(t + \Delta t)$ (как прибыль увеличивается за счет эффективного управления или наоборот);

b_{12} – расходы в предыдущий момент времени влияют на доходы в следующий момент времени (например, доходы от инвестиций);

b_{21} – доходы в предыдущий момент времени порождают расходы в следующий момент времени (выплаты зарплат государственным служащим, пенсий и т.д.);

b_{22} – расходы в предыдущий момент времени влияют на расходы в следующий момент времени (например, расходы на создание новой сети государственных учреждений здравоохранения порождают расходы на их дальнейшее содержание).

Представим систему уравнений (1) в виде:

$$D(t + \Delta t) - D(t) = (b_{11} - 1)D(t) + b_{12}P(t)$$

$$P(t + \Delta t) - P(t) = b_{21}D(t) + (b_{22} - 1)P(t)$$

и поделим на интервал времени Δt . Устремим Δt к нулю, тогда в пределе получим:

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} D(t) \\ P(t) \end{pmatrix} = \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{X}(t) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D(t) \\ P(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{X}$$

Иначе говоря, получена линейная система обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка. Будем основываться на данных Федеральной службы государственной статистики¹ по доходной и расходной части бюджета, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Доходная и расходная части бюджета по данным Федеральной службы государственной статистики РФ

Годы	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Доходы бюджета (млрд. руб.)	2098	2684	3519	4139	5430	8580	10626
Расходы бюджета (млрд. руб.)	1960	2419	3422	3965	4670	6821	8375

Найдем конкретные значения матрицы

$$\frac{\partial}{\partial t} \begin{pmatrix} D(t) \\ P(t) \end{pmatrix} = \frac{\partial}{\partial t} \mathbf{X}(t) = \begin{pmatrix} 0.4265 & -0.17596 \\ 0.19661 & 0.009112 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} D(t) \\ P(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0.4265 & -0.17596 \\ 0.19661 & 0.009112 \end{pmatrix} \mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{X},$$

которая и является количественным выражением реально действующей бюджетной политики. Математическая модель приобретает вид:

$$\frac{\partial}{\partial t} D(t) = 0.4265D(t) - 0.17596P(t)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} P(t) = 0.19661D(t) + 0.009112P(t)$$

Или:

$$D(t + \Delta t) = 1.4265D(t) - 0.17596P(t)$$

$$P(t + \Delta t) = 0.19661D(t) + 1.009112P(t)$$

Прогноз модели (сплошные линии) и реальные данные («звездочки») по доходам и расходам бюджета представлены на рис. 1.

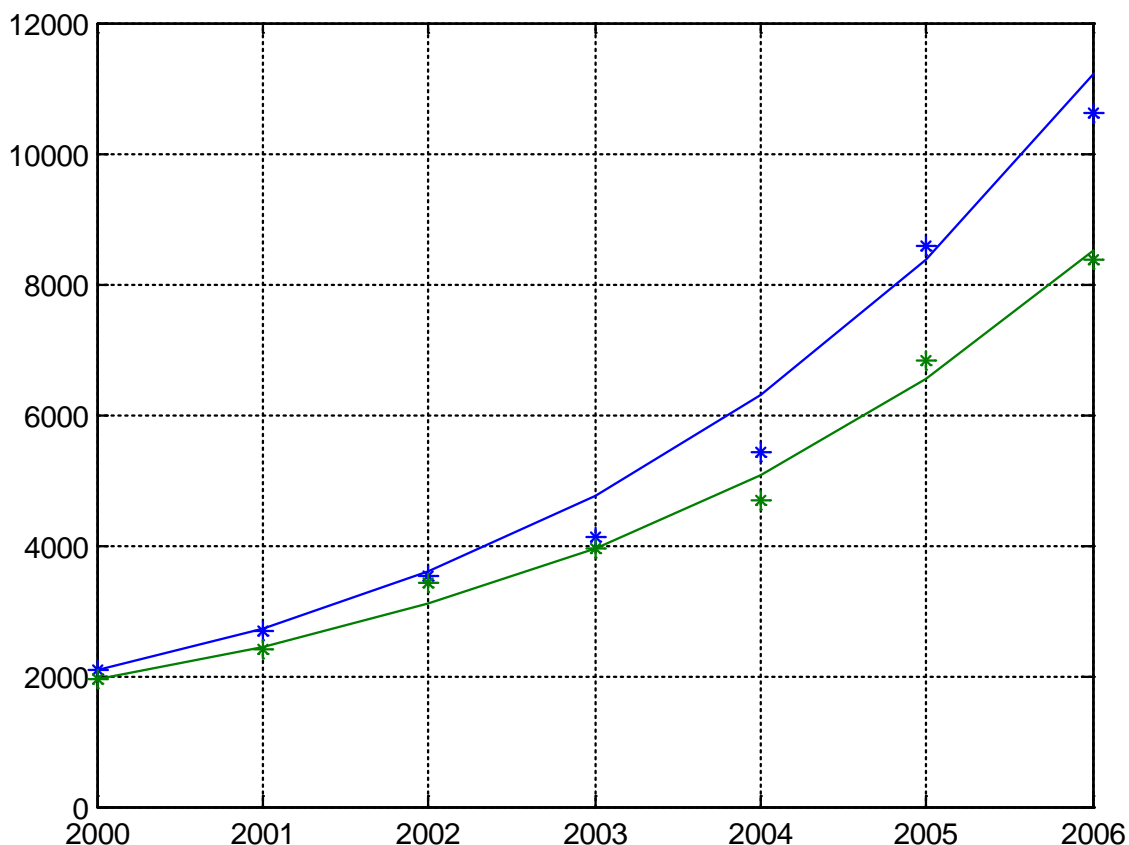


Рисунок 1 – Исходные данные по расходной и доходной части бюджета (звездочки) и результаты решения для математической модели (непрерывные линии). Цветом выделены: зеленым – расходная часть бюджета, синим – доходная. По оси абсцисс отложено время в годах, по оси ординат – части бюджета в миллиардах рублей

Литература

1. Александров П.Н., Ахременко А.С. Математическое моделирование политических процессов // Вестник Московского университета. Сер. 12. Политические науки. 2011. № 3. С. 24-31.
2. Александров П.Н., Сеницкая Е.В., Мошкина К.О., Сулейманов Р.В. Математическое моделирование политических процессов (законы) // Математическое моделирование процессов и систем. Материалы V Всерос. науч.-практ. конф., (Республика Башкортостан, г. Стерлитамак, 17-19 ноября 2016 г.). Ч. 1. Стерлитамак. 2016. С. 64-75.

ⁱ Данные имеются на официальном сайте ФСГС РФ www.gks.ru

ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ В ВЕТРОВЫХ МОДЕЛЯХ: АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

Дон Э.С.

don_e@aicca.kg

Американский университет в Центральной Азии, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В работе рассматривается экмановская модель ветровых течений в водоеме. Модель учитывает достаточно общие ветровые ситуации. В случае водоема прямоугольной формы найдены аналитические решения задачи для интегральных скоростей течения. Предлагается численный метод решения этой же задачи. Приведены результаты численных экспериментов, позволяющих судить об эффективности предложенного метода.

Ключевые слова: процедура обезразмеривания, интегральные скорости, стационарная задача, модель ветра, аппроксимация производных

Введение. В данной работе представлена упрощенная математическая модель ветровых течений в водоеме в стационарном случае. Общая модель ветровых течений в водоеме основана на системе полных нелинейных уравнений гидротермодинамики и описана, например, в работе [1]. Упрощенная модель получена после использования процедуры обезразмеривания и отказа от учета процессов адвекции и горизонтальной диффузии. Вышеуказанная упрощенная модель дополняется моделью ветра, позволяющей учитывать достаточно общие ветровые ситуации. В водоеме прямоугольной формы удастся найти аналитические решения для задачи об интегральных скоростях течений. Изучение таких решений, с одной стороны, позволяет, в первом приближении, оценить качественную картину течений, а с другой стороны, аналитические решения играют важную роль при проверке работоспособности вычислительных методов и алгоритмов, используемых для численной реализации общей модели. В работе предложен вычислительный алгоритм для решения вышеуказанной задачи об интегральных скоростях, алгоритм основан на проекционном варианте интегро-интерполяционного метода [5, 6, 7].

Постановка задачи, упрощенная модель. Будем считать, что поверхность (зеркало) рассматриваемого водоема в плоскости xOy имеет форму прямоугольника:

$$\Omega_0 = [0, r] \times [0, q],$$

глубина его $H > 0$ - постоянна. Оси декартовой системы координат направлены следующим образом: Ox – на восток, Oy – на север, Oz – вертикально вниз. В трехмерной области

$$\Omega = \{(x, y, z) \mid (x, y) \in \Omega_0, 0 \leq z \leq H\},$$

рассмотрим следующую стационарную безразмерную модель ветровых течений экмановского типа.

- система уравнений движения:

$$\begin{cases} -\ell v = -\frac{\partial P^s}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial u}{\partial z} \right), \\ \ell u = -\frac{\partial P^s}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial v}{\partial z} \right), \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \end{cases} \quad (x, y, z) \in \Omega, \quad (1)$$

- краевые условия:

$$\left\{ z = 0, (x, y) \in \overset{0}{\Omega}_0 \right\}: \quad k \frac{\partial u}{\partial z} = -\tau_x, \quad k \frac{\partial v}{\partial z} = -\tau_y, \quad w = 0;$$

$$\left\{ z = H, (x, y) \in \overset{0}{\Omega}_0 \right\}: \quad k \frac{\partial u}{\partial z} = -\tau_x^b, \quad k \frac{\partial v}{\partial z} = -\tau_y^b, \quad w = 0; \quad (2)$$

$$\left\{ 0 \leq z \leq H, (x, y) \in \partial\Omega_0 \right\}: U \cdot n_x + V \cdot n_y = 0; \quad (3)$$

В (3) присутствуют интегральные скорости:

$$U(x, y) = \int_0^H u(x, y, z) dz, \quad V(x, y) = \int_0^H v(x, y, z) dz,$$

а в (2) принимается следующий вариант параметризации придонного трения:

$$\tau_x^b = \mu \cdot U, \quad \tau_y^b = \mu \cdot V, \quad \mu \equiv \text{const} > 0.$$

В соответствии с моделью Стоммела [2,3,4], предположим:

$$\ell = \ell_0 + \beta \cdot y, \quad k \equiv \text{const};$$

компоненты касательного напряжения трения ветра будем задавать следующими формулами:

$$\begin{cases} \tau_x = [F_1 \cdot \cos(r_l x) + F_2 \cdot \sin(r_l x)] \cdot \cos(q_m y), \\ \tau_y = [G_1 \cdot \cos(r_s x) + G_2 \cdot \sin(r_s x)] \cdot \sin(q_p y); \end{cases} \quad (4)$$

в которых приняты обозначения:

$$r_l = \frac{\pi l}{r}; \quad r_s = \frac{\pi s}{r}; \quad q_m = \frac{\pi m}{q}; \quad q_p = \frac{\pi p}{q};$$

$$l, s = 0, 1, 2, \dots; \quad m, p = 1, 2, \dots$$

Таким образом, модель ветра содержит четыре вещественных: F_1, F_2, G_1, G_2 и четыре целых: l, m, s, p числовых параметра, выбор которых дает возможность описать достаточно общую ветровую ситуацию.

Аналитические решения. В системе (1) проинтегрируем каждое уравнение по переменной “ z ” в пределах от 0 до H , с учетом краевых условий. Затем, из первых двух уравнений исключаем градиенты давления, используя перекрестное дифференцирование, в итоге получаем следующую задачу для интегральных скоростей:

$$\begin{cases} \mu \left(\frac{\partial U}{\partial y} - \frac{\partial V}{\partial x} \right) - \beta V = \frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x}, \\ \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} = 0, \quad (x, y) \in \overset{0}{\Omega}_0; \\ U \cdot n_x + V \cdot n_y = 0, \quad (x, y) \in \partial\Omega_0. \end{cases} \quad (5)$$

Для решения задачи (5) введем функцию тока $\Psi(x, y)$, по формулам:

$$U = \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad V = -\frac{\partial \Psi}{\partial x}. \quad (6)$$

Для функции тока получается следующая задача:

$$\begin{cases} \mu \left(\frac{\partial^2 \Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi}{\partial y^2} \right) + \beta \frac{\partial \Psi}{\partial x} = \frac{\partial \tau_x}{\partial y} - \frac{\partial \tau_y}{\partial x}, \quad (x, y) \in \overset{0}{\Omega}_0, \\ \Psi = 0, \quad (x, y) \in \partial\Omega_0; \end{cases} \quad (7)$$

Решение задачи (7) можно представить как сумму двух функций, а именно $\Psi_1(x, y)$ и $\Psi_2(x, y)$, которые удовлетворяют задачам ниже:

$$\begin{cases} \mu \left(\frac{\partial^2 \Psi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi_1}{\partial y^2} \right) + \beta \frac{\partial \Psi_1}{\partial x} = \frac{\partial \tau_x}{\partial y}, & (x, y) \in \overset{0}{\Omega}_0, \\ \Psi_1 = 0, & (x, y) \in \partial \Omega_0; \end{cases} \quad (8)$$

$$\begin{cases} \mu \left(\frac{\partial^2 \Psi_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \Psi_2}{\partial y^2} \right) + \beta \frac{\partial \Psi_2}{\partial x} = -\frac{\partial \tau_y}{\partial x}, & (x, y) \in \overset{0}{\Omega}_0, \\ \Psi_2 = 0, & (x, y) \in \partial \Omega_0; \end{cases} \quad (9)$$

Решение каждой из задач ищем в рамках традиционного подхода: сначала находим частные решения неоднородных уравнений, затем общее решение соответствующих однородных уравнений, затем удовлетворяем краевым условиям этих задач. Приведем окончательные формулы для задачи (8):

$$\Psi_1(x, y) = \left[C_1 e^{Ax} + C_2 e^{Bx} + D_1 \cdot \cos(r_l x) + D_2 \cdot \sin(r_l x) \right] \cdot \sin(q_m y),$$

Где:

$$C_1 = D_1 \cdot \frac{e^{Br} - (-1)^l}{e^{Ar} - e^{Br}}, \quad C_2 = D_1 \cdot \frac{(-1)^l - e^{Ar}}{e^{Ar} - e^{Br}},$$

$$A = -\frac{\beta}{2\mu} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{2\mu}\right)^2 + \frac{\omega}{\mu}}, \quad B = -\frac{\beta}{2\mu} - \sqrt{\left(\frac{\beta}{2\mu}\right)^2 + \frac{\omega}{\mu}};$$

$$D_1 = \frac{\mu(r_l^2 + q_m^2)F_1 + \beta r_l F_2}{\mu^2(r_l^2 + q_m^2)^2 + \beta^2 r_l^2} \cdot q_m, \quad D_2 = \frac{\mu(r_l^2 + q_m^2)F_2 - \beta r_l F_1}{\mu^2(r_l^2 + q_m^2)^2 + \beta^2 r_l^2} \cdot q_m.$$

Аналогичный подход использован для отыскания решения задачи (9), эти формулы в целях сокращения текста, мы не приводим. В результате общее аналитическое решение для функции тока будет представлено в виде суммы:

$$\Psi(x, y) = \Psi_1(x, y) + \Psi_2(x, y). \quad (10)$$

А интегральные составляющие вектора горизонтальной скорости, $U(x, y)$ и $V(x, y)$, получаются дифференцированием функции тока в соответствии формулами (6).

Вышеперечисленные формулы использованы для иллюстрации поля ветра, функции тока и интегральных скоростей на графиках. За основу будет взята модель Стоммела [2, 3, 4] в Северной Атлантике со следующими параметрами:

$$F_1 = -1, F_2 = 0, G_1 = G_2 = 0, l = 1, m = 1, \\ r = 10, q = 2 * \pi, \beta = 0.2, \mu = 0.01.$$

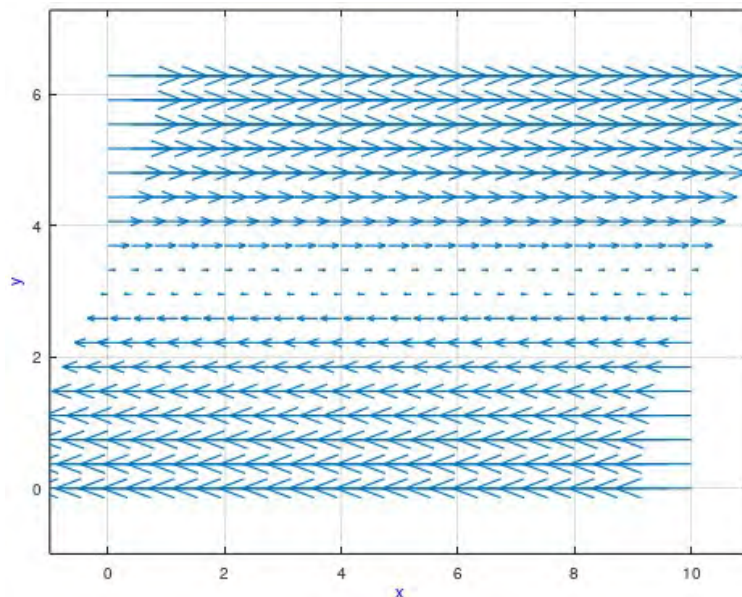


Рисунок 1 – Поле ветра (формула (4))

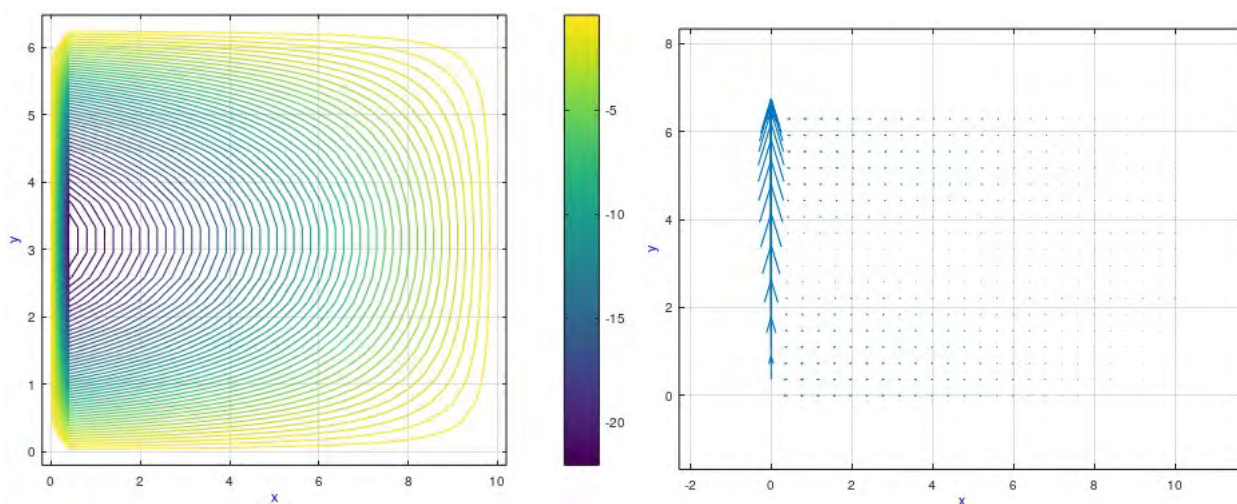


Рисунок 2 – Аналитическое решение функции тока (формула (10)) и интегральные скорости (формула (6))

Численное решение. В этом разделе представлены основные формулы для численного решения задачи о функции тока и интегральных скоростях. С этой целью воспользуемся Проекционным вариантом интегро-интерполяционного метода (далее-ПВИИМ), предложенным в работах [5,6] и исследованным в монографии [7]. Эта методика позволяет в рамках единого подхода построить как аппроксимацию уравнения (5), так и аппроксимации производных его решения (6), что необходимо для вычисления интегральных скоростей по вышеприведенным формулам.

Вычислительная сетка будет иметь вид:

$$\omega_h \equiv \left\{ (x_i, y_j) \mid x_i = (i-1) \cdot \Delta x, y_j = (j-1) \cdot \Delta y; \right. \\ \left. i = \overline{1, n}; j = \overline{1, k}; \Delta x = \frac{r}{n-1}; \Delta y = \frac{q}{k-1} \right\}$$

Пусть сеточная функция $\{\Psi_{i,j}\}$, определенная на этой сетке состоит из приближенных значений для величин - точного решения. Методику ПВИИМ применим для последовательной аппроксимации уравнения (5), сначала по переменной «x», а затем по переменной «y». В соответствии с ПВИИМ, получается интегро-разностное тождество. Именно это тождество является первоначальным для нахождения конечно-разностных соотношений, путем аппроксимации интегралов в правой части уравнения. Полученные соотношения дают полную информацию, необходимую для построения аппроксимаций как уравнения для функции тока, так и всех необходимых производных.

Для численного решения задачи для функции тока используется следующая разностная схема и итерационный метод Зейделя [8]:

$$\left[\frac{2\mu}{\Delta y^2} + \frac{2\mu}{\Delta x^2} (1 + R\theta) \right] \cdot \Psi_{i,j} = \frac{\mu}{\Delta x^2} [1 + R(1 + \theta)] \cdot \Psi_{i+1,j} + \frac{\mu}{\Delta x^2} [1 - R(1 - \theta)] \cdot \Psi_{i-1,j} + \\ + \frac{\mu}{\Delta y^2} (\Psi_{i,j+1} + \Psi_{i,j-1}) - F(x_i, y_j), \quad i = \overline{2, n-1}; \quad j = \overline{2, k-1}. \quad (11)$$

В (11) и далее мы используем следующие обозначения:

$$R = \frac{\beta \cdot \Delta x}{2\mu}, \quad \theta = \theta(R) = \text{ctg}R - \frac{1}{R}, \\ D_y^+ \Psi_{i,j} = \frac{\Psi_{i,j+1} - \Psi_{i,j}}{\Delta y}, \quad D_y^- \Psi_{i,j} = \frac{\Psi_{i,j} - \Psi_{i,j-1}}{\Delta y},$$

$$D_x^+ \Psi_i = \frac{\Psi_{i+1} - \Psi_i}{\Delta x}, \quad D_x^- \Psi_i = \frac{\Psi_i - \Psi_{i-1}}{\Delta x}.$$

Для построения аппроксимаций производных (интегральных скоростей U и V) будем использовать следующие конечно-разностные соотношения:

Для внутренних узлов сетки:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial x} \approx \frac{1-\theta}{2} \cdot [1+R(\theta+1)] D_x^+ \cdot \Psi_{i,j} + \frac{1+\theta}{2} \cdot [1+R(\theta-1)] D_x^- \cdot \Psi_{i,j}.$$

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial y} \approx \frac{1}{2} \cdot (D_y^+ \cdot \Psi_{i,j} + D_y^- \cdot \Psi_{i,j}).$$

На левой вертикальной границе:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial x} \approx [1+R(\theta+1)] D_x^+ \cdot \Psi_{i,j} - \Delta x \cdot \frac{1+\theta}{2\mu} \cdot F(x_i, y_j).$$

На правой вертикальной границе:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial x} \approx [1+R(\theta-1)] D_x^- \cdot \Psi_{i,j} + \Delta x \cdot \frac{1-\theta}{2\mu} \cdot F(x_i, y_j).$$

На верхней горизонтальной границе:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial y} \approx D_y^- \cdot \Psi_{i,j} + \Delta y \cdot \frac{1}{2\mu} \cdot F(x_i, y_j).$$

На нижней горизонтальной границе:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial y} \approx D_y^+ \cdot \Psi_{i,j} - \Delta y \cdot \frac{1}{2\mu} \cdot F(x_i, y_j).$$

В дополнение к перечисленным формулам, следует добавить, что $\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial y} = 0$ на

вертикальных границах и $\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial x} = 0$ – на горизонтальных границах.

Данный метод аппроксимации интегральных скоростей будет сравниваться с методом, который используется традиционно, ниже будут представлены необходимые формулы:

Для внутренних узлов сетки:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial y} \approx \frac{\Psi_{i,j+1} - \Psi_{i,j-1}}{2\Delta y}, \quad \frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial \Delta x} \approx -\frac{\Psi_{i+1,j} - \Psi_{i-1,j}}{2\Delta x}.$$

На левой вертикальной границе:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial x} \approx \frac{-\Psi_{1,j} + \Psi_{2,j}}{\Delta x}.$$

На правой вертикальной границе:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial x} \approx \frac{-\Psi_{n,j} - \Psi_{n-1,j}}{\Delta x}.$$

На верхней горизонтальной границе:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial y} \approx \frac{-\Psi_{i,1} - \Psi_{i,2}}{\Delta y}.$$

На нижней горизонтальной границе:

$$\frac{\partial \Psi_{i,j}}{\partial y} \approx \frac{-\Psi_{i,k} - \Psi_{i,k-1}}{\Delta y}.$$

Для сравнения этих методов, будем использовать относительную погрешность:

$$RelErr(\Psi) = \frac{\|\Psi - \bar{\Psi}\|_\infty}{\|\Psi\|_\infty} \times 100(\%), \quad \|\Psi - \bar{\Psi}\|_\infty \equiv \max_{i,j} |(\Psi)_{i,j}^h - \bar{\Psi}_{i,j}|, \quad \|\Psi\|_\infty \equiv \max_{i,j} |\Psi(x_i, y_j)|.$$

Полученные погрешности функции тока, интегральных скоростей, вычисленных традиционным методом ($U_{\text{№1}}$, $V_{\text{№1}}$) и ПВИИМ ($U_{\text{№2}}$, $V_{\text{№2}}$), представлены в таблице ниже:

	15x11	25x17	45x35	101x71
Ψ	0.3169	0.1729	0.077030	0.018596
$U_{\text{№1}}$	1.6666	0.7402	0.2112	0.051218
$V_{\text{№1}}$	92.963	87.945	78.161	56.764
$U_{\text{№2}}$	1.6666	0.7402	0.2112	0.051218
$V_{\text{№2}}$	0.4570	0.2381	0.097714	0.023548

По результатам полученных погрешностей из таблицы выше понятно, что вычисления интегральной скорости по ПВИИМ точнее традиционного.

Литература

1. Марчук Г.И., Саркисян А.С. Математическое моделирование циркуляции океана. М.: Наука. 1988. 302 с.
2. Ekman. V.W. On the influence of the Earth rotation on ocean currents // Arkiv Mat., Astron., or Fysik. 1905. Bd. 2. № 11. P. 1-52.
3. Stommel H. The westward intensification of wind-driven ocean currents - Trans. Amer. Geoph. Un., 1948, 29, p. 202-206.
4. Stommel H. The Gulf Stream: A Physical and Dynamical Description. Berkeley: University of California Press. 1965. 248 p.
5. Скляр С.Н. О дискретизации задач с пограничным слоем при помощи одного проекционного варианта метода интегральных тождеств. I. Несамосопряженное уравнение, первая краевая задача // Изв. АН Кирг. ССР. Физ.-техн. и матем. науки. 1988. № 4. С. 10-23; II. Несамосопряженное уравнение, третья краевая задача // Там же. 1989. № I. С. 3-10; III. Самосопряженное уравнение // Там же. 1989. № 4. С. 3-11.
6. Sklyar S.N. A projective version of the integral-interpolation method and it's application for the discretization of the singular perturbation problems // "Advanced Mathematics: Computations and Applications". Proc. Of the International Conf. AMCA-95. -NCC Pabliher, Novosibirsk, 1995. P. 380-385.
7. Еремеев В.Н., Кочергин В.П., Кочергин С.В., Скляр С.Н. Математическое моделирование гидродинамики глубоководных бассейнов. Севастополь: ЭКОСИГидрофизика. 2002. 238 с.
8. Самарский А.А., Николаев Е.С. Методы решения сеточных уравнений. М.: Наука. 1978. 592 с.

РАБОЧИЙ МАКЕТ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОЛЕБАНИЙ

Жусупкелдиев Ш.¹, Автандил кызы Г.¹, Осконбаев А.Т.²
sharshen58@mail.ru., gavtandilkyzy@bk.ru., aitbek.oskonbaev@mail.ru

¹ Кыргызский национальный университет им. Ж. Баласагына,
г. Бишкек, Кыргызская Республика

² Институт инновационных профессий, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В работе представлен макет, регистрирующий колебания поверхности земли, для изучения сейсмических активностей в качестве первичных преобразователей в сейсмо- и виброизмерительных системах и комплексах измерений колебательных процессов с применением датчика, работающего на основе прямого пьезоэффекта.

Ключевые слова: прямой пьезоэффект, экзoeлектронная эмиссия, Arduino, LM386.

Введение Антропогенное воздействие и интенсивный рост использования природных ресурсов Земли в последнее время привело к глобальному изменению климата, поэтому на всех континентах нашей планеты часто происходят стихийные бедствия, увеличивается природные катаклизмы, количества землетрясений, иначе говоря, изменяются циклические процессы планеты-Земли.

Поэтому, для выявления истинную картину изменения климата нашей Земли, ученые со всего мира провели всесторонние исследования с применением множества физико-химических и технических приборов, разработали наиболее оптимальные методики измерений и анализа, вплоть до математических и компьютерных моделирований на основе экспериментальных данных.

Тем не менее, в настоящее время опираясь на основе научных данных отсутствует конкретное высказывания о предстоящем землетрясений в определенном участке Земного шара, но, предположения и прогноз в будущем, на основе многолетней полученной корреляционного анализа уже существует, что показывает наука на правильном пути.

Введение. Землетрясение - это колебание поверхности земли или подземные точки, которые являются отображением внутренних геологических изменений планеты[1,2]. В основе возникновения такого эффекта лежит смещение тектонических плит, которые ведут к разрывам земной коры и мантии. Как следствие, колебательные движения, в зависимости от интенсивности процесса, могут распространяться на большие расстояния, принося с собой не только разрушающее действие на социальную инфраструктуру, но и угрозу жизни людей.

Как и любая другая наука, сейсмология может активно развиваться только во взаимовыгодном симбиозе с другими науками, одним из таких наук является электроника и микроэлектроника. Поэтому для изучения землетрясений, оценка интенсивности землетрясений применяются сейсмографы и годографы. Чтобы контролировать сейсмические процессы, изучать их и заранее предупредить общественность об их появлении, на обозначенных территориях строятся сейсмические станции. Изучаются все необходимые характеристики подземных толчков – магнитуда, нахождение и глубина залегания очага.

Датчики колебания. Для измерения пространственно- временных характеристик колебательного процесса с определенными амплитудными значениями применяются датчики работающие на основе эмиссии электронов с поверхности пробного электрода или экзoeлектронной эмиссии либо, датчика давления с использованием прямого пьезоэффекта [3].

Кварцевые резонаторы на основе пьезоэлектрических материалов таких как: лангасит, ниобат и др. нашли массовое применение для обнаружения внутренних дефектов в твердых

веществах, поэтому, широко применяются в различных областях науки и техники [4], в частности:

- в качестве первичных преобразователей в сейсмо-и виброизмерительных системах и комплексах;
- системах мониторинга зданий;
- системах охраны окружающих объектов, АЭС, путепроводы, газопроводы, ЛЭП и др.;
- навигационных системах позиционирования.

Основной принцип работы устройств – преобразование механического воздействия в нужный электрический сигнал.

Помимо, этого, в настоящее время при исследовании деформированного состояния твердых и газообразных веществ используют фотографический, оптический и поляризационный методы [3], а применение экзоэлектронной эмиссии в научный контроль для получения информации о процессах напряженного состояния, разрушении и других фазовых переходах используют энергетический спектр холодной эмиссии, где работа выхода первичной и вторичной эмиссии чувствительна к фазовым превращениям проводящего материала.

Рабочий макет датчика на платформе Arduino. Для студентов, обучающихся по смежным специальностям, связанными с электроникой, горное дело и сейсмологией, крайне важно иметь практические навыки по обращению с электронными измерительными приборами. Монтаж и сборка электронных схем на определенных платформах не только закрепляет теоретические знания, но и развивает инженерное мышление и конструкторские способности. Приобретая нужные навыки и умения будущий, инженер выбирает нужную платформу для решения своей задачи и определяет физические принципы и соответствующего датчика, поэтому, создание рабочего макета является актуальной задачей.

Arduino - это электронная платформа с открытым исходным кодом, которая позволяет взаимодействовать с окружающим миром [5], на аппаратном уровне это серия смонтированных плат, управляющим элементом макета являются микроконтроллеры семейства AVR. [6]

Датчик землетрясения (рис.1), для определения внешних вибрационных воздействий земной коры состоит из гибкой металлической пружины, внутри диэлектрической трубки, сигнал поступает для усиления на операционный усилитель LM386 и передается на аналоговый выход, в этот момент звучит пьезозуммер и световая индикация.

На рисунке 2, показан рабочий макет для исследования регистрации внезапных механических колебаний во время землетрясений.



Рисунок 1 – Внешний вид датчика землетрясений

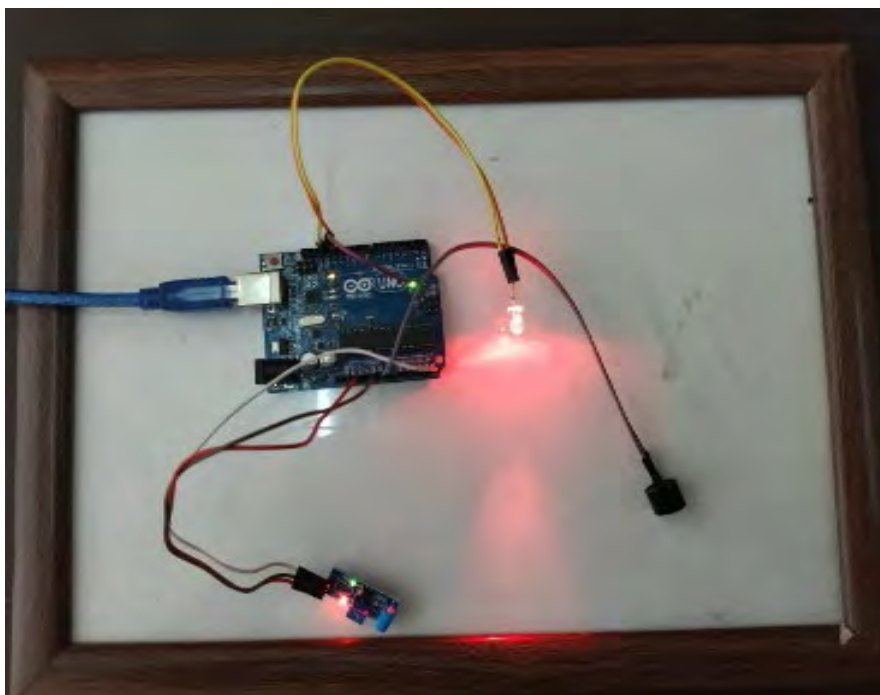


Рисунок 2 – Внешний вид и демонстрация работы макета

Заключение. В работе был рассмотрен макет для регистрации землетрясения на основе платформы Arduino с выделением световой индикации и оповещением звукового сигнала, что является нужным физическим прибором для демонстрации лекционно-практических и лабораторных занятий.

На основании договора от 23.03.2018 г. о научно-техническом сотрудничестве между Научной станцией Российской академии наук в г. Бишкек и Кыргызским национальным университетом им. Ж. Баласагына, НС РАН с привлечением сотрудников, магистрантов и студентов кафедры электроники и наноэлектроники были проведены несколько экскурсий по лабораториям Научной станции. В период пандемии, когда студенты занимались в онлайн режиме, коллектив НС РАН в качестве ознакомления с лабораториями Научной станции, прочитали 20-часовой курс ознакомительной лекции. И каждая лекция для студентов и магистрантов, в том числе сотрудников кафедры, была неоспоримым толчком в области новой науки ГЕОФИЗИКИ, за что мы благодарны сотрудникам и коллективу НС РАН во главе с директором А.К. Рыбиным.

В настоящее время, на основе дополнительного соглашения от 30.09.2020 г. между НС РАН и КНУ, с поддержкой НС РАН, на кафедре электроники и наноэлектроники создается учебно-научная “Лаборатория геофизики”, открытие которой состоится в ближайшее время.

Литература

1. Аки К., Ричардс П. Количественная сейсмология: Теория и методы. Т. 1. М.: Мир. 1983. 360 с.
2. Заславский Г.М., Сагдеев Р.З. Введение в нелинейную физику. М.: Наука. 1988. 368 с.
3. <http://www.chem21.info/info/1566511/>
4. https://newpiezo.com/knowledge_base/crystals/langatat/
5. <http://arduino.ru/Hardware>
6. https://elektrovesti.net/tools/483_vse-o-mikrokontrollerakh-avr

МЕТОД АТОМНО–СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КАБЕЛЯ НА ОСНОВЕ Nb-Ti СПЛАВА

Касмамытов Н.К., Ынтымакова А.С.
nurkas@mail.ru, aklima.int@mail.ru

Институт физики им. академика Ж. Жеенбаева Национальной академии наук,
г. Бишкек, Кыргызская Республика

Пропускная способность сверхпроводника от его микроструктуры. На технологическом этапе необходимо обеспечить непрерывность процесса и заданную плотность микродефектов. Поэтому целью данной работы было оценить и представить результаты исследований влияния пластической деформации (растяжения) на структуру сверхпроводника на основе сплава Nb-Ti. Механические испытания проводились на одноосное растяжение до разрушения на испытательной машине Walter + Bai AG LFM-125 (максимальное усилие до 125 кН). Внутренняя структура образца в месте разрушения после подготовки образца была изучена с помощью атомно–силового микроскопа. Было изучено влияние деформации на геометрические параметры волокон Nb-Ti. Подготовка образцов включала в себя шлифовку, полировку и травление.

Ключевые слова: сверхпроводящий кабель на основе Nb-Ti сплава, механическое испытание, деформация, атомно-силовой микроскоп, Nb-Ti волокна, медная оболочка, медный сердечник.

Введение. Появившиеся относительно недавно композиционные сверхпроводящие материалы, предназначенные для Международного экспериментального термоядерного реактора, приобретают все более широкое применение в различных областях, к примеру: в современной цифровой электронике, энергетике, промышленности и медицине в системах магнитно-резонансной томографии, в сверхпроводящих силовых линиях связи в системах ЛЭП и другие. Отметим, что промышленное использование явления сверхпроводимости тесно связано с генерированием, передачей и использованием электроэнергии. Например, по сверхпроводящему кабелю диаметром несколько дюймов можно передавать столько же электроэнергии, как и по огромной сети ЛЭП, причем с очень малыми потерями или вообще без них [1,2]. Сверхпроводящие кабели зачастую используются в тяжело нагруженных условиях эксплуатации, поэтому они должны обладать существенно более повышенными эксплуатационными свойствами, в частности: супервысокими электрическими, теплофизическими и механическими характеристиками. Из физики твердого тела известно, что конечные свойства сверхпроводящего материала в первую очередь предопределяются особенностями формирования макро и микроструктуры, т.е. токнесущая способность сверхпроводящего кабеля, напрямую зависит от особенностей формирования его микроструктуры [3-4].

Целью настоящей работы являлось исследование микроструктуры сверхпроводящего кабеля на основе Nb-Ti сплава после механических испытаний на растяжение до начала разрушения опытного сверхпроводящего образца методом атомно-силовой микроскопии.

Материалы и методы исследований. Диаметр исходного исследуемого образца на основе составлял 1.3 мм. Опытные образцы в виде проволоки подвергались пластической деформации на растяжение на испытательной машине Walter+Bai AG LFM-125 (max усилие до 125 кН). Относительное деформационное удлинение образцов составляло $\epsilon=4,3\%$, при котором образцы не разрушались. Для проведения АСМ исследований микроструктуры пластически деформированные образцы Nb-Ti сплава по известной методике [5] подвергались

последовательному тщательному препарированию, с использованием наждачных бумаг, шлифовальной машины, спирта, азотной кислоты и алмазной пасты.

Результаты исследований. На рисунках 1-3 показаны микроструктурные изображения с поверхности опытных образцов в виде 2d и 3d форматах, полученных в контактном режиме АСМ методом латеральных сил. Для удобства анализа структурных микрофотографий АСМ исследуемая поперечная поверхность проволоочного Nb-Ti сплава условно подразделяется на следующие составляющие. Микроструктура состоит из оболочки, определенного центра, области между оболочкой и матрицей и самой медной матрицы.

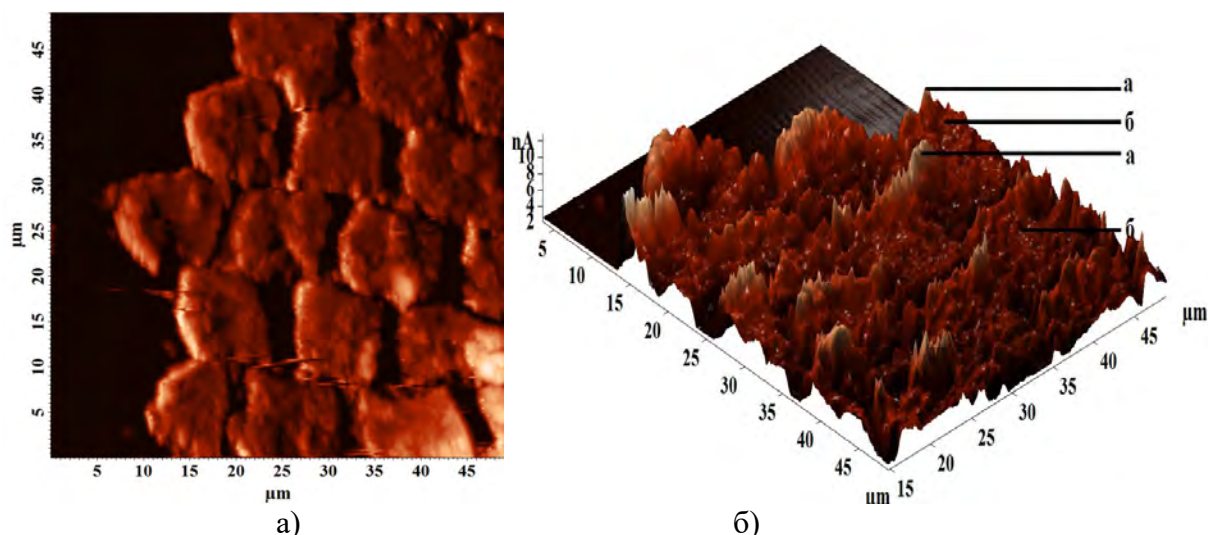


Рисунок 1 – Микроструктурные изображения, полученные с помощью АСМ в 2d (а) и 3d (б) форматах с поперечных поверхностей Nb-Ti образца, подвергнутого относительной деформации $\varepsilon=4,3\%$

На рис. 1 а,б соответственно представлены изображения оболочки образца в 2d и 3d форматах. Исходная поперечная форма Nb-Ti волокон до деформации является округлой. После пластической деформации на растяжение форма волокон опытных Nb-Ti образцов из округлой формы переходит в ромбическую форму, хотя наблюдаются волокна близкой по форме к квадратной форме, а также имеет место по форме виде шестигранной (рис.3а), а в отдельных случаях наблюдаются также трапециевидной формы. Очевидно, деформационное изменение формы волокон с округлой формы в ромбовую или квадратную и другие формы, например, в шестигранные и трапециевидные следует связывать с деформационным полиморфизмом структуры с элементами полипептии.

На рисунках 1-3 показаны изображения микроструктур образцов после деформации с относительным удлинением $\varepsilon=4,3\%$. В результате пластической деформации медь в сердечнике приобретает субмикроструктурную структуру со средним размером зерен ~ 800 нм, в которой чередуются одиночные зерна и их конгломераты, которые в свою очередь состоят из нескольких зерен, наблюдается до восьми зерен. Больше всего медь в сердечнике деформируется по границам “сердечник–промежуточный слой образца”, причем размеры зерен в этой области лежат в достаточно широком диапазоне. Максимальные диаметральные размеры этих зерен достигают ~ 2120 нм, а минимальный ~ 310 нм. В промежуточном слое матрицы в области между волокнами находятся зерна меди размером ~ 800 нм, тогда как в оболочке проводника размер зерен меди составляет ~ 1050 нм.

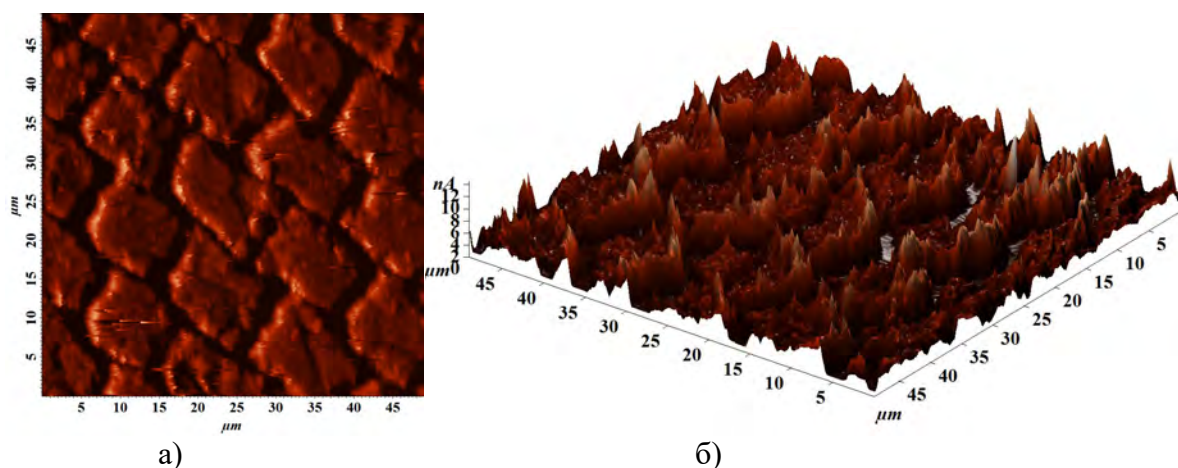


Рисунок 2 – Изображение АСМ расположившихся в центре от оболочки до матрицы волокон с деформацией $\varepsilon=4,3\%$ в 2d формате (а), Изображение АСМ расположившихся в центре от оболочки до матрицы волокон с деформацией $\varepsilon=4,3\%$ в 3d формате

На рисунке 2 видно, что в центральных областях волокна, т.е. в центре от оболочки до матрицы, волокно подвергается большей степени деформации по сравнению с волокнами расположенных в области матрицы. В промежуточном слое форма и поперечный размер волокон Nb-Ti также заметно изменяются: например, на границе с медным сердечником волокна диаметром ~ 10 мкм имеют округлую форму, а в области медной оболочки волокна превращаются в ромбическую форму с диагоналями ~ 13 и 11 мкм.

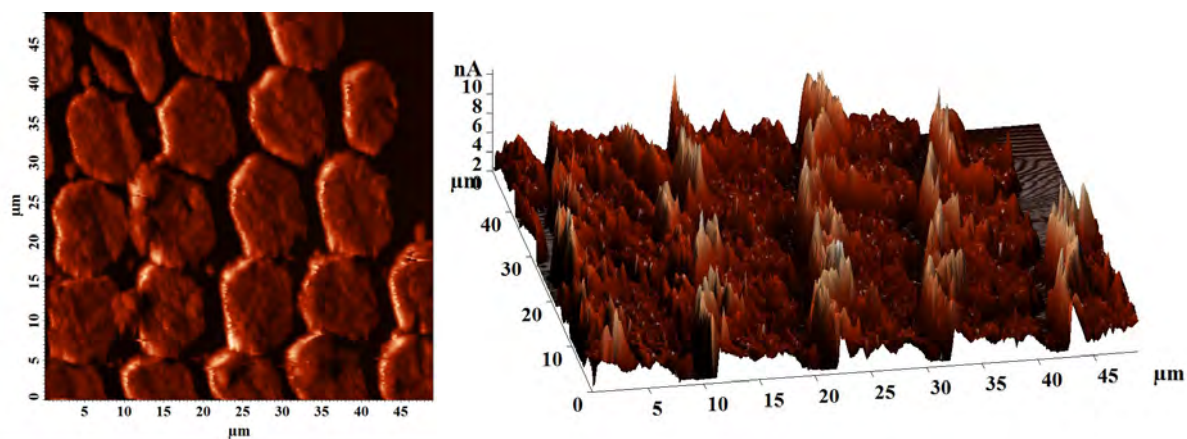


Рисунок 3 – Изображение матрицы образца с деформацией $\varepsilon=4,3\%$ в 2d формате б) Изображение матрицы образца с деформацией $\varepsilon=4,3\%$ в 3d формате

Под действием пластической деформации медь в элементах кабеля приобретает субмикроструктурную структуру со средним размером зерна в сердечнике и промежуточном слое матрицы между волокнами ~ 800 нм, в местах разрыва проводника в промежуточном слое между волокнами их размеры достигают ~ 850 нм, а в оболочке ~ 1050 нм. Форма волокон Nb-Ti в промежуточном слое также изменяется от правильной округлой до квадратной, при этом химический состав волокон изменяется незначительно.

Обработка полученных результатов в программе Профилограмма и Фаза. Ниобиевые барьеры в 2d формате просматриваются в виде светлой окантовкой по периферии волокна (см. рис.4а), на профилограмме (см. рис.4б) ниобиевый барьер показан высокоамплитудным максимумом-а.

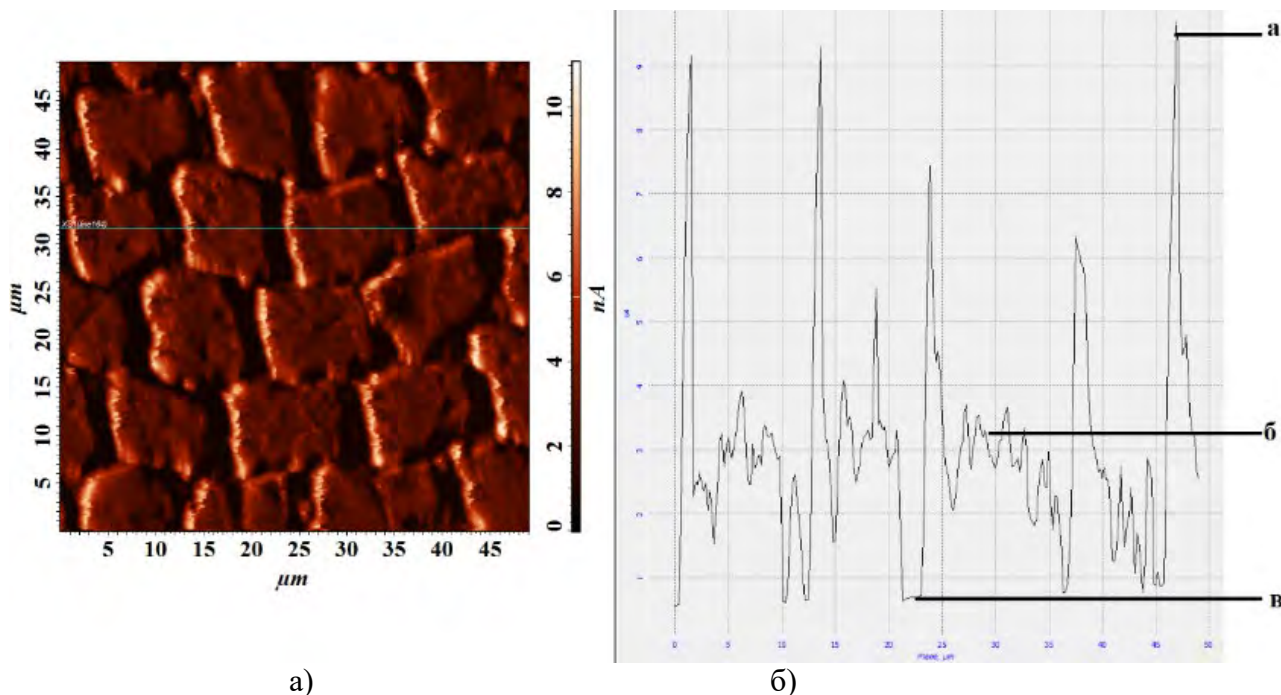


Рисунок 4 – Обработка полученных результатов в программе профилограмма, а – Ниобиевый барьер (Nb), б - Nb- Ti волокна, в – матрица (Cu)

На рисунке 5 наглядно просматриваются поперечные сечения волокон Nb-Ti образцов, которые состоят из трех разных фаз. Видно, что в поперечном сечении светло-белая фаза-а является ниобиевым барьером, она формируется тонкой каймой и распределена по боковой поверхности волокна. Структурная фаза - б является телом волокна, а темно-черная фаза - в связывающая волокна является медной матрицей. Ниобиевые барьеры распределены тонким слоем по краям волокна для того, чтобы изолировать и предотвратить контактирование с соседними волокнами и с медной матрицей.

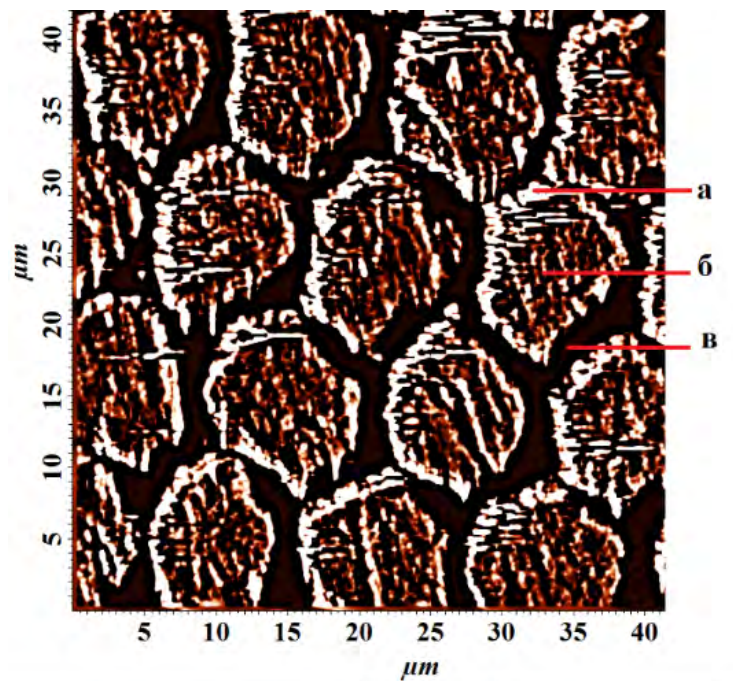


Рисунок 5 – Обработка полученных результатов в программе фаза—фильтр, фаза а – Ниобиевый барьер (Nb), фаза б - Nb- Ti волокна, фаза в – матрица (Cu)

Заключение. Таким образом, АСМ исследования поперечного сечения шлифа после травления показывают, что вокруг волокон Nb-Ti имеется связующая черная фаза, состоящая из меди (см. рис.5, черная фаза –в), а также имеется в виде светло-белой окантовки ниобиевый барьер, присутствующий на всех Nb-Ti волокнах сверхпроводника, которая отделяет волокно от медной матрицы.

Методом АСМ изучены особенности изменения микроструктуры сверхпроводящего кабеля на основе Nb-Ti после пластической деформации на растяжение с относительной деформацией $\varepsilon=4,3\%$. Установлено, что под действием пластической деформации морфология (т.е. форма и размеры) поперечного сечения волокна изменяются, они из округлой формы становятся ромбическими, кубическими, шестигранными, что связывается с деформационным полиморфизмом с элементами полипептии.

Следует также отметить, что методика АСМ исследования микроструктуры сверхпроводника после механических испытаний позволяет в априори предсказать и оценить изменение физико-механических, а также химических характеристик сверхпроводящего кабеля на основе Nb-Ti сплава.

Литература

1. Bardeen J., Cooper L.N. and Schrieffer J.R. 1957. Theory of superconductivity (American Physical Society) 1957, p. 1175–1204.
2. Kalimov A.G. Physical foundations of superconductivity J. St. Petersburg: RADIO AND COMMUNICATIONS. 2007. P. 344-352.
3. Zuev L.B., Shlyakhova G.V., Barannikova S.A. and Malinovskiy A. May Microstructure of superconducting cable components Int. J. GEOMATE. 2016. Vol 10. No. 21. P. 1906-1911.
4. Zuev L.B., Shlyakhova G.V., Barannikova S.A. and Kolosov S.V. Microstructure of elements of a superconducting alloy Nb-Ti cable Russ. Metal. 2013. V. 2013. No. 3. P. 229-234.
5. Becker M. and Klemm H. Methods of metallographic etching. Handbook. M.: Metallurgy. 1988. P. 14-28.

ДОСТОИНСТВА И ПРЕИМУЩЕСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ ОГНЕУПОРНОЙ КЕРАМИКИ

Кыдыралиев Э.М.

Kudyrallyev_e@mail.ru

Институт физики им. академика Ж. Жеенбаева Национальной академии наук,
г. Бишкек, Кыргызская Республика

Сегодня про огнеупорные вещества можно говорить бесконечно. Мы будем рассматривать именно огнеупорную керамику. Огнеупоры - от слова, означающего прочные или стойкие материалы, которые предназначены для того, чтобы выдерживать очень высокие температуры, встречающиеся в современном производстве. Огнеупоры удерживают тепло и защищают технологическое оборудование от интенсивных температур расплавленных материалов и перегретых газов. От 1000 градусов до 4000 градусов по Фаренгейту и выше огнеупоры защищают промышленные процессы, которые служат человечеству. Огнеупоры необходимы для производства нефтехимической продукции и очистки бензина. Огнеупоры производятся из природных и синтетических материалов, обычно неметаллических или из комбинаций соединений и минералов, таких как глинозем, шамот, боксит, хромит, магнезит, доломит, карбид кремния, цирконий и многие другие. Минералы должны соответствовать строгим спецификациям, чтобы обеспечить долговечность и эффективность конечного продукта.

Ключевые слова: огнеупорная керамика, структура, свойства, физическое, химическое, состав, сырьё, температура.

Огнеупорная керамика представляет собой чрезвычайно термостойкие конструкционные материалы, разработанные для того, чтобы выдерживать экстремальные температуры, необходимые для производства и других промышленных процессов. К огнеупорной керамике относятся техническая керамика, термо-керамика, высокотемпературная керамика (ВТК) и сверхвысокая температурная керамика (СВТК), последняя может выдерживать температуры свыше 2000°C. Помимо термостойкости, огнеупорные керамические материалы обладают множеством других преимуществ они обладают: высокой стойкостью к окислению и коррозии, высокой теплопроводностью и механической прочностью, низким коэффициентом теплового расширения и выдающаяся стойкость к истиранию.

Огнеупорные изделия отличаются способностью сохранять на должном уровне свои функциональные свойства (прочность под нагрузкой, постоянство формы и объема, газонепроницаемость, термостойкость и т. д.) при очень высоких температурах (как минимум 1500°C и выше). Огнеупорные изделия широко используются в машиностроительной, металлургической, стекольной, химической, сахарной и других отраслях промышленности. Основным назначением огнеупоров является защита внешней среды и менее стойких элементов конструкции от воздействия высоких температур, горячих газов, расплавов и т. п.

Огнеупорные керамические изделия отличаются высокой термостойкостью, механической прочностью и теплоизоляционными свойствами при температурах до 1600 градусов. В зависимости от назначения, пористость изделия может составлять 18-30%. Наиболее часто в промышленности применяются алюмосиликатные и корундовые керамические огнеупоры. Главное достоинство керамических огнеупоров – это их способность полноценно заменять изделия из дорогостоящих материалов, таких как чугун и сталь. Кроме того, использование огнеупорной керамики позволяет значительно увеличить срок службы конструкции.

Огнеупорные изделия оцениваются по ряду свойств, ключевыми из которых являются:

- Огнестойкость. Способность выдерживать высокие температуры без деформации.
- Химическая восприимчивость. Способность противостоять негативному воздействию пыли, металлов, шлаков и иных продуктов плавки.
- Термическая стойкость. Способность сопротивляться резким перепадам температуры. Чем выше этот показатель, тем больше теплосмен выдерживает изделие.

Области применения огнеупорной керамики включают выращивание кристаллов полупроводников, металлургию и производство стали, производство стекла, твердо оксидные топливные элементы (ТОТЭ), ядерные реакторы, аэрокосмические и автомобильные компоненты, защитные керамические покрытия и промышленные инструменты. Огнеупор также относится к способности материала выдерживать тепло без деформации или плавления. Многие природные глины и минералы являются сырьем для изготовления огнеупорных материалов. Высокоочищенные материалы, такие как оксид алюминия и оксид циркония, являются сверх огнеупорными.

При обжиге огнеупорных материалов отдельные частицы не плавятся, а сплавляются друг с другом в точках контакта. Этот тип соединения (при котором стеклообразование незначительно или отсутствует) называется спеканием. Плавление частиц может происходить при относительно низких температурах, чтобы придать изделию достаточную эксплуатационную прочность. Типичные глиняные тела содержат как тугоплавкие частицы (формирующие скелет), так и плавящиеся частицы (заполняющие промежутки между ними). В Кыргызстане не имеется производства огнеупорных керамик. Связи с этим есть над чем поработать, 70% сырья таб.1 имеется в округе Кыргызстана.

В Кыргызстане нет производства огнеупорных материалов, элементарно самые востребованные огнеупорные кирпичи завозятся из России. При разработке огнеупорных керамических материалов в Кыргызстане имея 60-70% сырья дает преимущество экономического и научно-технического решения.

Таблица 1 – Сырья и химический состав огнеупорной керамики, место рождения Кыргызстан

Наименование	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	ппп
Глина Кара-Киче (Кыргызстан)	63,97	20,59	1,76	0,74	0,66	2,60		9,47
Фарфоровый камень Уч-Курт (Кыргызстан)	78,7	11,48	1,46	0,41	0,49	2,9	0,39	2,38
Каолин Чоко-Булак (Кыргызстан)	46-51	32,2	1,17	-	-	-	-	-

Следует добавить, что освоение процессов производства огнеупорной керамики, открывает перспективу для создания высокотемпературной керамики, обладающей высокой механической и термической устойчивостью, кроме того, позволяет разрабатывать приборы с уникальными характеристиками.

Следует отметить, что основные проблемы и направления научно-технического прогресса в области производства керамических материалов, над которыми предстоит работать является разработка более эффективных и прецизионных технологических процессов, обеспечивающих высокую точность и однородность состава, свойств получаемых материалов; это осуществляется на основе глубоких физико-химических исследований технологических процессов, создания математических моделей; использование само совмещающихся технологических операций на основе самоорганизации физико-химических процессов с целью создания интегрированных технологических процессов, а также экологически чистых безотходных технологических систем.

Интерес к огнеупорной керамике в последние годы настолько возрос, что можно говорить о своеобразном керамическом ренессансе как важнейшей тенденции современного материаловедения. Причины этого возрождения обусловлены многими обстоятельствами и прежде всего возможностью создания новых материалов с необходимыми свойствами. Объем производства огнеупорных керамических материалов во всех странах мира растет необычайно быстрыми темпами. Таким образом в Кыргызстане это направления новое для исследования, с учетом местного минерального сырья.

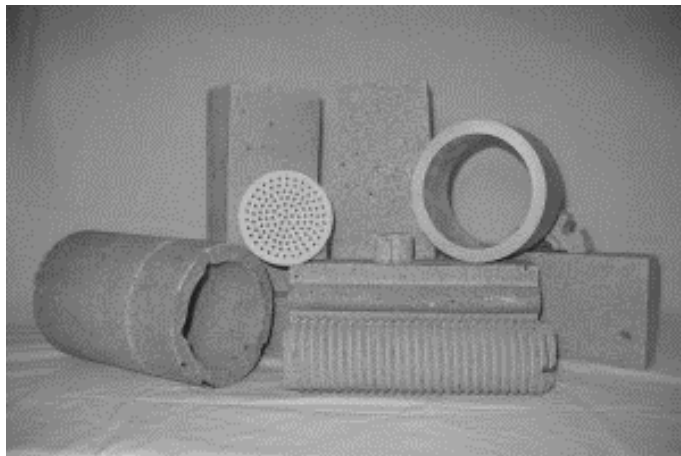


Рисунок 1 – Огнеупорная керамика

Решающее значение для идентичности самого огнеупорного материала имеет то, как он работает при повышенных температурах, но это не единственная область, где огнеупор должен преуспеть. Для некоторых применений требуются повышенные уровни прочности на сжатие и специфические профили пористости. Дизайн современных литейных процессов в значительной степени опирается на понимание этих факторов, чтобы обеспечить надежную и продуктивную систему.

В лаборатории порошковых материалов Института физики НАН КР разработаны огнеупорные материалы, технология которых запатентована. Лаборатория по сей день разрабатывает огнеупорную керамику на базе местного сырья. Огнеупорная керамика на основе нитрида кремния в лаборатории порошковых материалов ИФ им. академика Ж.Жеенбаева НАН КР уже получен. В Кыргызстане у огнеупорного керамического материала есть большое будущее, и мы это реализуем.

Литература

1. Касмамьтов Н.К., Макаров В.П. Кыргызская керамика на основе местного сырья. Бишкек: Изд-во КРСУ. 2014. 123 с.
2. Технология керамики и огнеупоров. Учебник для студентов вузов / П.П. Будников, А.С. Бережной, И.А. Булавин и др. М.: Госстройиздат. 1962. 707 с.
3. Семченко Г.Д. Конструкционная керамика и огнеупоры. Харьков: Штрих. 2000. 304 с.
4. Кыдыралиев Э.М. Создание керамического материала с ультрадисперсной структурой. Магистерская работа КРСУ. Бишкек. 2017. С. 1-55.
5. Огнеупорные и изоляционные материалы: эффективное использование энергии. 2-е изд. G.C. Dryden (ed), Butterworth, London, 1982.
6. Монг Л.Э. Упругое поведение и ползучесть огнеупорных кирпичей при растягивающих и сжимающих нагрузках. Министерство торговли США. Вашингтон, округ Колумбия, 1946.
7. Meetham G.W, Van de Voorde M.H. Materials for High Temperature Engineering Applications. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2000. 164 p.

ШАХТНЫЙ ГАЗОВЫЙ АНАЛИЗАТОР

Мосяченко А.С.
nat21_99@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В статье описывается устройство, относящееся к измерительным приборам, а именно к шахтным газовым анализаторам и предназначенное для контроля загазованности воздуха в горных выработках, позволяющее вовремя предупредить о возникшей опасности. Рассматривается актуальная для измерительного прибора проблема при ведении разработки месторождений подземным способом, возникающая при производственном процессе. Необходимо исключить нахождение персонала в рабочей зоне для производства замеров загазованности выработки ручными газоанализаторами, обеспечить безопасность ведения работ за счет получения предварительной информации о загазованности воздуха, предупреждение персонала в случаях превышения допустимых норм концентрации газов в выработке, обеспечить контроль загазованности атмосферы по всей выработке, а не только в одной рабочей зоне, использовать шахтный газовый анализатор не только на прямолинейных участках выработок. Предложен один из возможных вариантов решения этих задач, выполненной на изобретательском уровне. Автор приводит принципиальное описание конструкции и работу устройства, позволяющего достичь положительных результатов при решении производственных проблем. Предложено устройство, которое позволит расширить возможности функционального применения анализатора и повысить надежность его эксплуатации.

Ключевые слова: шахтный газовый анализатор, контроль загазованности, исключение нахождения персонала в рабочей зоне, безопасность ведения работ, криволинейные участки и повороты, надежность эксплуатации.

Шахтный газовый анализатор – измерительный прибор, анализатор для определения качественного или количественного состава смесей газов [1].

Газоанализаторы и системы, которые предназначены для контроля газовой среды в шахтах и в горных выработках, позволяют вовремя предупредить о возникшей опасности.

Задача изобретения – расширение возможности применения системы и повышение надежности эксплуатации.

Изобретение относится к измерительным устройствам, а именно к шахтным газовым анализаторам, и может быть использовано для контроля загазованности воздуха в горных выработках.

Известен газоанализатор, включающий датчики газов, измерительный модуль, соединенный с датчиками газов, базу измеренных значений газов, соединенную с измерительным модулем, дисплейный модуль, связанный с базой измеренных значений [2]. Недостатком известного газоанализатора является необходимость ручного переноса газоанализатора персоналом в рабочую зону горной выработки, что обуславливает снижение безопасности ведения работ за счет отсутствия предварительной информации о загазованности воздуха, и вход персонала в рабочую зону может быть опасным из-за превышения допустимых норм концентрации газа.

Известен газоанализатор, содержащий измерительный модуль и связанный с ним дисплейный модуль. Измерительный модуль состоит из газовых датчиков, измерительного устройства, соединенного с газовыми датчиками, передатчика радиосигнала, соединенного с измерительным устройством. Дисплейный модуль состоит из приемника радиосигнала и соединенного с ним дисплея [3].

Недостаток известного газоанализатора заключается в том, что конструктивно предусмотрена стационарная установка измерительного модуля в рабочей зоне горной выработки, чем обеспечивается контроль загазованности воздуха только в одной рабочей зоне. В этом случае, для сбора информации о загазованности по всем рабочим зонам выработки необходима установка измерительного модуля в каждой зоне, что может создавать при сбое в работе аппаратуры помехи, искажения в приеме радиосигнала дисплейным модулем, за счет которых исключается достоверность принимаемой информации и, соответственно, снижается надежность контроля загазованности и безопасность работ в выработке. Кроме этого, при отказе в работе каких-либо измерительных модулей информация из соответствующих рабочих зон не поступает (разумеется, до замены измерительных модулей), чем также обусловлено снижение надежности контроля загазованности рабочих зон и безопасности ведения работ в выработке.

За прототип выбран газовый анализатор, включающий измерительный модуль, связанный с ним посредством радиосвязи дисплейный модуль, направляющее устройство в виде тросо-роликовой системы, образующей верхнюю и нижнюю тросовые ветви. При этом, измерительный модуль установлен на нижней тросовой ветви и связан с верхней тросовой ветвью [4].

Недостатком известного газового анализатора является ограниченная возможность его применения, т.к. тросо-роликовая система позволяет использовать анализатор только на прямолинейных участках выработок. Анализатор конструктивно неприменим на криволинейных участках и поворотах выработок. Также, недостаток анализатора заключается в пониженной надежности эксплуатации за счет вероятности обрыва верхней тросовой ветви, обусловленной износом троса, и ослабления радиосвязи между измерительным и дисплейным модулями по длине выработки.

Задача изобретения – расширение возможности применения системы и повышение надежности эксплуатации.

Поставленная задача решается тем, что шахтный газовый анализатор, включающий измерительный модуль, размещенный на направляющем устройстве, установленном в горной выработке, дисплейный модуль, связанный с измерительным модулем посредством радиосвязи, видеокамеру, закрепленную на измерительном модуле и связанную с дисплейным модулем, снабжен электроприводом, оснащенный роликами, и проводом. При этом, направляющее устройство выполнено в виде двух пластин, расположенных вертикально и закрепленных на каркасе, электропривод установлен роликами на вертикально расположенных пластинах, провод размещен на каркасе вдоль направляющего устройства и соединен с дисплейным модулем, а измерительный модуль шарнирно установлен на корпусе электропривода.

Выполнение направляющего устройства в виде двух пластин, расположенных вертикально и закрепленных на каркасе, позволяет устанавливать направляющее устройство не только на прямолинейных, но и на криволинейных участках, поворотах выработок за счет жесткого исполнения конструкции и жесткого ее соединения с крепью выработок, чем расширяется возможность функционального применения анализатора. Снабжение анализатора электроприводом, оснащенного роликами, с установкой роликами на вертикально расположенных пластинах обеспечивает перемещение измерительного модуля по каркасу направляющего устройства по всему протяжению выработки.

Снабжение анализатора проводом, размещенном на каркасе направляющего устройства вдоль него, и соединение провода с дисплейным модулем обуславливает повышение надежности работы анализатора, т.к. провод выполняет для дисплейного модуля роль приемной антенны, расположенной рядом с измерительным модулем при его перемещении на всем протяжении выработки. Установка измерительного модуля посредством шарнира на корпусе электропривода обеспечивает вертикальное расположение измерительного модуля в случае деформации крепи выработки, на которой размещен каркас направляющего устройства. Это позволит снизить вероятность перекоса роликов на пластинах

под воздействием опрокидывающих моментов и тем повысить надежность анализатора в работе.

Шахтный газовый анализатор показано на чертеже, где на рисунке 1 показано расположение направляющего устройства в выработке, вид сверху; на рисунке 2 – поперечный разрез А-А; на рисунке 3 – продольный вертикальный разрез Б-Б; на рисунке 4 – продольный горизонтальный разрез Б-Б.

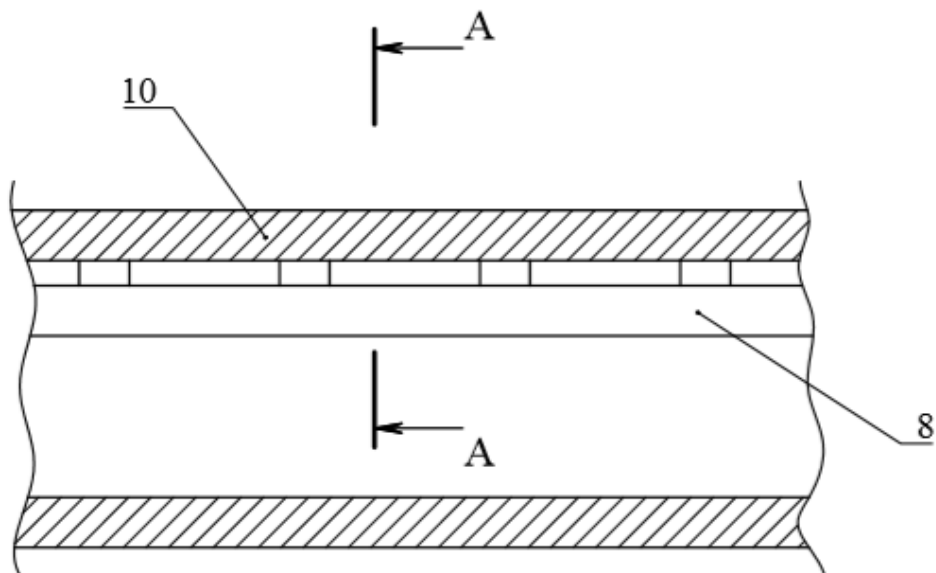


Рисунок 1 – Расположение направляющего устройства в выработке, вид сверху

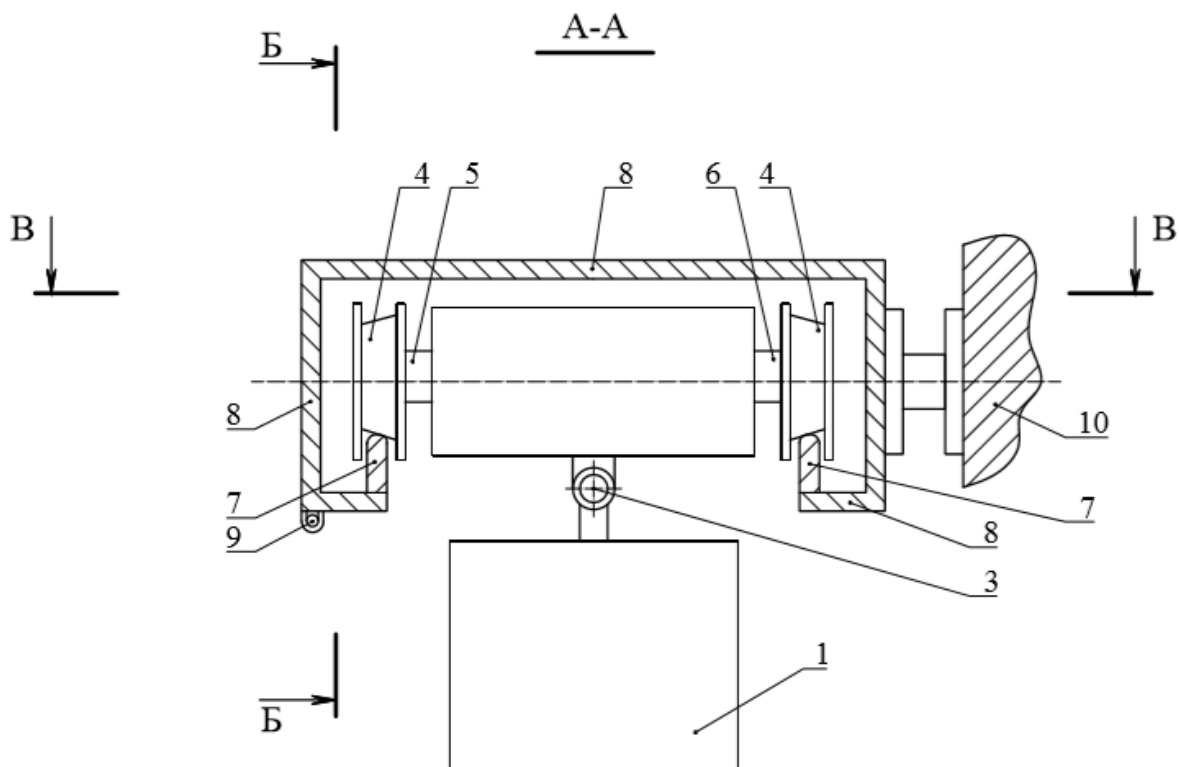


Рисунок 2 – Поперечный разрез А-А

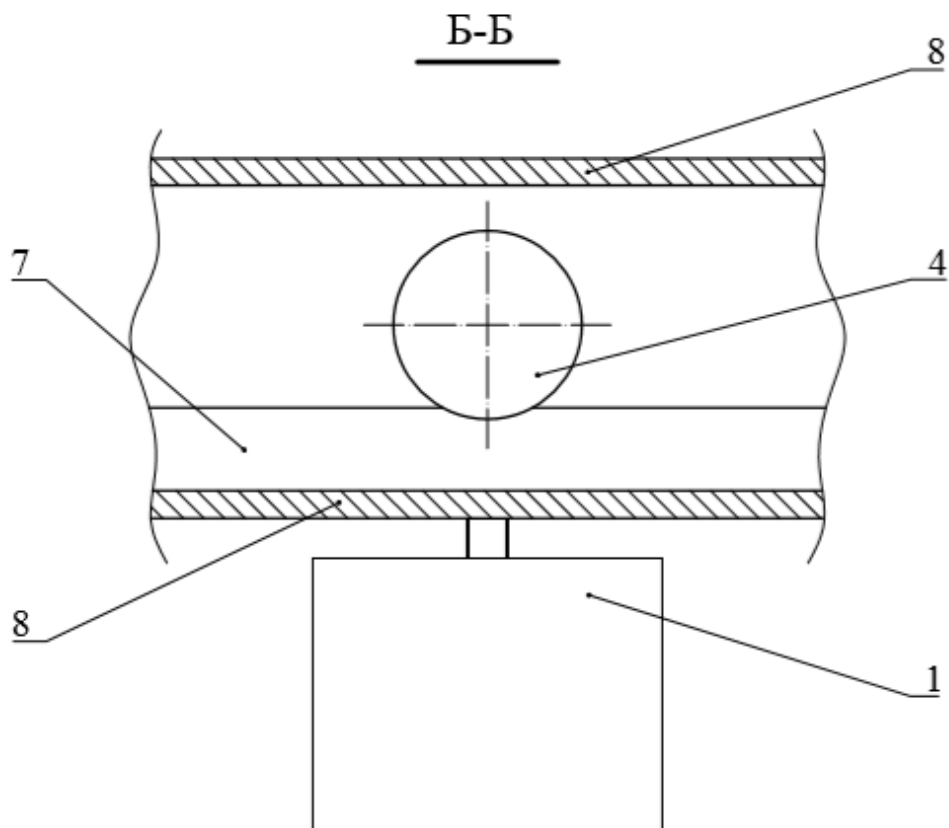


Рисунок 3 – Продольный вертикальный разрез Б-Б

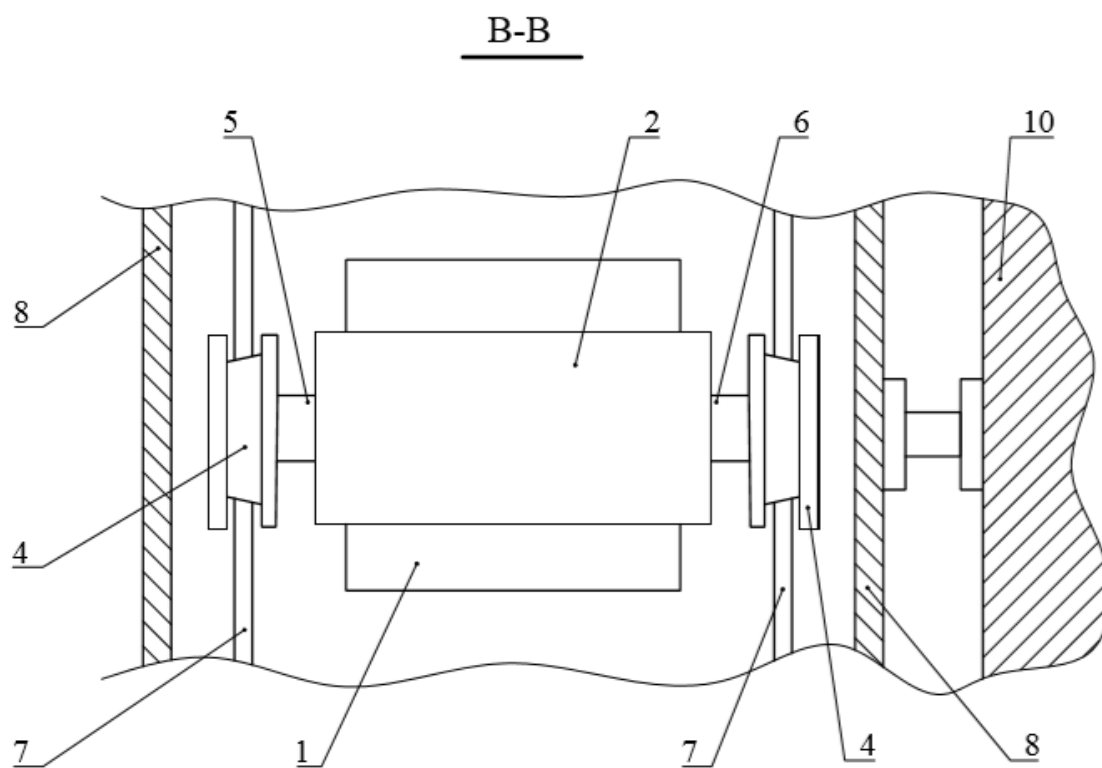


Рисунок 4 – Продольный горизонтальный разрез Б-Б

Шахтный газовый анализатор включает измерительный модуль 1 (показан его корпус), вертикально установленный на корпусе 2 электропривода через шарнир 3, дисплейный модуль

(на фигурах не показан), связанный с измерительным модулем 1 посредством радиосвязи, видеокамеру (на фигурах не показана), размещенную в корпусе измерительного модуля 1 и связанную с дисплейным модулем. Электропривод оснащен роликами 4, один из которых установлен на валу 5 электропривода, а другой – на оси 6, закрепленной на корпусе 2 электропривода. Ролики 4 установлены на пластинах 7, выполняющих роль рельс и закрепленных вертикально на каркасе 8. В корпусе измерительного модуля 1 расположен аккумулятор, соединенный с электроприводом.

Пластины 7 и каркас 8 образуют направляющее устройство для измерительного модуля 1 при его перемещении по направлению выработки. Вдоль каркаса 8 по всей его длине размещен провод 9, соединенный с дисплейным модулем и выполняющий роль приемной антенны. Каркас 8 установлен, например, на боковой крепи 10 выработки на всем ее протяжении.

Шахтный газовый анализатор работает следующим образом. Перед началом рабочей смены включают измерительный модуль 1, видеокамеру и электропривод, посредством которого измерительный модуль 1 перемещается по направляющему устройству - пластинам 7 и каркасу 8 вдоль выработки. Управление перемещением измерительного модуля 1 осуществляется с дисплейного модуля.

Электропривод вращает ролик 4, установленный на валу 5, и ролик 4 перекачивается по пластине 7, перемещая измерительный модуль 1 вдоль каркаса 8. Ролики 4 вращаются независимо друг от друга за счет отдельной установки на валу 5 и оси 6, что позволяет корпусу 2 электропривода перемещаться по пластинам 7 при изгибах каркаса 8 по его длине, который повторяет изгибы выработки. Поворот корпуса 2 электропривода выполняется за счет разного числа оборотов роликов 4. В случае смещения боковой крепи 10 при деформации выработки измерительный модуль 1 сохраняет вертикальное положение посредством шарнира 3, позволяющему измерительному модулю 1 самоустанавливаться на корпусе 2 электропривода, что обуславливает равномерный прижим роликов 4 к пластинам 7 и, соответственно, работоспособность конструкции.

Измерительный модуль 1, перемещаясь, непрерывно передает радиосигнал через провод 9 – антенну - на дисплейный модуль о загазованности воздуха в выработке и видеосигнал о ее состоянии. Переместив измерительный модуль 1 в конец выработки, включают реверс электропривода и перемещают измерительный модуль 1 в его исходное положение, где выполняют зарядку аккумулятора. Так проводится исследование выработки по всей ее длине.

Таким образом, применение предложенной конструкции шахтного газового анализатора позволит расширить возможности функционального применения анализатора и повысить надежность его эксплуатации.

Заявка на изобретение №2264 от 14.10.2021 на изобретение «Шахтный газовый анализатор». Авторы: Степанов С.Г., Мосияченко А.С, Тишуров М.К.

Литература

1. Бурчаков А.С., Мустель П.И., Ушаков К.З. Рудничная аэрология. М.: Недра. 1971. 376 с
2. Патент RU 126052 U1, E21F17/18, 20.03.2013
3. Патент RU 2 378 646 C2, G01N 33/00, 10.01.2010
4. Патент KG 1994 C1, E21F17/18, 31.10.2017

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕЛЕСКОПА «СИНТЕЗ»

Назаров С.В.¹, Харченко А.В.²
astrotourist@gmail.com

¹ Крымская астрофизическая обсерватория Российской академии наук, пгт. Научный, Россия

² АО «Центр новых технологий электроэнергетики», г. Санкт-Петербург, Россия

В начале 2018 года было принято решение о создании на базе «Синтеза» полностью автоматического телескопа с новой оптикой, системой управления и веб-интерфейсом [1]. В 2021 году удалось приступить к наблюдениям на малом временном 350 мм телескопе, установленном на монтировке «Синтеза» для отработки программного обеспечения и системы управления. Этой работой мы подводим промежуточные итоги первых научных наблюдений на малом телескопе.

Ключевые слова: астрономические наблюдения, автоматический телескоп, телескопостроение

Введение. В середине 70х годов XX века в Крымской астрофизической обсерватории силами целого ряда организаций был создан и введен в эксплуатацию один из первых в мире телескопов с сегментированной оптикой «АСТ-1200» или «Синтез». Хотя технологии, опробованные на нём, хорошо зарекомендовали себя при строительстве крупнейших оптических инструментов мира (например, Астрономическая обсерватория им. Кека), после развала СССР работа на телескопе была остановлена. В 2018 году сотрудниками было принято решение о создании на основе находящегося на консервации телескопа «Синтез» нового автоматического инструмента с удаленным доступом через веб-интерфейс. К началу 2021 года удалось реализовать ряд технических и программных решений, позволивших начать наблюдения на базе временного 350 мм телескопа [1].

Основные параметры инструмента:

- Телескоп системы Ньютона временный, 350/1767 мм
- Телескоп-гид SVBONY 60/183 мм
- Основная камера QHY9S-M
- Камера-гид QHY-5L II M
- Реечный фокусирующий механизм с шаговым двигателем
- Управляемое колесо фильтров 7x1.25" StarlightXpress
- Набор фотометрических фильтров Baader BVRI

Система управления. Система управления состоит из:

- Системного контроллера,
- Двух одинаковых контроллеров движения монтировки,
- Одноплатного компьютера,
- Компьютера наблюдателя,
- Подсистемы электропитания.

Имеющаяся монтировка приводится в движение двумя идентичными приводами, каждый из которых включает 3 электродвигателя и 2 сельсина-датчика положения (грубый и точный). Модули управления приводами обеспечивают все функции точного позиционирования, часового ведения и автогидирования. Они позволяют наводить монтировку и сопровождать объекты как в неподвижной, так и в движущейся системе координат. Этими модулями в свою очередь, управляет одноплатный миникомпьютер по протоколу Modbus/RTU (стандартному для промышленной аппаратуры).

Двигатели монтировки имеют большой момент инерции, поэтому был разработан специальный регулятор. Он постоянно рассчитывает тормозной путь от текущей точки и

начинает контролируемое торможение, как только конечная точка тормозного пути оказывается поблизости от точки назначения.

Наведение имеет ошибку около 1'. Периодическая ошибка монтировки составляет около 8", применение автогида (PHD2) уменьшает ошибку до 0,3-0,7" в зависимости от состояния атмосферы.

Для управления крышей, телескопом и освещением использован промышленный контроллер Овен ПЛК-100, управляемый по протоколу Modbus

Исследование приёмника. Характеристики камеры QHY9S-M были изучены эмпирически.

Шум считывания в разных биннингах:

1x1 - 10.75 e

2x2 - 17.5 e

3x3 - 23.9 e

4x4 - 28.6 e

Темновой ток при $-30\text{ C} = 0,03\text{ e/s/pix}$. Максимальная глубина потенциальной ямы при $\text{GAIN}=0 = 35\text{ ke}$. Максимальная квантовая эффективность = 50%.

Поле зрения, определенное при помощи сервиса nova.astrometry.net, составило $35 \times 26'$. Предельная звездная величина на одиночном снимке в биннинге 2x2 с выдержкой 300 секунд на малых зенитных углах в безлунную ночь достигает 20,5m. Угловое разрешение 0; 63" на пиксель в биннинге 1x1.

Для оценки качества получаемых изображений был получен ряд кадров скопления М67 с типичными для нас экспозициями: 3x60, 3x120, 3x300, 3x600 секунд. Далее с целью определения фотометрической ошибки откалиброванные снимки обрабатывались программой Vast [2].

Худшие результаты показали изображения в фильтре В с экспозицией 60 секунд: ошибка 0,1m для звезд 16m. Лучшие - в фильтрах V, R с экспозицией 600 секунд: ошибка 0,1m для звезд 18m. Пример графика для одиночного кадра в фильтре R с выдержкой 300 секунд приведен на рисунке 1.

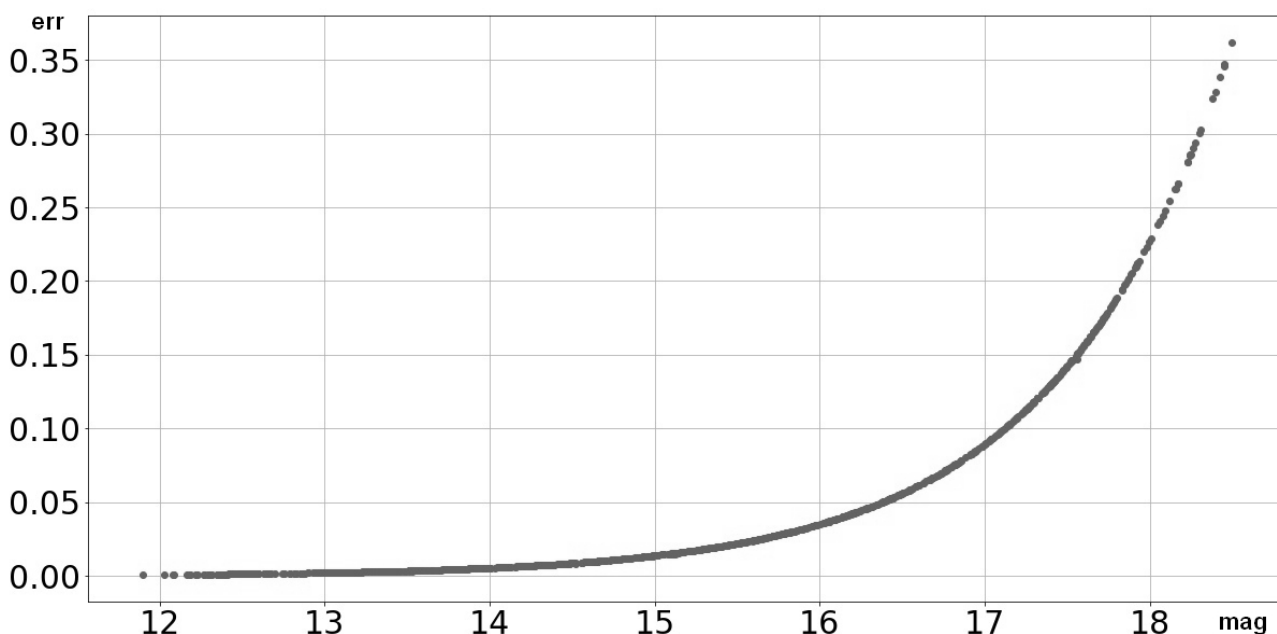


Рисунок 1 – Зависимость ошибки измерения яркости (ось X) от звездной величины (ось Y).
Одиночный кадр в фильтре R с выдержкой 300 секунд

Научные наблюдения. Хотя процесс создания нового телескопа еще далек от завершения, состояние системы управления уже позволяет проводить наблюдения.

Первая пробная научная работа, стартовавшая еще в конце 2020 года, это программа астрометрических наблюдений спутников Урана и Нептуна совместно с ГАО РАН [3]. Цель работы - исследование динамики и внутреннего строения ледяных гигантов и их спутников.

Типичное время накопления 45 секунд, пронациание 19m. Снимки делались с включенной в экспериментальном режиме автогидирующей системой, что позволило компенсировать периодическую ошибку часового ведения.

Суммарно проведено более 170 наблюдений спутников Нептуна и более 500 - спутников Урана. Астрометрические ошибки около 50 mas.

Весь год проводились фотометрические и астрометрические наблюдения малых тел Солнечной системы, данные отправлены в Международный центр малых планет (MPC) [4], [5].

На протяжении трех ночей велся мониторинг послесвечения гамма-всплеска GRB 210610В. Объект идентифицирован, по результатам измерений обнаружено падение яркости с 17 до 21m в фильтре R [6]. Полученные кривые блеска указывают на возможную сверхновую.

В ночь с 11 на 12 марта 2021го года несколько часов наблюдалась площадка вблизи противосолнечной точки с целью проверки возможности обнаружения неизвестных астероидов. Обработка рядов изображений позволила выявить несколько объектов, данные по которым отсутствовали в базе MPC.

Один из этих объектов был повторно найден 15 марта, что позволило уточнить его орбиту и отправить на регистрацию в MPC. Новый объект оказался астероидом главного пояса, ему присвоено временное обозначение 2021 EP5.

Перспективы. Сейчас вводится в строй второй приёмник на основе камеры QHY600PM со значительно большим полем зрения, лучшей квантовой эффективностью, меньшими шумами и ускоренным считыванием кадра. Для установки второй камеры телескоп оснащается корректором, расширяющим рабочее поле зрения вплоть до 43мм по диагонали и увеличивающим светосилу на 15%.

По мере создания соответствующего программного обеспечения будет налажено взаимодействие с датчиком облачности, настроена автоматическая калибровка и астрометрия кадров, реализовано автовосстановление работоспособности системы при сбоях.

Главным преимуществом «Синтеза» станет полная автоматизация: начало и завершение наблюдений по сигналам от метеодатчиков, возможность работы как по заранее заданному списку задач и алертам, так и онлайн-взаимодействие с веб-интерфейсом для удаленного доступа к телескопу.

Предполагаемая оптическая система главного телескопа – цельное параболическое или гиперболическое главное зеркало метрового размера с корректором и приёмником в прямом фокусе с абберациями, укладываемыми в размер пикселя 9 микрон на всём поле зрения.

Выводы. Введена в эксплуатацию система управления телескопом метрового класса собственной разработки. Система может применяться для модернизации других инструментов с двигателями постоянного тока, а также с другими типами двигателей после доработки. В качестве датчиков положения могут использоваться как сельсины, так и абсолютные энкодеры с интерфейсом SSI.

Тестируется новое программное обеспечение для управления инструментом, создается сайт телескопа и программа планировщик заданий.

Введен в строй 350мм телескоп, пригодный и для испытаний системы управления, и для полноценной научной работы по фотометрии или астрометрии различных классов астрономических объектов.

Наблюдения на малом телескопе будут продолжены вплоть до создания метрового зеркала. В планах фотометрический мониторинг ряда активных ядер галактик, катаклизмических переменных звезд, транзитов экзопланет, гамма-всплесков,

фотометрические и астрометрические наблюдения астероидов, комет и спутников больших планет, поисковые работы.

Коллектив «Синтеза» приветствует сотрудничество с другими обсерваториями и приглашает коллег к реализации совместных наблюдательных программ.

Литература

1. Nazarov S.V., Kharchenko A.V., Krivenko A.S. Modernization of the telescope "Sintez" at the CrAO RAS // All-Russian scientific conference with international participation of students and young scientists dedicated to the memory of Polina Evgenievna Zakharova "Astronomy and space exploration". 2021. P. 145–148.
2. Sokolovsky K.V., Lebedev A.A. VaST: A variability search toolkit // Astronomy and Computing. 2018. Vol. 22. P. 28–47. 1702.07715.
3. Bikulova D.A., Nazarov S.V., Khovrichev M.Yu. Astrometric observations of Uranian and Neptunian satellites with the Pulkovo and Crimean observatory telescopes in 2020 // All-Russian scientific conference with international participation of students and young scientists dedicated to the memory of Polina Evgenievna Zakharova "Astronomy and space exploration". 2021. P. 89–92.
4. Eglitis I., Cernis K., Nazarov S. et al. Observations and Orbits of Comets and a/ Objects // Minor Planet Electronic Circulars. 2021. Vol. 2021-A190.
5. Novichonok A., Zhornichenko A., Nazarov S. et al. Observations and Orbits of Comets and A/ Objects // Minor Planet Electronic Circulars. 2021. Vol. 2021-F20.
6. Pankov N., Nazarov S., Pozanenko A. et al. GRB 210610B: Sintez-Newton/CrAO optical observations // GRB Coordinates Network. 2021. Vol. 30988. P. 1.

О ДЕФОРМАЦИИ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ УГЛЯ МАРКИ «Т» ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ

Николаев Я.С.

nikolaev.yark@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

Рассмотрены экспериментальные данные, представленные в монографии: Норель Б.К., Петров Ю.В., Селютина Н.С. «Энергетические и временные характеристики предельного состояния горных пород» (2-е изд. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та. 2019. 132 с). Проанализированы (судя по значениям параметров Лоде–Надаи для напряжений и деформаций) случаи обобщенного растяжения, сжатия и сдвига, возникающие при соответствующем трехосном сжатии призматических образцов угля марки «Т». Показано, что во всех таких случаях объемного нагружения неупругая деформация перед разрушением образцов содержит составляющую всестороннего разрыхления. При этом диаграммы «максимальный сдвиг – максимальное касательное напряжение» подобны при указанных трех видах напряженного состояния, а степень упрочнения данной горной породы зависит от предварительного всестороннего сжатия образцов. Сделано заключение о преобладании сдвигового механизма разрушения при всех рассмотренных программах нагружения.

Ключевые слова: горная порода, объемное нагружение, обобщенное растяжение, сжатие и сдвиг, упрочнение и разрыхление.

Введение. Горные породы естественного залегания в массиве и около различных выработок находятся в состоянии неравномерного трехосного сжатия. Моделирующие такое состояние лабораторные испытания должны осуществляться [1] с учетом вида напряженно-деформированного состояния. Одни из первых таких испытаний для известняка и мрамора проведены в [2].

В серии опытов, представленных в монографии [3], каждый призматический образец угля марки «Т» (с размерами от 4,9 до 5,4 см) предварительно нагружался путем равномерного всестороннего сжатия по трем осям до различного уровня напряжения: -4.96 МПа, -20.6 МПа, -44.4 МПа. Как принято в сопротивление материалов, напряжение сжатия считалось отрицательным, а напряжение растяжения – положительным. Наименьшее по модулю гидростатическое давление (4,96 МПа) задавалось так, чтобы при последующей догрузке, было реализовано состояние обобщенного растяжения, если судить по значениям параметров Лоде-Надаи для напряжений (μ_σ) и для деформаций (μ_ε). После гидростатического давления -20,6 МПа далее создавалось состояние обобщенного сдвига. И, наконец, после давления -44,4 МПа реализовано состояние обобщенного сжатия.

Параметры $\mu_\sigma, \mu_\varepsilon$ представляются через главные напряжения и деформации ($\sigma_i, \varepsilon_i, i = 1, 2, 3$) в виде:

$$\mu_\sigma = \frac{2\sigma_2 - \sigma_1 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}; \quad \mu_\varepsilon = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3} \quad (1)$$

Значение $\mu_\sigma = -1$ соответствует случаю обобщенного растяжения, при котором главные напряжения задаются так, что (с учетом знака напряжений) $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3$.

Значение $\mu_\sigma = 0$ достигается при условии:

$$\sigma_2 = \frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \quad (\mu_\sigma = 0) \quad (2)$$

это случай обобщенного сдвига. При обобщенном сжатии ($\mu_\sigma = 1$) $\sigma_1 = \sigma_2 > \sigma_3$.

Рассмотрим исходные экспериментальные данные [3], полученные в опытах при указанных трех видах напряженного состояния.

1. Обобщенный сдвиг. Начальное гидростатическое сжатие: $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_0 = -20.6$ МПа. Реализованная в опыте последующая программа нагружения и полученные значения главных напряжений и деформаций, а также параметров Лоде-Надаи ($\mu_\sigma, \mu_\varepsilon$) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Компоненты главных напряжений и главных деформаций угля марки "Г" при не равномерном трехосном сжатии в условиях обобщенного сдвига

ε_1 %	σ_1 Мпа	ε_2 %	σ_2 Мпа	ε_3 %	σ_3 Мпа		
						μ_σ	μ_ε
-0.4	-3.8	-0.4	-5.2	-0.48	-9.71	0.526227	1
-0.8	-10.3	-0.78	-10.5	-0.94	-16.2	0.932203	1.2857143
-1.26	-20.6	-2.25	-41.9	-3.23	-70.1	0.139394	-0.005076
-1.09	-20.6	-2.6	-52.3	-3.98	-91.7	0.108298	-0.044983
-0.82	-20.6	-2.91	-62.8	-4.7	-113	0.08658	-0.07732
-0.5	-20.6	-3.22	-73.2	-5.5	-135	0.08042	-0.088
-0.25	-20.6	-3.32	-83.7	-6.55	-156	0.067947	0.0253968
0.63	-20.6	-3.38	-88.9	-6.91	-167	0.06694	-0.06366
1.02	-20.6	-3.42	-94.2	-7.8	-178	0.064803	-0.006803
1.59	-20.6	-3.48	-99.4	-8.5	-189	0.064133	-0.004955

Проверим условие достижения в опыте состояния обобщенного сдвига и вычислим для напряжений и деформаций компоненты шаровых тензоров (σ_0, ε_0) и тензоров-девиаторов ($\sigma_i^\partial, \varepsilon_i^\partial$ $i = 1,2,3$):

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{3} \quad \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3}{3} \quad (3)$$

$$\sigma_i^\partial = \sigma_i - \sigma_0 \quad \varepsilon_i^\partial = \varepsilon_i - \varepsilon_0 \quad (i = 1,2,3) \quad (4)$$

Обозначим через σ_2^* расчетное значение среднего главного напряжения, вычисленное согласно формуле (2) по экспериментальным значениям максимального и минимального главных напряжений. Отклонение величины σ_2^* от экспериментального напряжения σ_2 (представленного в табл.1) вычислено по формуле:

$$\Delta_\sigma = \left(\frac{\sigma_2^* - \sigma_2}{\sigma_2} \right) \cdot 100(\%) \quad (5)$$

Результаты этих вычислений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты вычислений по формулам (2), (3) и (5)

σ_0	σ_2^*	Δ_σ (%)	σ_1^∂	σ_2^∂	σ_3^∂
-12.3333	-13.25	26.19047619	2.033333	1.833333	-3.86667
-44.2	-45.35	8.233890215	23.6	2.3	-25.9
-54.8667	-56.15	7.361376673	34.26667	2.566667	-36.8333
-65.4667	-66.8	6.369426752	44.86667	2.666667	-47.5333
-76.2667	-77.8	6.284153005	55.66667	3.066667	-58.7333
-86.7667	-88.3	5.495818399	66.16667	3.066667	-69.2333
-92.1667	-93.8	5.511811024	71.56667	3.266667	-74.8333
-97.6	-99.3	5.414012739	77	3.4	-80.4
-103	-104.8	5.432595573	82.4	3.6	-86

Таким образом, как видно из таблиц 1 и 2, состояние обобщенного сдвига (если судить по соотношениям между главными напряжениями согласно формулам (1) и (2)) достигается при догрузке после начального гидростатического давления, начиная с 3-ей позиции установившейся программы догрузки. При этом в деформированном состоянии можно отметить следующие особенности.

Сравним полученные в эксперименте значения деформации ε_2 с соответствующими значениями компонент шарового тензора (табл.3.). Практически эти значения равны между собой. Это первая особенность для данного случая нагружения.

Компонента ε_2^{∂} по модулю на порядок меньше двух других компонент, для которых выполняется равенство $\varepsilon_1^{\partial} \approx -\varepsilon_3^{\partial}$. Это обстоятельство в совокупности с отмеченной особенностью свидетельствует о том, что в опыте наблюдалось состояние почти чистого сдвига в плоскости действия главных напряжений 1-3. Кроме того, $\varepsilon_2 \approx \varepsilon_0$ (это вторая особенность деформированного состояния). Следовательно, можно считать, что выполняется гипотеза В.В.Новожилова [4] о всестороннем разрыхлении (дилатансии) материалов, обладающих остаточным изменением объема при разрушении. Иначе говоря, в рассматриваемом случае правомерно полагать, что деформация ε_2 происходит полностью за счет уплотнения материала в данном направлении. Это вторая особенность осуществленного обобщенного сдвига.

Обозначим:

$$\varepsilon_2^* = \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_3)}{2} \quad (6)$$

Это расчетное значение указанной деформации действительно мало отличается от фиксированного в опыте значения (ε_2); расхождение между ними определялось по формуле:

$$\Delta_{\varepsilon} = \left(\frac{\varepsilon_2^* - \varepsilon_2}{\varepsilon_2} \right) \cdot 100(\%) \quad (7)$$

Таблица 3 – Состояние обобщенного сдвига при выполнении гипотезы В.В.Новожилова о всестороннем разрыхлении материалов

ε_2	ε_0	ε_1^{∂}	ε_2^{∂}	ε_3^{∂}	ε_2^*	$\Delta_{\varepsilon} (\%)$
-0.4	-0.42667	0.026667	0.026667	-0.053333	-0.44	-9.09091
-0.78	-0.84	0.04	0.06	-0.1	-0.87	-10.3448
-2.25	-2.24667	0.986667	-0.00333	-0.98333	-2.245	0.222717
-2.6	-2.55667	1.466667	-0.04333	-1.42333	-2.535	2.564103
-2.91	-2.81	1.99	-0.1	-1.89	-2.76	5.434783
-3.22	-3.07333	2.573333	-0.14667	-2.42667	-3	7.333333
-3.32	-3.37333	3.123333	0.053333	-3.17667	-3.4	-2.35294
-3.38	-3.22	3.85	-0.16	-3.69	-3.14	7.643312
-3.42	-3.4	4.42	-0.02	-4.4	-3.39	0.884956
-3.48	-3.46333	5.053333	-0.01667	-5.03667	-3.455	0.723589

2. Обобщенное сжатие. Начальное гидростатическое сжатие $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_0 = -44.4$ МПа. Реализованная программа догрузки и полученные значения главных деформаций (ε_i , $i = 1, 2, 3$), а также вычисленные параметры Лоде-Надаи представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Компоненты главных напряжений и главных деформаций угля марки "Т" в условиях обобщенного сжатия

ε_1 %	σ_1 Мпа	ε_2 %	σ_2 Мпа	ε_3 %	σ_3 Мпа	μ_σ	μ_ε
-0.46	-23.5	-0.5	-23.5	-0.56	-27.2	1	0.2
-0.73	-44.4	-0.8	-44.4	-1.41	-79.3	1	0.794118
-0.57	-44.4	-0.68	-44.4	-1.77	-102	1	0.816667
-0.37	-44.4	-0.56	-44.4	-2.33	-125	1	0.806122
-0.02	-44.4	-0.38	-44.4	-2.93	-147	1	0.752577
0.46	-44.4	-0.06	-44.4	-3.76	-170	1	0.753555
0.73	-44.4	0.14	-44.4	-4.22	-181	1	0.761616
1.86	-44.4	0.37	-44.4	-5.16	-204	1	0.575499
2.44	-44.4	0.58	-44.4	-5.8	-213	1	0.548544

Как видно из табл.4, напряженное состояние обобщенного сжатия действительно в опыте достигается ($\mu_\sigma = 1$). Однако деформированное состояние находится между состояниями сжатия и сдвига ($1 > \mu_\varepsilon > 0$). При этом деформация ε_2 к моменту разрушения образца по модулю на порядок меньше деформации ε_3 и меньше деформации ε_1 . Это означает, что разрушение может происходить (в случае пропорциональности девиаторов напряжений и деформаций) по площадке действия максимального касательного напряжения (τ_{13}). Следовательно, как и в случае обобщенного сдвига, деформация ε_2 происходит (почти) полностью за счет всестороннего уплотнения. Вычтем значения ε_2 из значений двух других деформаций ($\varepsilon_1, \varepsilon_3$) и обозначим $\varepsilon_1^*, \varepsilon_3^*$ ($\varepsilon_i^* = \varepsilon_i - \varepsilon_2; i = 1,3$). Тогда средняя деформация ε_0^* определяется формулой:

$$\varepsilon_0^* = \frac{1}{2}(\varepsilon_1^* + \varepsilon_3^*), \quad (8)$$

а компоненты девиатора деформаций ε_i^∂ ($i = 1,3$) – формулой:

$$\varepsilon_i^\partial = \varepsilon_i^* - \varepsilon_0^* \quad (i = 1,3) \quad (9)$$

Результаты вычислений по формулам (8) - (9) представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Компоненты девиатора деформаций при обобщенном сжатии

ε_1^*	ε_3^*	ε_0^*	ε_1^∂	ε_3^∂
0.04	-0.06	-0.01	0.05	-0.05
0.07	-0.61	-0.27	0.34	-0.34
0.11	-1.09	-0.49	0.6	-0.6
0.19	-1.77	-0.79	0.98	-0.98
0.36	-2.55	-1.095	1.455	-1.455
0.52	-3.7	-1.59	2.11	-2.11
0.59	-4.36	-1.885	2.475	-2.475
1.49	-5.53	-2.02	3.51	-3.51
1.86	-6.38	-2.26	4.12	-4.12

3. Обобщенное растяжение. Начальное гидростатическое сжатие $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = \sigma_0 = -4.96$ МПа. Необходимые для анализа исходные экспериментальные данные (подобные двум предыдущим случаям) представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Компоненты главных напряжений и главных деформаций угля марки "Т" при не равномерном трехосном сжатии в условиях обобщенного растяжения

ε_1 %	σ_1 МПа	ε_2 %	σ_2 МПа	ε_3 %	σ_3 МПа	ε_0	μ_σ	μ_ε
0	-0.62	0	-0.65	0	-1.06	0		
-0.19	-3.97	-0.258	-4.16	-0.503	-4.23	-0.317	-0.46154	0.565495
-0.266	-4.96	-0.378	-5.2	-0.584	-5.29	-0.40933	-0.45455	0.295597
-0.247	-4.96	-0.457	-10.4	-0.785	-10.6	-0.49633	-0.92908	0.219331
-0.228	-4.96	-0.577	-20.8	-0.986	-21.2	-0.597	-0.95074	0.079156
-0.171	-4.96	-0.895	-31.2	-1.27	-31.7	-0.77867	-0.9626	-0.31756
-0.057	-4.96	-1.27	-41.6	-1.71	-42.3	-1.01233	-0.96251	-0.46763
-0.019	-4.96	-1.57	-52	-1.93	-52.9	-1.173	-0.96245	-0.62323
0.228	-4.96	-1.83	-62.4	-2.15	-63.5	-1.25067	-0.96242	-0.73087
0.323	-4.96	-1.91	-64.5	-2.22	-65.6	-1.269	-0.96372	-0.75619
0.684	-4.96	-2.01	-66.6	-2.37	-67.7	-1.232	-0.96493	-0.76424
1.31	-4.96	-2.27	-68.7	-2.6	-69.8	-1.18667	-0.96607	-0.8312
2.02	-4.96	-2.6	-70.8	-2.92	-72	-1.16667	-0.9642	-0.87045

Как видно из табл.6, при установившемся режиме догрузки напряженно-деформированное состояние обобщенного растяжения действительно достигается с достаточно высокой точностью, особенно к моменту разрушения образца (когда $\mu_\sigma \approx \mu_\varepsilon$). Вычислим компоненты девиаторов напряжений и деформаций ($\sigma_i^d, \varepsilon_i^d$ $i=1,2,3$), а также главные касательные напряжения и главные сдвиги:

$$\tau_{12} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) ; \tau_{13} = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_3) \quad \gamma_{12} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) ; \gamma_{13} = (\varepsilon_1 - \varepsilon_3) \quad (10)$$

Результаты вычислений по формулам (10) представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Главные касательные напряжения и главные сдвиги при обобщенном растяжении

σ_1^d	σ_2^d	σ_3^d	ε_1^d	ε_2^d	ε_3^d	τ_{12}	τ_{13}	γ_{12}	γ_{13}
0.15	-0.04	-0.11	0.127	0.059	-0.186	0.095	0.13	0.068	0.313
0.19	-0.05	-0.14	0.143333	0.031333	-0.17467	0.12	0.165	0.112	0.318
3.693333	-1.74667	-1.94667	0.249333	0.039333	-0.28867	2.72	2.82	0.21	0.538
10.69333	-5.14667	-5.54667	0.369	0.02	-0.389	7.92	8.12	0.349	0.758
17.66	-8.58	-9.08	0.607667	-0.11633	-0.49133	13.12	13.37	0.724	1.099
24.66	-11.98	-12.68	0.955333	-0.25767	-0.69767	18.32	18.67	1.213	1.653
31.66	-15.38	-16.28	1.154	-0.397	-0.757	23.52	23.97	1.551	1.911
38.66	-18.78	-19.88	1.478667	-0.57933	-0.89933	28.72	29.27	2.058	2.378
40.06	-19.48	-20.58	1.592	-0.641	-0.951	29.77	30.32	2.233	2.543
41.46	-20.18	-21.28	1.916	-0.778	-1.138	30.82	31.37	2.694	3.054
42.86	-20.88	-21.98	2.496667	-1.08333	-1.41333	31.87	32.42	3.58	3.91
44.29333	-21.5467	-22.7467	3.186667	-1.43333	-1.75333	32.92	33.52	4.62	4.94

Из табл.7 следует, что в состоянии обобщенного растяжения диаграммы $\tau_{12} \sim \gamma_{12}$ и $\tau_{13} \sim \gamma_{13}$ практически идентичны. Это означает *возможную* реализацию сдвигов по двум взаимно перпендикулярным площадкам, по которым действует максимальное касательное напряжение. Иначе говоря, сдвиговой механизм разрушения происходит и в рассмотренном случае обобщенного растяжения.

Диаграммы максимальное касательное напряжение \sim максимальный сдвиг для трех проанализированных случаев неравномерного трехосного сжатия представлены на рис.1.

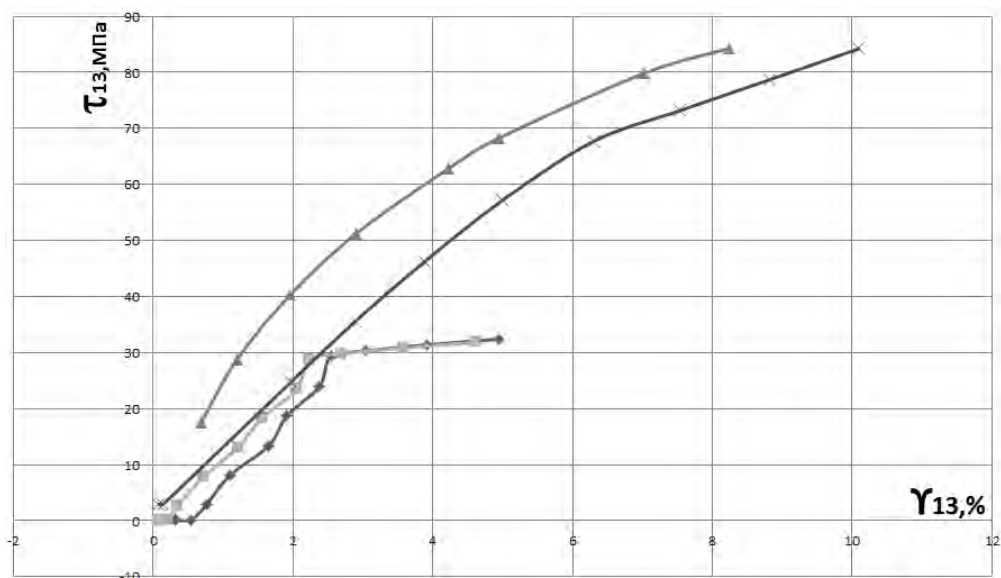


Рисунок 1 – Диаграммы деформаций при трех видах неравномерного трехосного сжатия:
 ▲ Сжатие ◆ Растяжение × Сдвиг ■ Растяжение в координатах $\tau_{12} \sim \gamma_{12}$

Выводы.

1. Как видно из рис.1, диаграммы деформаций при трех видах осуществленного в опытах [3] объемного сжатия образцов подобны между собой. Разная степень упрочнения при одной и той же величине деформации в каждом случае нагружения объясняется разным состоянием структуры соответствующих образцов, которые предварительно подвергались неодинаковому гидростатическому давлению. Такой характер указанных деформаций свидетельствует о достоверности представленных в [3] экспериментальных данных.

2. Строгой пропорциональности между компонентами девиаторов напряжений и деформаций не наблюдалось ($\mu_\sigma \neq \mu_\epsilon$) во всех рассмотренных случаях нагружения. Вместе с тем, для данной горной породы выявлен сдвиговой механизм деформации и разрушения с наложением всестороннего уплотнения (подтверждающего гипотезу В.В.Новожилова о равномерной дилатансии во всех главных направлениях тензора напряжений).

3. Именно из-за влияния дилатансии плоскость среза (судя по картинам разрушения образцов в [3, рис. 2.16]) не совпадает с площадкой действия максимального касательного напряжения. Для установления ориентации плоскости среза необходимы дополнительные экспериментальные данные в состояниях нагружения, «промежуточных» между сдвигом и растяжением, а также между сжатием и сдвигом (как это предусмотрено, в частности, ГОСТ 21153.3–88 [5]).

Литература

1. Шемякин Е.И. Две задачи механики горных пород, связанные с освоением глубоких месторождений угля и руды // Физ.-техн. проблемы разработки полезн. ископ. 1975. № 5. С. 29-45.
2. Чирков С.Е. Зависимость прочности горных пород при сдвиге от вида напряженного состояния // Физическая мезомеханика. 2007. Т. 10. № 4. С. 39-40.
3. Норель Б.К., Петров Ю.В., Селютина Н.С. Энергетические и временные характеристики предельного состояния горных пород. 2-е изд. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та. 2019. 132с
4. Новожилов В.В. О пластическом разрыхлении // Прикладная математика и механика. 1965. Т. 29. Вып. 4. С. 681-689.
5. ГОСТ 21153.3–88. Породы горные. Метод определения предела прочности при объемном сжатии. М.: Изд-во стандартов. 1988. 16 с.

СИСТЕМА АНАЛИЗА АТМОСФЕРЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Омурбекова Ж.К., Бекбердиева Э.Н.

janat.o.99@mail.ru

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В статье описывается изобретение, относящееся к измерительным системам, а именно к газовым анализаторам, и может быть применено для исследования загазованности атмосферы горных выработок. Рассматривается решение основной проблемы в горных выработках – повышение безопасности ведения работ за счет исключения входа персонала в выработки до получения результата анализа уровня их загазованности, т.е. исключается вход персонала при загазованности воздуха выработки выше допустимой нормы. Предложена система, снабженная мобильным летательным аппаратом, которое позволит повысить надёжность работы. Кроме этого, применение летательного аппарата позволит повысить надёжность работы системы, т.к. летательный аппарат конструктивно не связан с армировкой выработок и, соответственно, на него не влияет деформация выработок. Оснащение летательного аппарата упругой защитной оболочкой исключит повреждение летательного аппарата в случае ударов об оборудование в выработках, чем также повышается надёжность системы в работе. За прототип выбрана система шахтного сканирующего аэрогазового контроля, содержащая установленные в шахтных выработках базовые станции с антеннами, соединенные между собой линией связи, мобильные устройства оповещения, связанные с базовыми станциями посредством радиосвязи. Автор приводит принципиальное описание конструкции и работу системы, позволяющего достичь положительных результатов при запуске летательного аппарата.

Ключевые слова: измерительная система, газовый анализатор, горная выработка, повышение безопасности, летательный аппарат, загазованность

Изобретение относится к измерительным системам, а именно к газовым анализаторам, и может быть применено для исследования загазованности атмосферы горных выработок.

Известен газовый анализатор, включающий измерительный модуль, связанный с ним посредством радиосвязи дисплейный модуль, видеокамеру, размещенную на измерительном модуле и связанную посредством радиосвязи с дисплейным модулем, тросо-роликовую систему, установленную вдоль горной выработки, при этом измерительный модуль соединен с тросо-роликовой системой.

Недостаток известного газового анализатора – вероятность разрушения тросо-роликовой системы при деформации кровли и стенок горной выработки, чем снижается надёжность в работе. Надёжность анализатора также снижается отказом в работе, если на пути перемещения измерительного модуля в выработке возникает непреодолимое для модуля какое-либо препятствие.

Кроме этого, недостаток анализатора заключается в ограничении функциональных возможностей, связанного с тем, что применение тросо-роликовой системы возможно только на прямолинейных участках выработки.

За прототип выбрана система шахтного сканирующего аэрогазового контроля, содержащая установленные в шахтных выработках базовые станции с антеннами, соединенные между собой линией связи, мобильные устройства оповещения, связанные с базовыми станциями посредством радиосвязи. На мобильных устройствах оповещения размещены связанные с ними газоанализаторы и блоки определения положения относительно базовых станций [1].

С линией связи соединен сервер через устройство передачи сигналов от базовых станций, которое включает блок анализатора сигналов от мобильных устройств оповещения

и сигналов уровня загазованности в выработках. К серверу подключены компьютеры, принимающие от него информацию о состоянии атмосферы в выработках, которая отображается на экранах мониторов.

Недостатком известной системы шахтного сканирующего аэрогазового контроля является предусмотренный перенос персоналом мобильных устройств оповещения по шахтным выработкам, что обуславливает снижение безопасности проведения работ, т.к. отсутствует информация о загазованности воздуха до входа в выработки, и не известно, нет ли превышения допустимых норм концентрации газа.

Другой недостаток известной системы заключается в том, что конструктивно предусмотрена установка по длине выработок линий связи, соединяющих базовые станции с устройством передачи сигналов. При таком конструктивном исполнении вероятен обрыв линий связи при деформации кровли и стенок выработок, чем обуславливается снижение надежности работы системы [2].

Задача изобретения – повышение безопасности ведения работ в горных выработках и повышение надежности работы системы.

Поставленная задача решается тем, что система анализа атмосферы в горных выработках, включающая приемники сигнала, установленные по длине выработки, измерительный модуль, связанный посредством радиосвязи с приемниками сигнала, станцию приема сигналов, связанную с приемниками сигналов, устройство передачи сигналов, соединенное со станцией приема сигналов, сервер, подключенный к устройству передачи сигналов, компьютеры, подключенные к серверу, снабжена мобильным летательным аппаратом, оснащенный упругой защитной оболочкой, и ретрансляторами сигнала, расположенными на приемниках сигнала, при этом измерительный модуль установлен на летательном аппарате.

Снабжение системы мобильным летательным аппаратом повысит безопасность ведения работ в выработках за счет исключения входа персонала в выработки до получения результата анализа уровня их загазованности, т.е. исключается вход персонала при загазованности воздуха выработки выше допустимой нормы. Кроме этого, применение летательного аппарата позволит повысить надежность работы системы, т.к. летательный аппарат конструктивно не связан с армировкой выработок и, соответственно, на него не влияет деформация выработок. Оснащение летательного аппарата упругой защитной оболочкой исключит повреждение летательного аппарата в случае ударов об оборудование в выработках, чем также повышается надежность системы в работе.

Применение ретрансляторов сигнала, расположенных на приемниках сигнала, обеспечит автономность последних и позволит исключить из структуры проводную связь со станцией приема сигналов, что обеспечит повышение надежности системы.

Система анализа атмосферы в горных выработках показана на фигурах, где на рисунке 1 представлено расположение оборудования в горной выработке, продольный вертикальный разрез выработки; схематическое изображение мобильного летательного аппарата, вертикальный разрез; структурная схема связи оборудования.

Система анализа атмосферы в горных выработках включает приемники 1 сигнала (далее приемники 1), измерительный модуль 2 (далее модуль 2), связанный посредством радиосвязи с приемниками 1 и установленный на мобильном летательном аппарате 3 (далее летательный аппарат 3). С приемниками 1 связана посредством радиосвязи станция 4 приема сигналов (далее станция 4). Со станцией 4 соединено проводами 5 устройство 6 передачи сигналов (далее устройство 6), к которому подключен сервер 7, соединенный с компьютерами 8. На приемниках 1 расположены ретрансляторы 9 сигнала (далее ретрансляторы 9), связанные со станцией 4 посредством радиосвязи.

Летательный аппарат 3 оснащен упругой защитной оболочкой 10 (далее оболочка 10), закрывающей его корпус. В конструкцию модуля 2 входят датчики измерения загазованности атмосферы и может входить видеокамера (на фигурах не показаны).

Приемники 1 с ретрансляторами 9 и станция 4 установлены вдоль горной выработки 11, в пространстве которой также находится летательный аппарат 3.

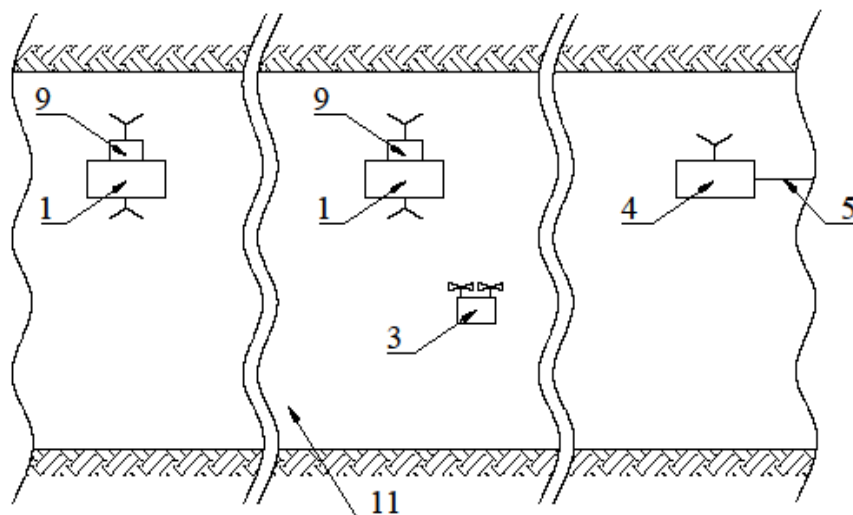


Рисунок 1 – Система анализа атмосферы в горных выработках

Система анализа атмосферы в горных выработках функционирует следующим образом. Перед тем, как персонал войдет в горную выработку 11, например, в начале рабочей смены, в выработку 11 запускают летательный аппарат 3. Пролетая по выработке 11 от ее начала и до конца, и возвращаясь назад, летательный аппарат 3 маневрирует среди оборудования, расположенного в выработке 11, и отслеживает ее состояние в реальном времени посредством датчиков измерения загазованности атмосферы и видеокамеры, связанных с модулем 2. Сигналы от выше названных датчиков и видеокамеры принимает модуль 2, от которого сигналы принимают поочередно приемники 1, передающие сигналы посредством ретрансляторов 9 на станцию 4. Оболочка 10 позволяет защитить корпус летательного аппарата 3 от повреждений при возможных столкновениях с оборудованием при пролете и маневрировании в выработке 11.

До станции 4 сигналы передаются посредством радиосвязи, а от станции 4 посредством проводов 5 поступают в устройство 6, размещенное за пределами выработки 11. От устройства 6 сигналы поступают на сервер 7, а от него передаются на компьютеры 8, в которых преобразуются в визуально-звуковую информацию, отображающую состояние выработки 11. Поочередный прием сигналов от модуля 2 приемниками 1 при пролете летательного аппарата 3 в зонах приема сигналов приемниками 1 позволяет обследовать выработку 11 по участкам, находящимся в зонах приема сигналов каждым приемником 1, что отображается, соответственно, компьютерами 8. По полученной информации принимается решение – возможен ли вход персонала в выработку 11 или необходима отправка специалистов аварийно-ремонтной службы на участок или участки выработки 11, где необходимо провести детальное обследование и восстановительные работы.

Таким образом, эксплуатация представленной системы анализа атмосферы в горных выработках позволит повысить безопасность ведения работ и повысить надежность работы системы.

Заявка на изобретение №1 от 28.03.22г. на изобретение «Система анализа атмосферы в горных выработках». Авторы: Омурбекова Ж.К., Бекбердиева Э.Н.

Литература

1. Патент KG 1994 C1, E21F17/18, 29.09.2017
2. Патент RU 2573659 C1, E21F17/18, 27.01.2016

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ COVID-19 НА ОСНОВЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ

Раимжанов Х.А.¹, Верзунов С.Н.²
halimjonraimjanov@gmail.com

¹ Кыргызско-Российский Славянский Университет, г. Бишкек, Кыргызская Республика

² Институт машиноведения и автоматики Национальной академии наук Кыргызской Республики, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В данной работе кратко изложены результаты исследования различных подходов для улучшения диагностики COVID-19 на основе рентгеновских данных, а также уменьшения погрешности постановки диагноза с помощью системы искусственного интеллекта (СИИ). Разработанная глубокая нейронная сеть, на базе предварительно обученной сверточной сети, дообученная с помощью рентгеновских снимков может эффективно и за короткий промежуток времени диагностировать заболевания легких по рентгеновскому снимку.

Ключевые слова: система искусственного интеллекта, коронавирус, пневмония, диагностика, рентгеновские данные

Введение. После вспышки коронавирусной инфекции COVID-19 и ее объявления ВОЗ пандемией в марте 2020 года во всем мире были приняты беспрецедентные меры для сдерживания распространения болезни. При этом было доказано, что одним из ключевых факторов сдерживания болезни является быстрая и точная диагностика инфицированных пациентов, их адекватное лечение и изоляция от остального населения. Коронавирусная болезнь приобрела исключительно большое значение, что объясняется тем, что COVID-19 характеризуется относительно низкой общей летальностью (1–3,5%), которая, однако, резко возрастает до >30% в возрастной группе старше 70 лет. В целом пневмония развивается у 15–20% заболевших, а от 5 до 30% больных требуют лечения в условиях отделения реанимации и интенсивной терапии.

Тем не менее, интерпретация рентгеновских снимков затруднительна, так как для того, чтобы обнаруживать тонкие визуальные особенности, присутствующие на изображениях, требуется достаточно высокая квалификация врачебного персонала. Напротив, система искусственного интеллекта (СИИ) может обнаруживать закономерности на рентгенограммах грудной клетки, обычно с трудом распознающиеся врачами-рентгенологами, и в различных источниках [1, 2] было опубликовано множество исследований о новых разработках СИИ с использованием сверточных нейронных сетей (convolutional neural network, CNN) с целью дифференцирования COVID-19 от других заболеваний с использованием общедоступных баз данных рентгеновских снимков грудной клетки. Как показано в этих работах, СИИ на основе сверточных нейронных сетей позволила бы улучшить возможности рентгенографии с точки зрения распознавания типичных признаков COVID-19 и дифференциацию его от других типов пневмонии и, кроме того, могло бы ускорить диагностику больных и улучшить степень определения риска тяжелого течения болезни в случаях с неопределенными результатами при отсутствии других диагностических методов.

Свертка работает методом скользящего окна: она двигает окно с размером 3×3 или 5×5 по трехмерной входной карте признаков, останавливается в каждой возможной позиции и извлекает трехмерный шаблон окружающих признаков (с формой: высота окна, ширина окна, глубина входа). Каждый такой трехмерный шаблон затем преобразуется (путем умножения тензора на матрицу весов, получаемую в ходе обучения, которая называется ядром свертки) в одномерный вектор с формой (выходная глубина,). Все эти векторы затем

собираются в трехмерную выходную карту с формой (высота, ширина, выходная глубина). Каждое пространственное местоположение в выходной карте признаков соответствует тому же местоположению во входной карте признаков (например, правый нижний угол выхода содержит информацию о правом нижнем угле входа). При этом выходные ширина и высота могут отличаться от входных. На то есть две причины:

- эффекты границ, которые могут устраняться дополнением входной карты признаков;
- использование шага свертки, о чем подробнее говорится в [3].

Ранее разными авторами уже предпринимались попытки разработать СИИ для этой цели на основе сверточных нейронных сетей. Например, сверточная сеть Bayes-SqueezeNet на основе метода байесовской оптимизации была использована для классификации рентгеновских снимков, разделенных на 3 класса: норма, вирусная пневмония и COVID-19. Благодаря широко известному методу расширения данных авторам удалось частично решить проблему переобучения сети на небольшом объеме данных.

Исходные данные. В настоящей работе использовались 4 общедоступные базы данных рентгеновских снимков грудной клетки:

- Chest X-Ray Images (Pneumonia) [4].
- COVID-19 image data collection [5].
- COVID-19_Radiography_Dataset [6].
- TB_Chest_Radiography_Database [7].

Набор данных [4] состоит из рентгеновских снимков грудной клетки здоровых людей и пациентов с бактериальной и вирусной пневмонией. Всего имеется 5856 рентгенограмм в передней прямой проекции, примерно 2/3 из них принадлежит пациентам, больным пневмонией, приблизительно поровну вирусной и бактериальной, а остальная часть здоровым пациентам.

Набор [5] содержит 468 рентгеновских снимков грудной клетки пациентов с COVID-19, 38 снимков с вирусной пневмонией, 46 снимков с бактериальной пневмонией, 26 снимков с грибковой пневмонией, 9 снимков с пневмонией другого типа и 59 изображений другого типа.

Набор [6] содержит 3616 рентгеновский снимок грудной клетки пациентов с COVID-19, 1345 снимков с вирусной пневмонией, 10192 снимка грудной клетки здоровых людей и 6012 снимка с затемнениями на легких, вызванными неизвестными причинами.

Набор [7] содержит 700 рентгеновских снимков пациентов с туберкулезом и 3500 снимков грудной клетки здоровых людей. Для классификации по двум классам из первого набора был выбран 191 рентгеновский снимок грудной клетки здоровых людей в передней прямой проекции, а из второго набора 191 снимок грудной клетки пациентов, больных COVID-19 в передней и задней прямой проекции с дополнением данных путем случайного поворота на величину до 15° и случайного отражения в горизонтальной плоскости.

Методы оценки обучения нейронных сетей. Как и в работе [8], в случае 2 классов, использовались 6 характеристик для сравнения результатов дополнительного обучения полносвязных классификаторов глубоких нейронных сетей на основе различных вариантов CNN – верность, чувствительность, специфичность, точность, оценка F_1 и площадь под ROC-кривой (receiver operating characteristic, рабочая характеристика приемника), т.н. AUC (area under ROC curve).

Чувствительность S_e определяется как процент пациентов с COVID-19, у которых инфекция правильно диагностирована, и выражается как:

$$S_e = T_p/P \times 100\% = T_p/(T_p + F_n) \times 100\%, \quad (1)$$

где T_p – количество пациентов с COVID-19, правильно диагностированных как инфицированные; F_n – количество пациентов с COVID-19, ошибочно диагностированных как не инфицированные и P – общее количество больных COVID-19.

Специфичность S_p определяется как процент людей, не инфицированных COVID-19, правильно диагностированных как не инфицированные:

$$S_p = T_n/N \times 100\% = T_n/(T_n + F_p) \times 100\%, \quad (2)$$

где T_n – количество людей, не инфицированных COVID-19, правильно диагностированных как не инфицированные; F_p – количество людей, не инфицированных COVID-19, ошибочно диагностированных как инфицированные и N – общее количество людей, не инфицированных COVID-19.

Точность A_c классификации определяется как

$$A_c = (T_p + T_n)/(P + N) \times 100\%. \quad (3)$$

Верность P_r классификации определяется как

$$P_r = T_p/(T_p + F_p) \times 100\%. \quad (4)$$

Оценка F_1 определяется как среднее гармоническое между точностью и чувствительностью:

$$F_1 = 2T_p/(2T_p + F_p + F_n). \quad (5)$$

ROC представляет собой график, отображающий соотношение между T_p и F_p при варьировании порога решающего правила, а AUC представляет собой меру производительности классификатора. Чем выше AUC , тем лучше модель диагностирует COVID-19, отличая его от случаев, не связанных с ним. Для идеального классификатора, например, $AUC=1$, а $AUC=0.5$ показывает, что классификатор работает случайным образом.

В случае многоклассовой классификации использовалась только точность классификации A_c , так как остальные характеристики плохо экстраполируются на этот вариант. Она определяется как: $A_c = T/N \times 100\%$, где T - количество правильно классифицированных пациентов, N – общее количество людей.

Результаты. Выделяется 6 классов: COVID-19, норма, бактериальная пневмония, вирусная пневмония, туберкулёз, и отдельный класс для заболеваний невыясненной природы, который мы для краткости назовем «затемнение легких». К сожалению, здесь также для большинства пациентов имеется только одномоментный набор рентгеновских снимков грудной клетки.

Это ограничение приводит к тому, что оказывается невозможным определить, появились ли у пациентов рентгенологические особенности по мере прогрессирования болезни. В используемых здесь архитектурах предварительно обученных сверточных сетей последний слой с настраиваемыми весами по-прежнему является полносвязным слоем. Этот полносвязный слой, как и в предыдущей главе, был заменен новой последовательностью слоев, состоящей теперь из слоя выбора среднего значения из соседних по всем каналам (слоя глобального пуллинга), для согласования размеров тензоров на выходе предыдущего слоя с входом последующего полносвязного слоя, состоящего из 128 нейронов, слоя прореживания с вероятностью 0.5 и выходного слоя из 6 нейронов, так как классификация производится по шести классам. Сравнение результатов приведено в [9].

Так как предварительно обученная сверточная нейронная сеть EfficientNetB3 занимает меньший объем памяти, всего 48 МВ, по сравнению 232 МВ у ResNet152, для практического применения, в частности в мобильных приложениях, мы рекомендуем использовать именно эту сеть.

Таким образом, архитектура сети имеет следующий вид, показанный в табл. 1.

Таблица 1– Архитектура нейронной сети на основе CNN EfficientNetB3

Layer (type)	Output Shape	Param #
efficientnetb3 (Functional)	(None, 7, 7, 1536)	10783535
global_average_pooling2d_4	(None, 1536)	0
dense_8 (Dense)	(None, 128)	196736
dropout_4 (Dropout)	(None, 128)	0
dense_9 (Dense)	(None, 6)	774

Разработанные выше нейронные сети были конвертированы в специальный переносимый формат, принятый в библиотеке TensorFlow Lite, так называемый FlatBuffers и сохранена в файле с расширением «*tfliite*». Этот формат дает несколько преимуществ, по сравнению с форматом, принятым в библиотеке Keras, таких как уменьшенный размер (что важно в мобильных приложениях) и более быстрый доступ, который осуществляется напрямую, без дополнительного этапа синтаксического анализа и распаковки, что позволяет СИИ эффективно работать на переносных устройствах с ограниченными вычислительными ресурсами и ресурсами памяти.

Полученные файлы в формате TensorFlow Lite дополнительно включает метаданные, содержащие описание нейронной сети, используемых ее классах и машиночитаемые данные для автоматического создания конвейеров предварительной и постобработки во время работы на устройстве.

Разработанный прототип мобильного приложения реализует такие функции как:

- Классификация изображения.
- Отображение сведений о режиме работы нейронной сети.
- Выбор количества потоков, используемых для работы нейронной сети.
- Выбор используемой для классификации нейронной сети (DenseNet169 или EfficientNetB3).
- Выбор используемого для работы нейронной сети устройства (CPU или GPU).

Через определенные промежутки времени, зависящее от времени обработки изображения, приложение получает “сырые” кадры с камеры. Нейронная сеть выполняет классификацию изображения по двум или шести классам в зависимости от выбранной модели сети. Пользователь может узнать распознанный сетью класс изображения, скрыть или отобразить дополнительные сведения о работе приложения, такие как: размер кадра; размер и угол поворота изображения, используемого сетью; время обработки изображения; количество используемых потоков процессора. Дополнительные сведения могут быть использованы для отладки программных средств (рис. 1).

Кроме того, пользователь может выбрать используемую для классификации нейронную сеть для диагностики по двум или шести классам, количество используемых потоков процессора, а также используемое нейронной сетью для работы устройство: CPU или GPU. В дальнейшем планируется дополнить разработанную программу базой данных изображений, присланных пользователями, что позволит улучшить точность работы СИИ.

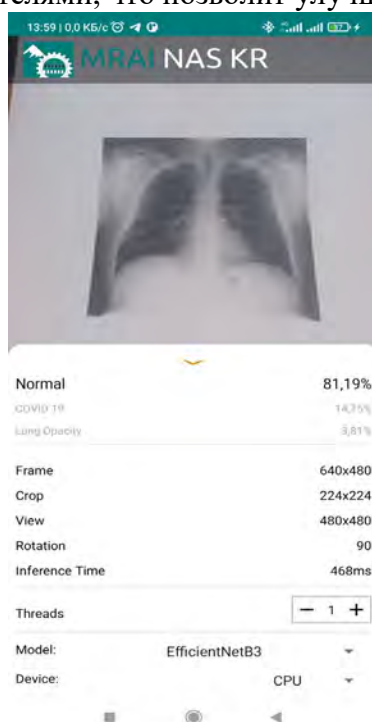


Рисунок 1 – Интерфейс разработанного прототипа программных средств

Выводы и обсуждение. Таким образом, в результате исследований было подтверждено, что рентгеновские снимки грудной клетки могут иметь большое значение для постановки диагноза пациентам с COVID-19, и также могут быть полезны для диагностики различных видов пневмонии. Были собраны и проанализированы имеющиеся в сети Интернет рентгеновские снимки для диагностики COVID-19. Выполнен обзор и анализ литературы в области диагностики коронавирусной инфекции. Сформулированы критерии успешного решения задачи диагностики коронавирусной инфекции по рентгеновским снимкам в виде 6 характеристик для сравнения результатов обучения глубоких нейронных сетей. Выполнена предварительная подготовка найденных изображений для построения нейросетевого классификатора на базе предварительно обученных сверточных нейронных сетей, выделены уникальные рентгеновские снимки грудной клетки по каждому классу: 10200, 1345, 2538, 3616, 700, 6012. В результате анализа изображений сформулирована задача диагностики коронавирусной инфекции, как задача бинарной (COVID-19, норма) и многоклассовой классификации изображений грудной клетки по 6 классам: норма, вирусная пневмония, бактериальная пневмония, COVID-19, туберкулез, неуточненное заболевание легких. Разработаны и протестированы архитектуры на базе предварительно обученных сверточных нейронных сетей для дифференциальной диагностики коронавирусной инфекции и различных видов пневмонии. Выполнена регуляризация и настройка гиперпараметров предлагаемой нейронной сети: параметров прореживания, количества слоев, числа нейронов на слой, шага обучения оптимизатора. В результате найдены наиболее оптимальные настройки нейронной сети. Разработан прототип мобильного приложения для диагностики различных видов пневмонии, который используется для тестирования и совершенствования разработанной СИИ.

Литература

1. Wong HYF, Lam HYS, Fong AH-T, Leung ST, Chin TWY, et al. Frequency and distribution of chest radiographic findings in COVID-19 positive patients. *Radiology*. 2020.
2. Zech JR, Badgeley MA, Liu M, Costa AB, Titano JJ, Oermann EK. Variable generalization performance of a deep learning model to detect pneumonia in chest radiographs: a cross-sectional study. *PLoS Med*. 2018;15:e1002683.
3. Шолле Ф. Глубокое обучение на Python. СПб.: Питер. 2018. 400 с.
4. Daniel S. Kermany et al. Identifying Medical Diagnoses and Treatable Diseases by Image-Based Deep Learning, *Cell*, Volume 172, Issue 5, 2018, Pages 1122-1131.e9, ISSN 0092-8674, <https://doi.org/10.1016/j.cell.2018.02.010>.
5. COVID-19 Image Data Collection: Prospective Predictions Are the Future Joseph Paul Cohen and Paul Morrison and Lan Dao and Karsten Roth and Tim Q Duong and Marzyeh Ghassemi arXiv: 2006. 11988, <https://github.com/ieee8023/covid-chestxray-dataset>, 2020.
6. Rahman, T., Khandakar, A., Qiblawey, Y., Tahir, A., Kiranyaz, S., Kashem, S.B.A., Islam, M.T., Maadeed, S.A., Zughair, S.M., Khan, M.S. and Chowdhury, M.E., 2020. Exploring the Effect of Image Enhancement Techniques on COVID-19 Detection using Chest X-ray Images
7. Tawsifur Rahman, Amith Khandakar, Muhammad A. Kadir, Khandaker R. Islam, Khandaker F. Islam, Zaid B. Mahbub, Mohamed Arselene Ayari, Muhammad E. H. Chowdhury. (2020) "Reliable Tuberculosis Detection using Chest X-ray with Deep Learning, Segmentation and Visualization". *IEEE Access*, Vol. 8, pp 191586 - 191601. DOI. 10.1109/ACCESS.2020.3031384
8. Pham, T.D. Classification of COVID-19 chest X-rays with deep learning: new models or fine tuning? *Health Inf Sci Syst* 9, 2 (2021). <https://doi.org/10.1007/s13755-020-00135-3>
9. Верзунов, С.Н., Раимжанов Х.А. Сравнение глубоких нейронных сетей на основе различных предварительно обученных CNN для диагностики COVID-19 по рентгеновским снимкам // Проблемы автоматизации и управления. 2021. № 1 (40). С. 12-25.

ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ БУРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО, ЗОЛОТОРУДНОГО И АЛМАЗНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Райымкулов М.А., Сыдыков Э.Ш.

raiymkulovma@blastmaker.kg, ernazarsydykov@mail.ru

Институт коммуникаций и информационных технологий Кыргызско-Российского Славянского университета, г.Бишкек, Кыргызская Республика

В статье рассматриваются гистограммы распределения энергоемкости бурения, полученные на угольном, золоторудном и алмазном месторождениях, где полноценно внедрена и работает программно-технический комплекс «BlastMaker». В результате длительной эксплуатации системы, непрерывно накапливаются данные об энергоемкости бурения на различных горизонтах и участках месторождения, что позволяет получить энергетическую модель по всем месторождениям, а знание о зависимости удельного расхода ВВ по энергоемкости бурения, позволяет производить сравнительный анализ моделей.

Ключевые слова: энергоемкость бурения, энергетическая модель месторождения, добыча полезных ископаемых, программно-технический комплекс BlastMaker, неоднородность массива

Введение. Непредсказуемая неоднородность прочностных свойств горных пород остается главным фактором, осложняющим ведение горных работ и, например, достижение требуемого качества дробления горной массы. Геологическая разведка в общем случае не может дать достаточно точной и подробной информации о структуре массива и прочности горных пород. Один из эффективных способов получения необходимых сведений о свойствах обрабатываемого массива – использование цифровых технологий для получения непосредственно с бурового станка в процессе бурения технологических скважин такого параметра, как удельная энергия бурения [1]. Данная величина является наиболее объективным и простым в определении показателем буримости пород и характеризуется затрачиваемой энергией на дробление участков массива [2].

После накопления достаточной статистической информации об энергоемкости бурения появляется возможность идентифицировать взрываемые блоки по прочностным характеристикам, детализировать модель месторождения, выявлять тенденции и закономерности залегания рудных тел. Такой массив информации сопоставим с комплексом геофизических исследований [3-5].

Для оперативного анализа обрабатываемого массива по прочностным характеристикам возникает необходимость разработки программного приложения, которое обеспечивает чтение и обработку данных об энергоемкости бурения из базы данных системы «BlastMaker» [6] и предоставляет результат в наглядном виде. Такой инструмент позволяет осуществлять непрерывный и ежедневный мониторинг за массивом и проводить планирование и оптимизацию добычи полезных ископаемых в соответствии с получаемыми данными.

Методика обработки. В результате длительной эксплуатации системы «BlastMaker», непрерывно накапливаются данные об относительной энергоемкости бурения на различных горизонтах и участках месторождения, что позволяет получить модель всего месторождения. Однако имеющиеся инструменты построения гистограммы энергоемкости бурения имеют ограничения и позволяют получить распределения только для конкретного участка месторождения. Для оперативности получения энергетической модели для всего месторождения разработано стороннее приложение, которое имеет прямой доступ к базе

данных системы «BlastMaker» Access и PostgreSQL. Из базы данных считается относительная энергоёмкость бурения, усредненная по глубине скважины и определяемая по формуле:

$$e' = k \frac{\sum e \Delta l}{L}, \quad (1)$$

где суммирование ведется вдоль всей пробуренной скважины, k - коэффициент, характеризующий горно-технологические условия предприятия, e - удельная энергоёмкость бурения, МДж/куб.м, L - длина скважины.

На основе обработки импортируемых данных строится гистограмма распределения удельной энергоёмкости бурения. Приложение позволяет задать шаг гистограммы, отображает частоту встречаемости, определять диапазон значений удельной энергоёмкости бурения, если породы достаточно контрастные по прочностным характеристикам, то и выделить породы.

Учитывая горно-технологические особенности каждого месторождения, определение коэффициента k в формуле (1) не всегда представляется возможным и, как следствие, отсутствует возможность сопоставления энергетических моделей различных месторождений по параметру удельной энергоёмкости. Если определить соответствие между удельной энергоёмкостью бурения и рекомендуемым удельным расходом q_p для эталонного взрывчатого вещества (Аммонит БЖВ), диаметра скважины 250 мм и среднего кондиционного куска 500 мм, то можно перейти от гистограмм распределения удельной энергоёмкости бурения к гистограммам распределения рекомендуемого удельного расхода. Такая зависимость устанавливается в виде:

$$q_p = k_1 \ln(k_2 e' + k_3), \quad (2)$$

где k_1 , k_2 и k_3 - коэффициенты, уточняемые для условий конкретного месторождения. Определение данных коэффициентов осуществляется на основе сопоставления проектного удельного расхода взрывчатого вещества для конкретной скважины, заданной сетки скважин и полученной в результате бурения средней энергоёмкости бурения. Коэффициенты в выражении (2) подбираются так, чтобы расчетный удельный расход q_p максимально соответствовал проектному расходу.

Результаты и обсуждение. Полноценные статистические кривые распределения пород по энергоёмкости бурения впервые были получены и обсуждены в работах Тангаева И.А. и Коваленко В.А (Рисунок 1). Сопоставляя графики различных отраслей горнодобывающей промышленности, авторы показали, что данные кривые представляют собой энергетические модели месторождений, наиболее объективно отражающими как показатель средневзвешенной крепости пород, так и их соотношение по величине сопротивляемости разрушению в процессах бурения, взрывания, дробления и измельчения [7].



Рисунок 1 – Распределение энергоёмкости бурения для карьеров цветной металлургии

В данной работе рассматриваются гистограммы распределения энергоёмкости бурения, полученные на угольном (ТОО Богатырь, Казахстан), золоторудном (Кумтор, Кыргызстан) и алмазном (Айхальский ГОК, Республика Саха Якутия) месторождениях, где полноценно внедрена и работает система «BlastMaker».

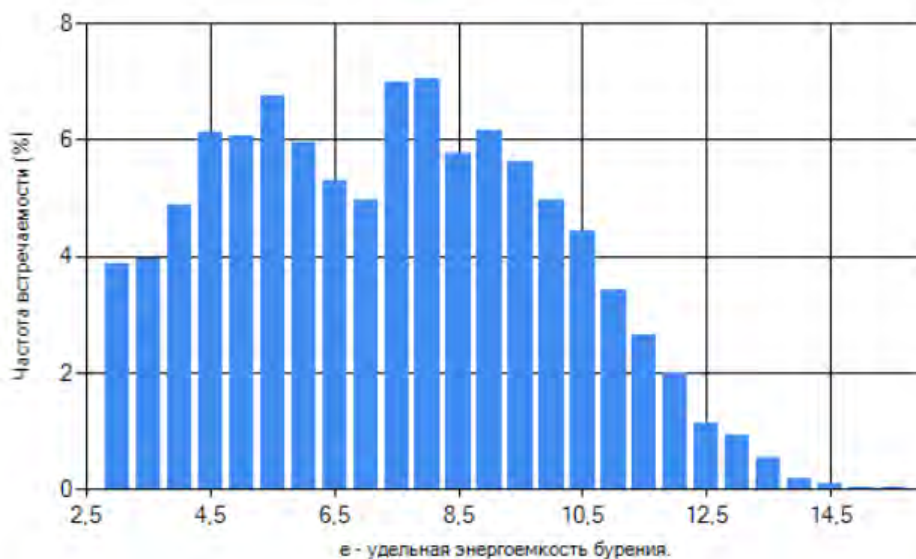


Рисунок 2 – Гистограмма распределения удельной энергоёмкости бурения на угольном месторождении, предприятие ТОО «Богатырь»

На Рисунке 2 представлены результаты обработки данных относительной энергоёмкости бурения для угольного месторождения. Удаётся отчетливо выделить уголь с меньшими значениями удельной энергоёмкостью породы ($e < 7$) и вскрышные породы ($e > 7$). Такое распределение удельной энергоёмкости бурения является характерным для угольных месторождений за счет контрастности прочностных характеристик слагающих пород. Поэтому энергоёмкость бурения на угольных месторождениях может быть использована в качестве параметра, позволяющего вести разведку угля посредством бурения технологических скважин, определять и уточнять с высокой достоверностью положение угольных пластов [4].

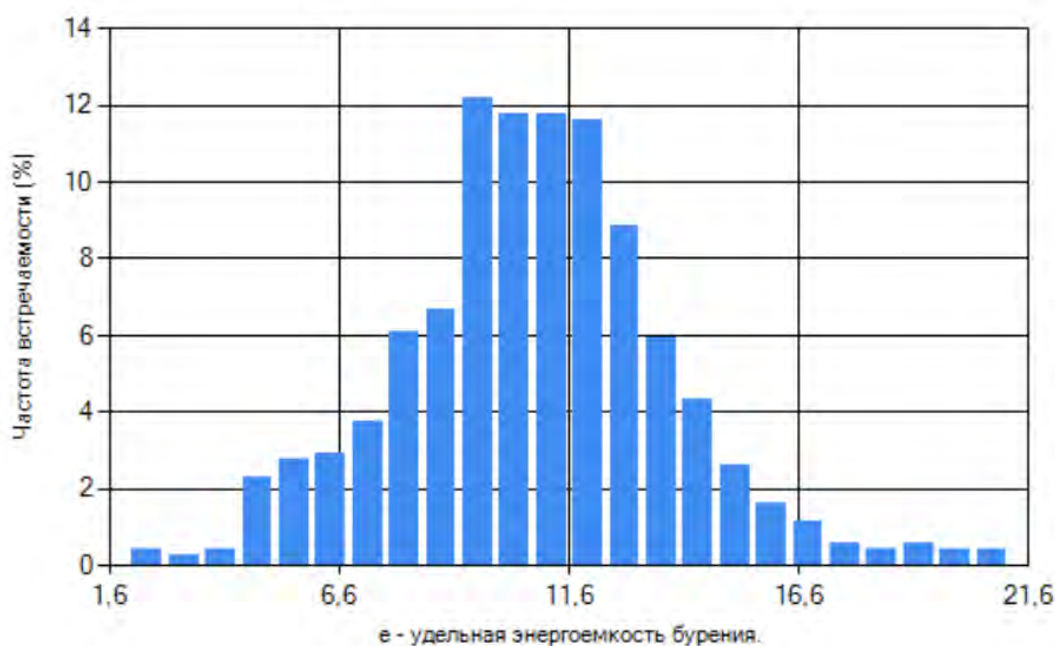


Рисунок 3 – Гистограмма распределения удельной энергоёмкости бурения для золоторудного месторождения, карьер «Кумтор»

Распределение удельной энергоемкости бурения для золоторудного месторождения «Кумтор» является нормальным, что позволяет сделать вывод об однородности массиве (Рисунок 3). Действительно преобладающими типами пород на Кумторе являются филлиты. Однако гистограмма позволяет показать, что даже на практически однородных участках массива, сложенных породами одного типа, прочностные характеристики могут варьироваться в широких пределах, а, следовательно, могут варьироваться и параметры буровзрывных работ.

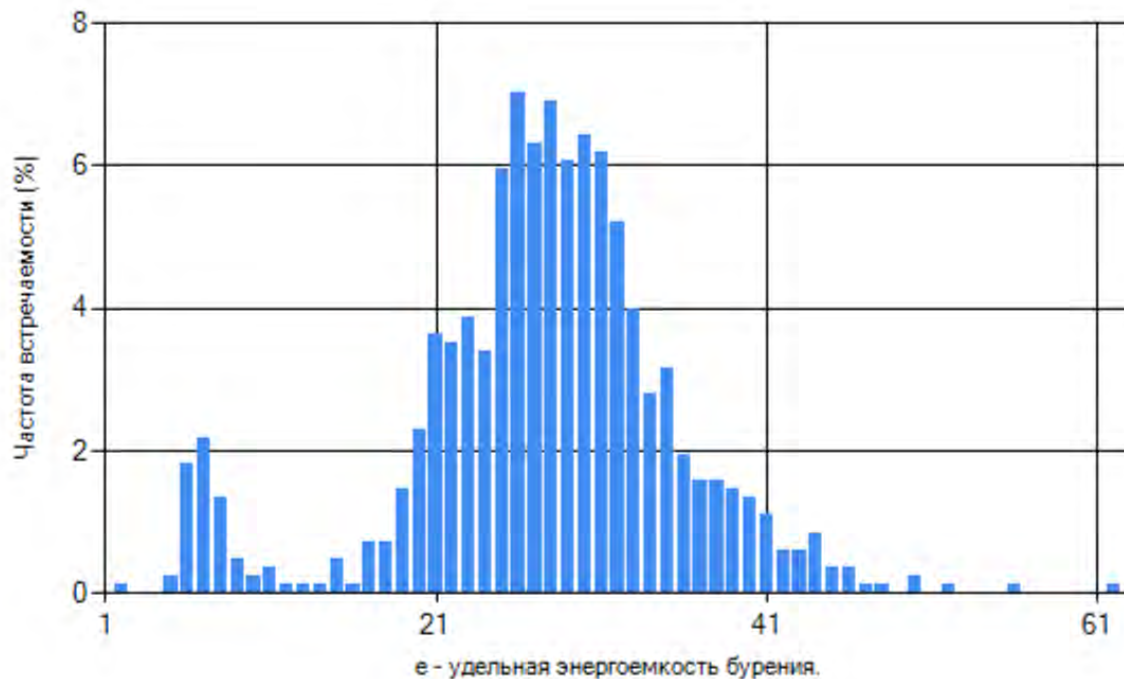


Рисунок 4 – Гистограмма распределения удельной энергоемкости бурения для алмазного месторождения, Айхальский ГОК

Распределение удельной энергоемкости бурения для месторождения Айхальский ГОК позволяет выделить менее прочные породы ($e' < 10$) и более часто встречаемые породы, определяемые нормальным распределением (Рисунок 4).

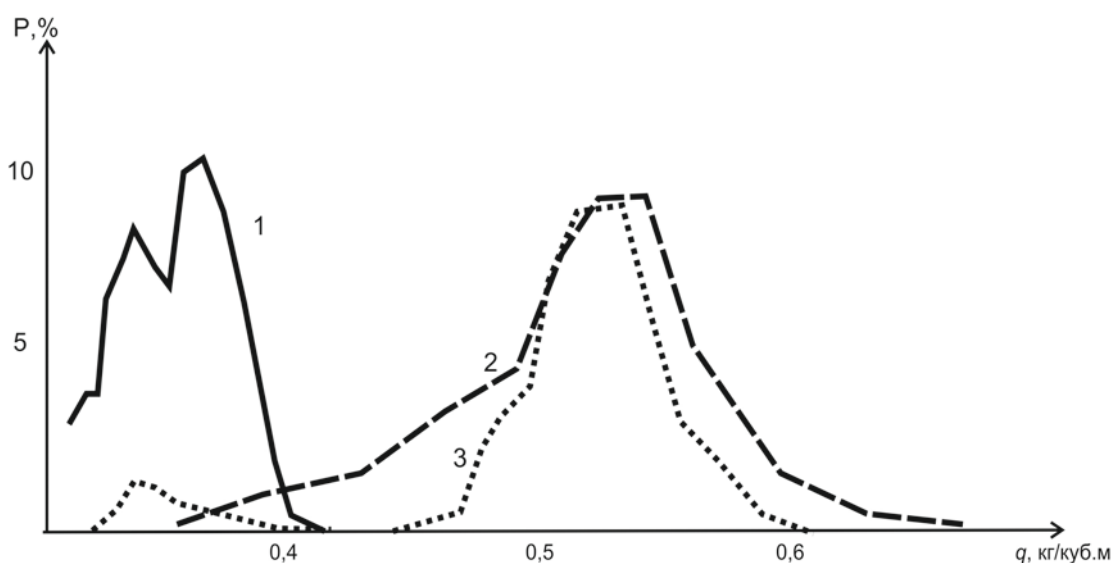


Рисунок 5 – Гистограмма распределения рекомендуемого удельного расхода эталонного взрывчатого вещества в соответствии с распределением удельной энергоемкости бурения для 1) угольного, 2) золоторудного и 3) алмазного месторождений

Полученные коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 , входящие в выражение (2) для каждого из месторождений, позволяют перейти от гистограмм распределения удельной энергоемкости бурения к гистограммам распределения рекомендуемого удельного расхода. Такие гистограммы также являются энергетическими моделями месторождения и могут применяться для сравнения и сопоставления распределения энергетических показателей различных месторождений. На Рисунке 5 приведены сравнения моделей удельного расхода эталонного взрывчатого вещества по трем месторождениям. Как показывает сравнение, энергетические модели месторождений «Айхальский ГОК» и «Кумтор» достаточно близки. Значительно отличается модель для угольного месторождения для которого выделяются две области - распределение для угольных участков и для вскрышных пород.

Выводы. Инструмент импорта и анализа данных об удельной энергоемкости бурения позволил получить и сопоставить энергетические модели по различным месторождениям. Непрерывная эксплуатация программно-технического комплекса «BlastMaker» обеспечивает накопление информации о прочностных характеристиках на различных участках месторождения и осуществлять работу по уточнению модели. Таким образом, наряду с применением комплексом геофизических данных о месторождении, может использоваться параметр удельной энергоемкости бурения.

В процессе получения данных об распределении удельной энергоемкости бурения на конкретном участке массива, имеется возможность сопоставить гистограмму распределение с энергетической моделью месторождения, определить прочностные характеристики на интересующем участке и принять решения по выполнению буровзрывных работ. Гистограмма распределения удельной энергоемкости бурения также полезна при настройке данных, получаемых от буровой установки. При условии, что бурение осуществлялось на различных участках месторождения, то настройка проводится так, чтобы гистограмма распределения полученных данных соответствовала энергетической модели месторождения.

Литература

1. Тангаев И.А. Буримость и взрываемость горных пород. М.: Недра. 1978. 184 с.
2. Коваленко В.А. Автоматизированная подготовка производства на карьерах // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2009. Т. 9. № 11. С. 118–123.
3. Белкина Т.А. Геологическое сопровождение отработки Олонь-Шибирского месторождения с использованием возможностей ПТК «Blast Maker» // Передовые технологии на карьерах. Сб. докл. Бишкек: КРСУ. 2015. С. 65-67.
4. Игнатъев Н.Н. Применение бескернового бурения для целей эксплуатационной разведки и оценки зольности угля на Олонь-Шибирском каменноугольном месторождении // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2019. № 3. С. 134-141. DOI: 10.25018/0236-1493-2019-03-0-134-141.
5. Коваленко В.А., Умрихин Э.А., Райымкулов М.А. Цифровая технология подготовки производства ПТК BlastMaker в условиях Михайловского ГОКа // Глобус. 2020. № 3 (62). С. 146-151.
6. Долгушев В.Г. Система автоматизированного проектирования буровзрывных работ на карьерах «Blast Maker» // Горный журнал Казахстана. 2013. № 11. С. 28-32.
7. Коваленко В.А., Тангаев И.А. Энергетический принцип контроля и оптимизации технологических процессов на карьере // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2008. № 10. С. 293-301.

АНАЛИЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ИНДУКЦИОННОГО МЕТОДА

Сагындикова А.Ж.

a.sagyndikova@aes.kz

Алматинский университет энергетики и связи, г. Алматы, Республика Казахстан

Разработан способ сушки зерна и удаления влаги, который основан на получении и обработке возникающих тепловых процессов, описанных уравнением термодинамики. Этот способ был мало изучен и реже применялся из-за значительного несовершенства технологии производства преобразователя частоты большой мощности (до несколько сотен киловатт) и частоты (до несколько сотен кГц). Но в данное время оборудование для индукционного нагрева получило большое развитие и его применение на сушильных установках по сравнению с традиционными способами нагрева более предпочтительно. Предлагается индукционный способ сушки зерна, где зерновой материал проходит через сушильную шахту под действием силы тяжести. Для проведения экспериментальных исследований разработано транзисторно-тиристорное устройство, которое состоит из блока управления, преобразователя частоты, бункера, в котором находится шнек с геликоидной поверхностью, обмотки индуктора, влагомер. Алгоритм получения и обработки данных разработан в среде MATLAB. При дальнейшем увеличении частоты коэффициент потерь не изменится, следовательно, учитывая, что наше устройство работает в ГГц диапазоне, коэффициент потерь будет постоянным, т.е. равным 0,6. Поэтому при изучении влияния влажности зерна на коэффициент потерь мы можем с уверенностью считать, что частота не влияет на точность измерений. Количество тепла получаемое, влагой внутри зерновки, возрастает с увеличением его влажности. Впервые получена прикладная, в инженерном смысле, формула Максвелла, пригодная для расчета тепла, полученного влагой зерна. Снижение удельной стоимости всей установки требует обращения к разработкам и внедрению простых по конструкции индукционных нагревателей, что является актуальной проблемой.

Ключевые слова: сушка зерна, электромагнитная индукция, количество выделяемого тепла, формула Максвелла.

Основой теории сушки зерна являются закономерности переноса теплоты и влаги в зерновке при взаимодействии её нагретыми газами, с горячими поверхностями, а также в процессах облучения тепловыми и электромагнитными волнами при наличии фазовых превращений [3].

Сушка, нагрев и охлаждение зерна – процессы, которые сопровождаются изменением температуры и влажности зерна, а также плотности потоков теплоты и влаги во времени. При сушке в зерне возникают градиенты температуры и влагосодержания, под действием которых происходит перенос теплоты и влаги внутри зерна, появляются термические и объемные напряжения.

Механизм удаления влаги из зерна при сушке схематически представлен на рисунке 1.

Вдоль поверхности влажной зерновки движется агент сушки с определенными параметрами. Теплота от агента сушки конвективным способом передается зерновке; ее поверхность нагревается, и часть влаги, находящейся у поверхности, испаряется. В результате по толщине зерновки создаются перепады влагосодержания, температуры и давления, под действием которых влага непрерывно подводится к поверхности, где и испаряется. Молекулы пара диффундируют через пограничный слой и поглощаются агентом сушки. Обязательное условие процесса удаления влаги с поверхности зерновки — это наличие разности между парциальным давлением у ее поверхности p_m и в агенте сушки p_n .

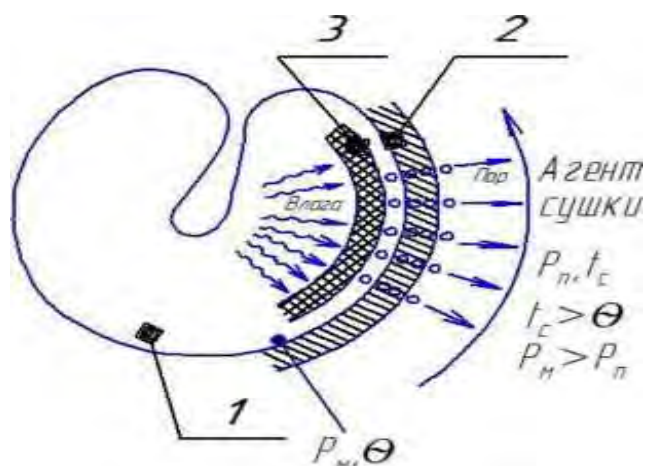


Рисунок 1 – Схема механизма удаления влаги при сушке зерна:
1 – зерновка; 2 – пограничный слой; 3 – зона испарения

Влага испаряется не с поверхности зерновки, а из некоторой зоны 3, расположенной в периферийной части зерновки. Более того, положение этой зоны не остается неизменным: она постепенно перемещается (углубляется) внутрь зерновки. Начало углубления зоны испарения многие исследователи связывают с началом удаления из зерна связанной влаги. При углублении зоны испарения поверхность зерновки остается обезвоженной, лишенной защитного фактора и поэтому может нагреваться до высоких температур.

Интенсификация переноса теплоты и влаги способствует ускорению сушки, но возникающие при этом напряжения могут привести к ухудшению качества зерна – образованию трещин, раскалыванию, снижению выхода целой крупы и т. д. Поэтому важно установить оптимальный режим сушки [4].

Зерно имеет сложную геометрическую форму, а зерновой слой представляет собой дисперсную среду, в которой зерновки ориентированы в пространстве произвольно. Кроме того, процессы переноса теплоты и влаги внутри зерна взаимосвязаны и взаимно влияют один на другой, а теплофизические и влагообменные свойства зерна зависят от его влажности и температуры, вследствие чего дифференциальные уравнения тепло-влагопереноса носят нелинейный характер.

Закон перемещения влаги внутри высушиваемого зерна в общем виде (1) можно выразить следующим соотношением:

$$i = k \nabla \Pi, \quad (1)$$

где i – плотность потока влаги; k – кинетический коэффициент влагопереноса (коэффициент пропорциональности), зависящий от физико-химических свойств материала; $\nabla \Pi$ – градиент потенциала переноса влаги (движущая сила процесса).

Учитывая явления влагопроводности и тепло- влагопроводности, основной закон внутреннего влагопереноса можно записать следующим образом:

$$i = i_u + i_T = -k\rho_0 \nabla u - k\rho_0 \nabla T, \quad (2)$$

$$i = -k\rho_0 (\nabla u - \nabla T), \quad (3)$$

где i , i_u и i_T – соответственно плотности потока влаги общая, вызванная действием градиента концентрации влаги и действием градиента температуры, кг/(м² · ч); k – коэффициент влагопроводности материала, м²/ч; δ – коэффициент термовлагопроводности материала, град⁻¹; ρ_0 – плотность абсолютно сухого материала, кг/м³; ∇u – градиент концентрации влаги, кг/(кг сухого вещества · м), ∇T – градиент температуры, град./м.

Коэффициент тепло- влагопроводности $\delta = \nabla u / \nabla T$ показывает, какой градиент концентрации влаги создается в теле при градиенте температуры 1 град./м. Знак «-» в формулах (2,3) показывает, что i_u и i_T направлены в одну, а ∇u и ∇T в противоположную сторону [5].

Если градиент концентрации влаги ∇u и градиент температуры ∇T направлены в противоположные стороны, при влажности наружных слоев материала меньше, чем

внутренние (а температура наоборот), то ∇u и ∇T в формулах (2,3) будут иметь противоположные знаки, а направление общего потока влаги определится градиентом, создающим более интенсивный поток влаги. Направление потока влаги чаще определяют градиентом концентрации влаги, градиент температуры создает лишь дополнительное сопротивление перемещению влаги внутри материала от более влажных слоев к менее влажным. Такое явление наблюдается, например, при конвективном способе сушки.

При контактном способе передачи теплоты градиент температуры имеет основополагающее значение и является основной характеристикой процесса сушки.

При радиационном способе сушки инфракрасными лучами теплопроводность и термовлагодобываемость направлены также в разные стороны, но процесс сушки протекает иначе. Вследствие быстрого и сильного нагрева поверхности материала в начальный период сушки термовлагодобываемость оказывается более интенсивной, чем теплопроводность и, следовательно, влага перемещается в направлении потока тепла. Перемещение влаги от поверхности к центру, вызывающее увеличение градиента концентрации влаги, постепенно увеличивает «тормозящее» действие теплопроводности и, наконец, приводит к равновесному состоянию - теплопроводность полностью уравнивается теплопроводностью. Начиная с этого момента, влажность центральных слоев остается постоянной, а сушка происходит путем испарения влаги из материала с постепенным углублением зоны испарения.

При электрическом способе сушки токами высокой частоты (поток теплоты движется от внутренних слоев материала к поверхности) температурный градиент и градиент концентрации влаги направлены в одну сторону и, следовательно, потоки влаги, обусловленные тепло- и теплопроводностью, совпадают, что, в конечном счете, приводит к значительному увеличению скорости сушки.

Тепловые свойства любого материала определяют по его теплофизическим характеристикам: удельной теплоемкости, теплопроводности, температурной проводимости и коэффициенту теплоусвоения (тепловой активности).

Таким образом, в процессе сушки зерна происходит теплообмен между поверхностью зерна и окружающей средой, а также перемещение теплоты и влаги внутри него. Внешний теплообмен обусловлен перепадом парциального давления пара у поверхности зерна и в окружающей среде. Перемещение влаги из внутренних слоев зерна к поверхности зависит от его структуры и свойств, в свою очередь зависящих от форм связи влаги с зерном. Влага из внутренних слоев обычно перемещается к его поверхности одновременно с потоком теплоты, циркулирующей в том же, или чаще в обратном направлении. Зная закономерности теплообмена можно добиться обеспечения качественного процесса сушки зерна с минимальными затратами энергии на данный процесс.

Повышение производства зерна в Казахстане невозможно без развития и совершенствования технологии хранения зерна.

Имеющиеся разрозненные литературные данные о кинетике сушки зерна не увязаны с происходящими изменениями его технологических свойств. В оценке эффективности технологии сушки показатель качества просушенного зерна во многих случаях не является первостепенным. Действующие температурные режимы сушки и предельные значения снижения влажности зерна за один цикл сушки жестко регламентированы вне связи с закономерностями кинетики процесса сушки. Отсутствуют количественные характеристики взаимосвязи скоростей нагрева и сушки зерна. Длительность сушки рассчитывается только исходя из заданного снижения влажности зерна без учета скорости его нагрева. Отсутствуют данные о неравномерности нагрева по толщине слоя зерна при сушке в широко применяемых сушильных аппаратах шахтного типа.

В практике сельскохозяйственного производства используют разнообразные приемы для интенсификации процесса сушки зерна: использование электроактивированного воздуха, предварительный нагрев зерна, применение рециркуляционных режимов, вакуумирование зоны сушки, изменение газового состава сушильной камеры и многие другие. Среди них в последнее время все чаще используется воздействие магнитным полем сверхвысокой частоты

(СВЧ). В нашей стране накоплен определенный опыт использования СВЧ полей при сушке зерна. В результате разработаны установки, позволяющие усовершенствовать существующие промышленные сушилки, применяемые на сельскохозяйственных предприятиях. Так же изучалось применение СВЧ полей для предпосевной обработки семян.

Авторами статьи проводились эксперименты сушки зерна токами высокой частоты. При высокочастотной сушке подвод тепла осуществляется с помощью поля электрического тока сверхвысокой (2000–2500 мГц) частоты, что является следствием теории Максвелла, которая гласит, что «чем выше частота электромагнитной индукции, тем больше тепла передается нагреваемому телу». Следовательно, намного эффективнее использовать токи сверхвысокой частоты (СВЧ) Влажные материалы растительного происхождения являются диэлектриками, обладают свойствами полупроводников. В их состав входят ионы электролитов, электроны, молекулы полярных и неполярных диэлектриков, обладающие дипольными моментами. В электромагнитном поле диполи располагаются осью вдоль поля. Попадая в переменное электромагнитное поле, они совершают колебательные движения, стремясь следовать за полями.

При сушке материал помещается между обкладками конденсатора, к которым подается ток высокой или сверхвысокой частоты. Обкладки имеют противоположные заряды, поэтому ионы и электроны перемещаются внутри материала к той или иной обкладке. При смене заряда на обкладках они перемещаются в противоположных направлениях, в результате возникает трение с выделением теплоты. Диполи в переменном электрическом поле будут колебаться то в одну, то в другую сторону, в результате также возникает трение с выделением тепла. Энергия электромагнитных волн, затрачиваемая на преодоление этих трений, будет превращаться в тепло.

Для измерения основного параметра среды, на которую воздействует электромагнитное поле, является диэлектрической постоянной. Представляет собой конденсатор с пластинами 200х200 мм и зазором между ними 5мм. Начальная емкость конденсатора составляет 18,185 пф, замер изменений емкости производится мостом Е12А-1А с точностью до 0,001пф.

$$\varepsilon_1 = \frac{C_1}{C_2} \quad (4)$$

где ε – диэлектрическая проницаемость материала (зерна); C_1 – емкость конденсатора при засыпке зерна; C_2 –емкость конденсатора воздуха.

По исследования С.С. Суворова температура также непосредственно влияет на электрофизические свойства зерна, что связано с изменением состояния воды, поглощенной зерном. Было установлено, что электрическое сопротивление зернового слоя при повышении температуры снижается, причем тем заметнее, чем ниже влажность зерна, что объясняется снижением электропроводности зерна, при испарении влаги из него.

Соответственно с повышением температуры значения диэлектрической проницаемости возрастают, причем тем быстрее, чем больше влагосодержание зерна.

Диэлектрическая проницаемость влажной пшеницы, по мнению С.С. Суворова можно вычислить по формуле:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + k \cdot W \quad (5)$$

где ε_0 – диэлектрическая проницаемость абсолютно сухого зерна; W – влажность зерна; k – коэффициент, постоянные для данной частоты.

Аналогичная формула рекомендована им и для тангенса угла потерь пшеницы. Васильев И.А. отметил зависимость электропроводности зерна от влажности и предлагает формулу:

$$\sigma = a \cdot \exp(b \cdot \omega) + C \quad (6)$$

где a, b, C – постоянные.

По данным А.А. Пикерегиля, с повышением температуры значения диэлектрической проницаемости возрастают, причем тем быстрее, чем больше влагосодержание зерна.

В электрическом поле высокой и сверхвысокой частоты нагрев частиц растительного материала происходит за доли секунды. Под действием переменного электрического поля высокой частоты происходит регулируемый нагрев материала. Из-за испарения влаги, тепло- и массообмена с окружающей средой поверхностные слои обезвоживаются и теряют тепло. Поэтому температура и влажность материала внутри выше, чем снаружи. Возникают градиенты температуры и влагосодержания, за счет которых влага изнутри перемещается к поверхности. При этом, в отличие от конвективной сушки, направление обоих градиентов совпадает, что интенсифицирует процесс сушки.

При этом способе сушки испарение происходит по всему объему. Изменяя напряженность поля, можно регулировать температуру материала при сушке.

Количество выделяемого тепла (Q), определяется по формуле Максвелла, имея в виду, что сушка зерна зависит от напряженности, диэлектрических свойств среды, от частоты генератора и от влажности зерна, можно записать, формулу 7:

$$Q = 0,555 \cdot E^2 \cdot \omega \cdot \kappa \cdot t q \delta \quad (7)$$

где E – электромагнитная напряженность В/м; ω – задаваемая частота генератора СВЧ, Г Гц; κ – относительная диэлектрическая проницаемость материала, зависит от диэлектрических свойств среды, от частоты генератора, от влажности зерна; $\text{tg} \delta$ – угол диэлектрических потери, характеризуемые средой и частотой генерации СВЧ (он дополняет до 90° угол сдвига фаз между током и напряжением в конденсаторе, между обкладками которого помещен материал).

Диэлектрическая проницаемость определяет способность перехода энергии электромагнитных волн в теплоту, способность материала реагировать на внешнее электромагнитное поле и зависит от физико-химических свойств, температуры и влагосодержания материала, от частоты и напряженности электрического поля. Изменение диэлектрической проницаемости приводит к изменению режима работы сушильных установок.

Материалы и методы исследований. На основании данных положений был поставлен и проведен эксперимент по использованию изменения частоты для сушки зерна. Целью эксперимента было получение кривых сушки зерна при изменяющихся независимых факторах. В качестве независимых факторов приняты начальная влажность зерна ($W, \%$), диэлектрическая проницаемость зерна, частота генератора ($\omega, \text{Гц}$), коэффициент потерь.

В дальнейшем, несмотря на достаточно высокое начальное влагосодержание зерна, сушка протекает на всем протяжении процесса с убывающей скоростью испарения влаги, с непрерывно возрастающей температурой зерна, что находит отражение в характере полученных кривых сушки, в результате проведения эксперимента получена зависимость между коэффициентом потерь при различных частотах, обработанных с помощью программы Excel рисунок 2.

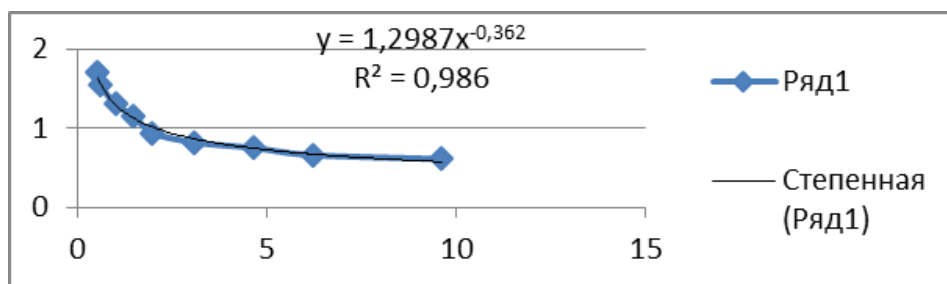


Рисунок 2 – Зависимость между коэффициентом потерь при различных частотах

Анализируя полученную зависимость коэффициента потерь при воздействии на влажные зерна (12%), СВЧ излучателем при его различных частотах. В первую очередь следует отметить, что высокий коэффициент корреляции 0,986, что говорит о строгой функциональной зависимости между частотой и энергией, затрачиваемой на нагрев влаги в зерне. Исследуя полученную зависимость, мы наблюдаем, что в диапазоне от 0 до 120 МГц

эта кривая носит монотонно убывающий характер, а затем асимптотирует на уровне 0,6. Здесь мы получили очень важный вывод, что при дальнейшем увеличении частоты коэффициент потерь не изменится, следовательно, учитывая, что наше устройство работает в ГГц диапазоне коэффициент потерь будет постоянным, т.е. равным 0,6. Поэтому при изучении влияния влажности зерна на коэффициент потерь мы можем с уверенностью считать, что частота не влияет на точность измерений.

Следующий эксперимент был проведен при изменении коэффициента потерь от влажности, данные обработанных с помощью программы Excel, в результате проведения эксперимента получена кривая сушки зерна, приведена на рисунке 3.

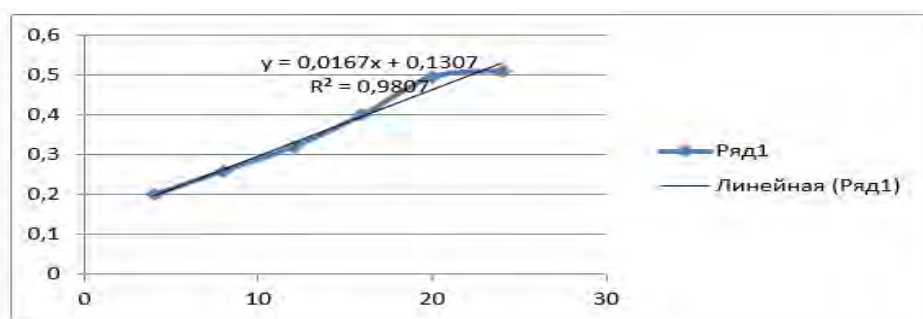


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента потерь от влажности зерна

Проводя опыт по изменению коэффициента потерь от влажности зерна в реальном диапазоне от 5 до 25%. Мы видим, что эта зависимость носит сугубо линейный характер с коэффициентом корреляции 0,98, что говорит о строгой функциональной зависимости. Эта функция аппроксимируется линейным уравнением:

$$k \cdot \operatorname{tg} \sigma = 0,016W + 0,13 \quad (8)$$

отсюда мы получили, что количество тепла, получаемое влагой внутри зерновки возрастает с увеличением его влажности. Это говорит о высоком коэффициенте полезного действия электромагнитного принципа нагрева влажного зерна – в первую очередь нагреваемая влага в зерне, а не само зерно. Если рассмотреть другие любые принципы сушки, то большая часть тратится на нагрев посторонних тел включения самого зерна, что из биологических соображений совершенно не желательно.

В конце концов, подставляя в формулу Максвелла аппроксимируя коэффициент потерь через влажность, мы получим инженерную интерпретацию уравнения Максвелла.

В результате полученных зависимостей, количество теплоты, выделяемой из 1 м³ материала (Q), можно определить по формуле 9:

$$Q = 0,555 \cdot E^2 \cdot \omega \cdot (0,13 + 0,016W), \quad (9)$$

где E^2 – электромагнитная напряженность; ω – задаваемая частота генератора СВЧ; W – влажность зерна.

Отсюда следует третий вывод, что нами впервые получена прикладная в инженерном смысле, формула Максвелла, пригодная для расчета тепла, полученного влагой зерна в зависимости от 3 параметров:

- электромагнитная напряженность;
- частота излучения;
- собственная влажность зерна.

Представленная работа направлена на исследование распространения электромагнитного поля микроволнового диапазона от нескольких источников в обрабатываемом материале.

Альтернативой существующим технологиям предлагается использование высокочастотного электромагнитного поля, которое не только не имеет выбросов в атмосферу, но воздействует непосредственно на внутреннюю часть нагреваемого тепла (зерна), нежели на поверхность как в традиционных способах, причем к.п.д. возрастет с

увеличением влажности зерна. С этой целью нами предлагается СВЧ транзисторно – тиристорный генератор, который в отличие от магнетронного генератора, имеет более высокий к.п.д., т.к. не расходуется большая часть энергии на нагрев нити накала магнетрона (рисунок 4).

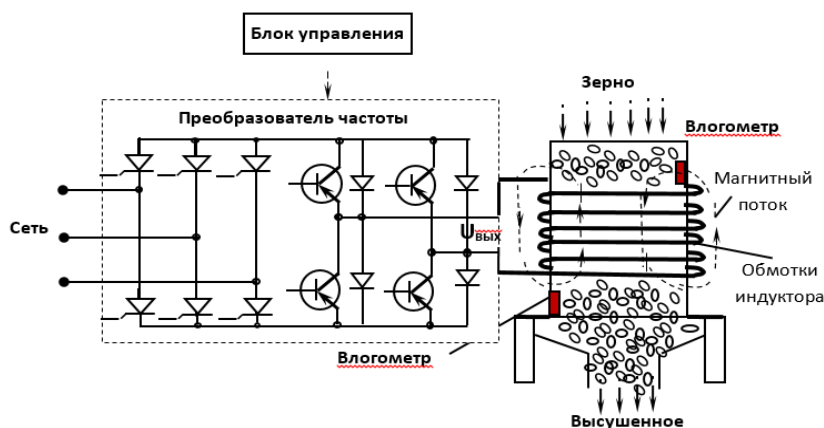


Рисунок 4 – Схема СВЧ установки со шнеком геликоидальной поверхности

Зерно подается в цилиндрический контур из диэлектрика по геликоидальной винтовой поверхности, на которой угол подъема винта всегда соответствует текущему значению угла трения. Например, в первой фазе, поступившее влажное зерно как бы «залипает» к винтовой поверхности, затем по мере высыхания коэффициент трения уменьшается и зерно медленно перемещается на следующий уровень. Таким образом, в нижней части этого рабочего органа будет сходиться зерно, требуемой влажности.

Последние годы возникает потребность в высокоэффективных и энергосберегающих системах преобразования электроэнергии промышленной частоты для индукционных нагревателей, обладающих более высокими технико-экономическими показателями, а также меньшими материальными и финансовыми затратами на изготовление [1, 2, 3].

Выпрямитель и инвертор представляет преобразователь частоты. Применение трансформатора в первичной цепи резко увеличивает стоимость всего индукционного нагревателя и приводит к возрастанию массогабаритных размеров.

Известны преобразователи частоты [4, 5], где для понижения напряжений применяют трансформаторы. Задача состоит в том, чтобы создать, такой преобразователь частоты, где не использовался бы понижающий трансформатор.

Для более полного анализа было выполнено моделирование в среде MatLabR12 v.6.0, этот пакет предназначен для решения математических вычислений любой сложности, для профессионального анализа и моделирования процессов в электрических и электронных цепях, статической обработки результатов измерений и экспериментов, а также построения графиков. При моделировании использовали библиотеку SimulinkLibrary Browzers, а также Sim Power Systems [6].

На рисунке 5, показана схема моделирования однофазного транзисторно – тиристорного инвертора при чисто активной нагрузке.

Результаты моделирования показаны на рисунке 6 при чистой активной нагрузке. Как видно из рисунка при чистой активной нагрузке напряжение и ток в нагрузке имеет четкое выражение. Принцип работы транзисторно–тиристорного преобразователя частоты подтверждается.

На рисунке 6 показаны результаты моделирования при активно–индуктивной нагрузке. Как видно из рисунка напряжение и ток в нагрузке не имеет четкое выражение, и появляются выбросы напряжения, которые очень плохо будут влиять на работу транзисторно–тиристорного преобразователя частоты.

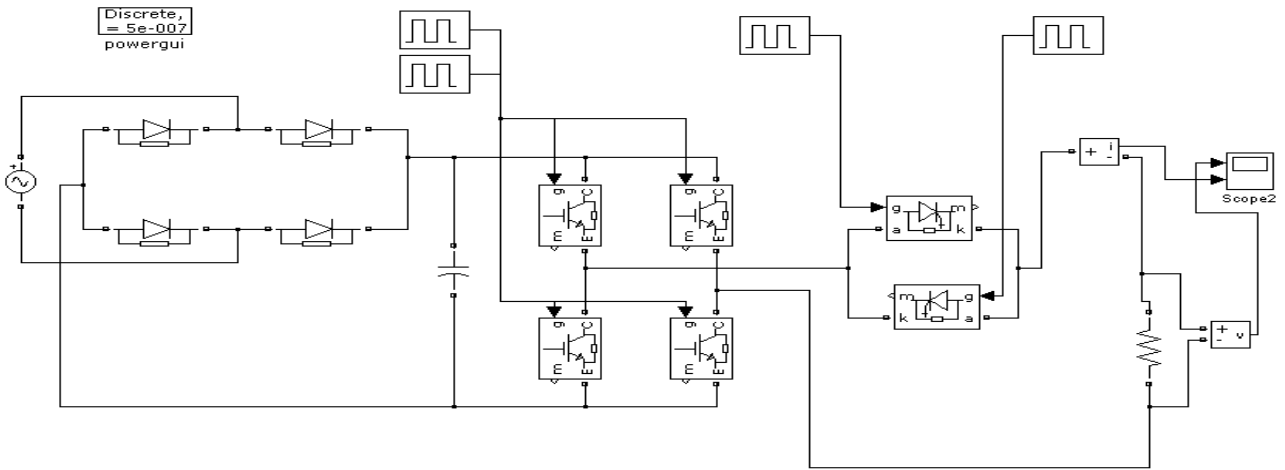


Рисунок 5 – Схема моделирования транзисторно–тиристорного преобразователя частоты

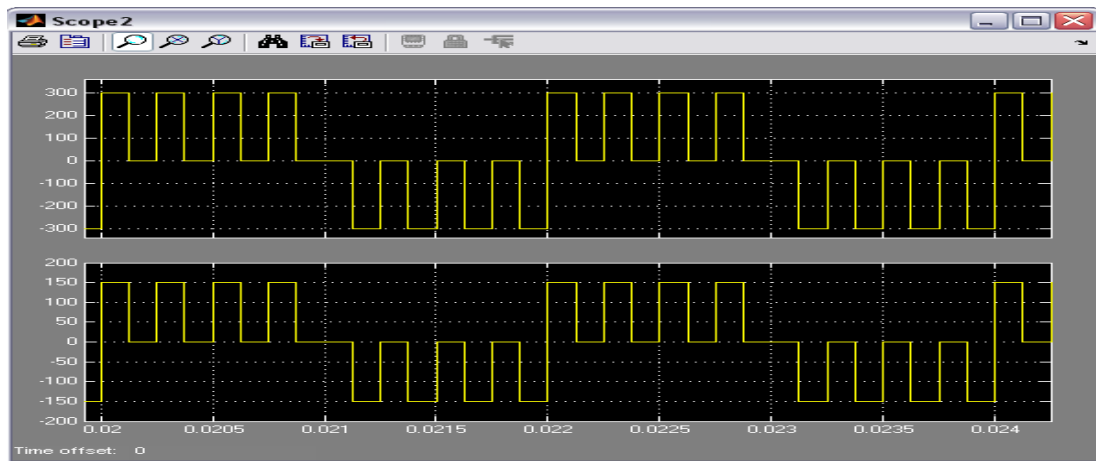


Рисунок 6 – Результаты моделирования транзисторно–тиристорного преобразователя частоты при чистой активной нагрузке

На рисунках 7-9 представлен гармонический анализ напряжения на нагрузке преобразователя частоты при активно–индуктивной нагрузке, который показывает, что основная гармоника 500 Гц ярко выражена, а другие гармоники имеют достаточные значения.

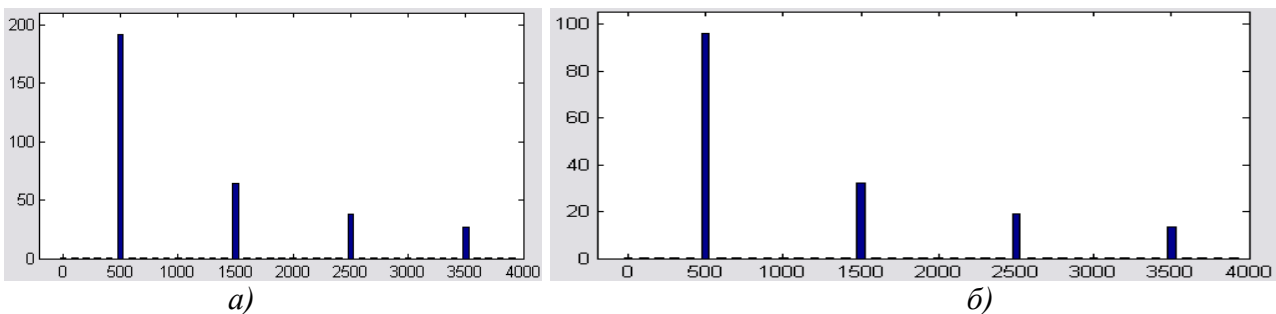


Рисунок 7 – Гармонический анализ напряжения (а) и тока (б) при активной нагрузке

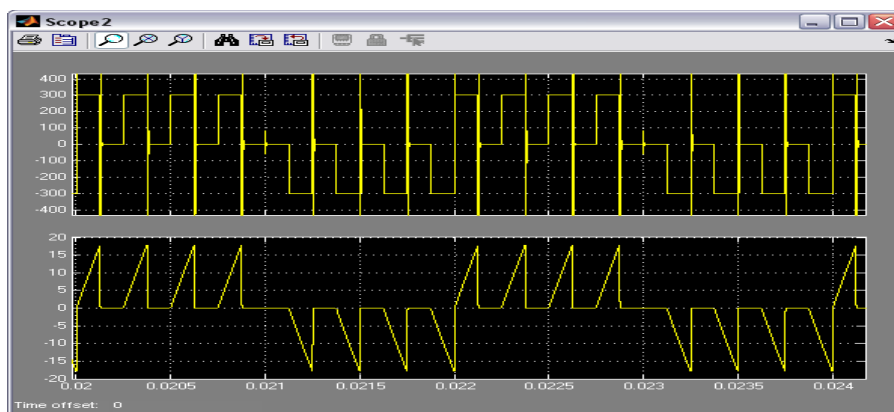


Рисунок 8 – Результаты моделирования преобразователя частоты при активно-индуктивной нагрузке

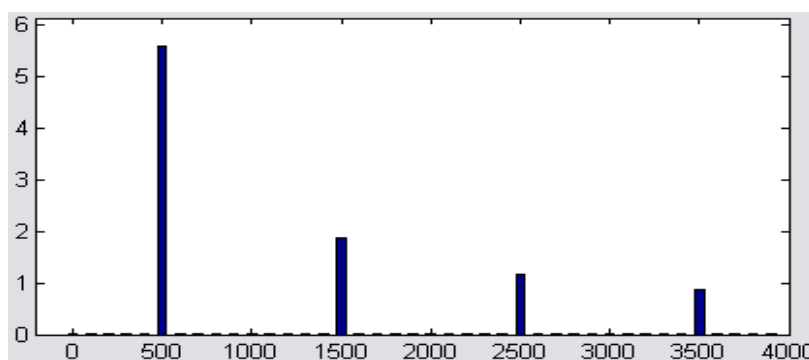


Рисунок 9 – Гармонический анализ тока при активно-индуктивной нагрузке

Особенностью индукционного ввода энергии является возможность регулирования пространственного расположения зоны протекания вихревых токов. Во-первых, вихревые токи протекают в пределах площади, охватываемой индуктором. Нагревается только та часть тела, которая находится в магнитной связи с индуктором независимо от общих размеров тела. Во-вторых, глубина зоны циркуляции вихревых токов и, следовательно, зоны выделения энергии зависит, кроме других факторов, от частоты тока индуктора (увеличивается при низких частотах и уменьшается с повышением частоты). Для каждого процесса (поверхностная закалка, сквозной нагрев) существует оптимальный диапазон частот, обеспечивающий наилучшие технологические и экономические показатели. Для индукционного нагрева используют частоты от 50Гц до 5МГц.

Преимущества индукционного нагрева представлены ниже.

1. Передача электрической энергии непосредственно в нагреваемое тело позволяет осуществить прямой нагрев проводниковых материалов. При этом повышается скорость нагрева по сравнению с установками косвенного действия, в которых изделие нагревается только с поверхности.

2. Передача электрической энергии непосредственно в нагреваемое тело не требует контактных устройств. Это удобно в условиях автоматизированного поточного производства, при использовании вакуумных и защитных средств.

3. Благодаря явлению поверхностного эффекта, максимальная мощность выделяется в поверхностном слое нагреваемого изделия. Поэтому индукционный нагрев при закалке обеспечивает быстрый нагрев поверхностного слоя изделия. Это позволяет получить высокую твердость поверхности детали при относительно вязкой середине. Процесс поверхностной индукционной закалки быстрее и экономичнее других методов поверхностного упрочнения изделия.

4. Индукционный нагрев в большинстве случаев позволяет повысить производительность и улучшить условия труда. Индукционные плавильные печи, индукционную печь или устройство можно рассматривать как своего рода трансформатор, в

котором первичная обмотка (индуктор) подключена к источнику переменного тока, а вторичной обмоткой служит само нагреваемое тело.

Литература

1. Будников Д.А. Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Зеленоград: ФГОУ ВПО АЧГАА. 2007. 16 с.
2. Курушин А.А., Пластиков А.Н. Проектирование СВЧ устройств в среде CST Microwave Studio. М.: Изд-во МЭИ. 2010. 160 с.
3. Лыков А.В., Михайлов Ю.А. Теория переноса энергии и вещества. Минск: Изд-во Акад. наук БССР. 1954. 357 с.
4. Лыков А.В. Тепло- и массообмен в процессах сушки. М.: Госэнергоиздат. 1956. 452 с.
5. Трисвятский Л.А. Хранение зерна. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Колос. 1975. 400 с.
6. Barroso J.J. and De Paula A.L. Retrieval of permittivity and permeability of homogeneous materials from scattering parameters // Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 24, No. 11–12, 1563–1574, 2010.
7. Cheng H.P., Dai J., Nemes S., Vijaya Raghavan G.S. Comparison of conventional extraction under reflux conditions and microwave assisted extraction of oil from popcorn // Journal of Microwave Power & Electromagnetic Energy, Vol. 41, No. 1, 36–44, 2007.
8. Metaxas A.C. and Meredith R.J. Industrial Microwave Heating. Peter Peregrinus LTD., IEE, London, UK, 1983. 378 p.

РОЛЬ СИММЕТРИЙ В ФИЗИКЕ ЭВОЛЮЦИИ

Сомсиков В.М.

vmsoms@rambler.ru

Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, г. Алматы, Республика Казахстан

Рассмотрены особенности использования понятий симметрии для развития физики эволюции. Показано: как на основе понятий симметрий выводится уравнение движения структурного тела; как учет роли структурности тел в их динамике приводит к детерминированному объяснению необратимости и спонтанного нарушения симметрии; почему уравнение движения тел следует из симметрий не только пространства, но и самих тел. Предложено обоснование возможности использования полного описания для процессов эволюции.

Ключевые слова: симметрия, эволюция, механика, энтропия, диссипация.

Введение. Основная цель науки - определение будущего на основе настоящего, объяснение и прогноз явлений объективной реальности в рамках законов природы, то есть, описание эволюционной картины мира [1]. Но на пути к этой цели лежит проблема объяснения механизма нарушения симметрий. Без ее решения невозможно построение **физики эволюции, в задачи которой входит описание процессов возникновения, развития и распада систем в рамках фундаментальных законов физики.**

Как известно, сегодня физика строится на основе понятий симметрии [1]. Характер симметрии пространства-времени определяют инварианты динамики. Так, из условий однородности, изотропности пространства и времени следуют законы сохранения импульса, момента импульса и энергии соответственно.

Обнаружение новых симметрий в микромире позволило объединить адроны в мультиплеты. Благодаря классификации адронов открыты новые частицы, без которых мультиплеты были бы неполными. То есть, согласно утверждению Вигнера, **законы физики определяют поведение мира, а симметрии определяют эти законы [1].**

Не менее важным, чем понятие симметрий, является понятие их нарушения. Согласно существующим представлениям, нарушение симметрии является спонтанным. В качестве примера **спонтанного нарушения симметрии (СНС)** в классической механике приводят задачу о соскальзывании шара с вершины осесимметричной горки. С СНС связывают появление массы. Так, кварки, лептоны и промежуточные бозоны приобретают массу, благодаря нарушению электрослабой симметрии. Здесь объяснение СНС опирается на идею о хиггсовском поле. **Таким образом, нарушение симметрий обуславливает появление новых форм материи, новых сил. То есть, нарушение симметрии отвечает за эволюцию.**

Но если нарушение симметрии является спонтанным по своей природе, а не только по форме и методу описания, то построение эволюционной картины мира в рамках законов физики невозможно. А это означает, что если в рамках законов физики не существует объяснения механизма нарушения симметрии, то практически исчезает возможность достижение основной цели науки. Этим определяется важность поиск детерминированного механизма нарушения симметрии. Проблема поиска такого механизма упирается в проблему обратимости динамических процессов в классической механике и необратимости природных процессов эволюции [5]. Опираясь на законы статистики, Больцман предложил решение этой проблемы в рамках созданной им молекулярно-кинетической теории [11]. В результате развития его идей был найден общепринятый на сегодня механизм необратимости [12]. В его основе лежит факт о положительности экспоненциальных показателей Ляпунова гамильтоновых систем и гипотеза о существовании сколь угодно малых внешних флуктуаций. Назовем этот механизм статистическим. Он является достаточным, чтобы система «забыла» свое начальное состояние, благодаря использованию в его основах гипотезы о флуктуациях.

Трудности описания необратимости в рамках классической механики, к которым относятся все диссипативные процессы, привели к развитию теории флуктуации. Ее

использование позволило получить уравнение движения системы с учетом сил трения, то есть с учетом необратимости. Оно имеет вид [13]:

$$\dot{P}_i = -\partial U / \partial Q_i - \partial f / \partial \dot{Q}_i \quad (1)$$

Здесь Q_i – координаты СТ, \dot{Q}_i – скорости, $i=1,2,3\dots 2s$ – количество степеней свободы, $U(Q_i)$ – потенциальная энергия СТ, γ_{ik} – кинетические коэффициенты, для которых справедливо условие $\gamma_{ik} = \gamma_{ki}$, $f = 1/2 \sum_{i,k} \gamma_{ik} \dot{Q}_i \dot{Q}_k$ – диссипативная функция.

Первый член в правой части уравнения (1), как и в уравнении движения Ньютона, определяет потенциальную силу, изменяющую импульс тела. Второй член связан с диссипативными процессами. Благодаря этому члены, уравнение (5) учитывает работу внешних сил, которая идет на изменение внутреннего состояния тела.

Уравнение (5) справедливо вблизи равновесия или стационарности. Его справедливость определяется рамками вероятностных законов. Эти законы вносят непредсказуемость в ход эволюции, что нарушает принцип познаваемости мира. Поэтому необходимо уравнение, которое не имеет этих ограничений, и в тоже время описывает **детерминированный механизм необратимости** (ДМН) [14, 15]. Относительно недавно на основе понятий симметрии такое уравнение было получено [5]. Оно открыло возможность описания процессов эволюции материи и построения физики эволюции [6].

В основу физики эволюции положен метод *полного описания* динамики систем. Его суть состоит в определении динамики системы на основе описания динамики ее элементов [13]. Задачей *полного описания*, используемого в физике эволюции, является выявление закономерностей поведения динамических систем. Метод *полного описания* опирается на механику **структурированных тел** (СТ). Она строится на основе уравнения движения тела, в котором модель тела задается в виде системы потенциально взаимодействующих МТ. Как оказалось, это уравнение движения описывает необратимые процессы и потому приводит к возможности детерминированного описания эволюции. Это открыло возможность единого построения термодинамики, стат. физики на основе законов классической механики [6].

В данной работе рассмотрены особенности использования понятий симметрии для построения физики эволюции. Показано: как на основе понятий симметрий выводится уравнение движения структурированного тела; как учет роли структурности тел в их динамике приводит к детерминированному объяснению необратимости и спонтанного нарушения симметрии; почему уравнение движения тел следует из симметрий не только пространства, но и самих тел. Выполнен анализ метода *полного описания* для изучения процессов нарушения симметрии и эволюции объектов природы.

Симметрия, энергия. Будем исходить из условия, что динамика тел в пространстве, так или иначе, определяется пространственно-временными симметриями [1, 7]. В соответствии с теоремой Нетер, однородность времени определяет закон сохранения энергии. Энергия – это инвариантная вдоль траектории тела скалярная функция переменных координат, скоростей и времени, определяющая динамику системы в пространстве. Для нее справедливо условие аддитивности. То есть, если тело представляет собой систему потенциально взаимодействующих элементов, то его энергия является суммой энергий элементов. Назовем эту сумму *полной энергией*.

Характер движения тела определяется работой внешних сил по ее перемещению. В общем случае полная работа внешних сил идет как на ее ускорение, так и на изменение внутренней энергии, определяемой взаимодействием элементов системы и их относительными движениями. Ниже то, что энергия системы представляет собой сумму *внутренней энергии* ее элементов и *энергии движения центра масс системы* будет показано строго математически. Отсюда **полная энергия является инвариантом движения и характеризует работу внешних сил по перемещению тела.**

В классической механике, изучающей динамику тел, в качестве инварианта берется *энергия движения* тела, определяемая его массой, координатами и скоростями движения центра масс. Во всех разделах, изучающих внутренние свойства тел, таких как термодинамика, статистическая физика, в качестве инварианта используется *внутренняя энергия*. В рамках

молекулярно-кинетической теории она определяется энергией движения элементов тела относительно его центра масс. В системе координат центра масс суммарный импульс элементов равен нулю. Но, как ясно из уже сказанного, такое разделение областей исследования физики на классическую механику и физику внутреннего состояния самого тела неприемлемо для описания процессов эволюции. Например, оно не справедливо при изучении галактик Вселенной. Их эволюция определяется, как относительным движением в самосогласованных гравитационных полях, так и самими структурами галактик [8]. Это подтверждает актуальность создания метода *полного описания* для изучения физики эволюции, в которых динамика тел изучается совместно с изучением их внутренних состояний. Ниже покажем, как понятия симметрии используются для построения метода *полного описания*. Но вначале покажем, как из энергии следует уравнение движения.

Из понятий симметрий следует, что энергия МТ имеет вид [5, 9]:

$$E = m\vec{v}^2 / 2 + U(\vec{r}) = const \quad (2)$$

Здесь m – масса МТ, \vec{v} – вектор скорости МТ, $U(\vec{r})$ – потенциальная энергия МТ во внешнем неоднородном поле сил, зависящая от координат МТ.

Для МТ, не имеющей структуры, *полная энергия* совпадает с ее *энергией движения*. Поэтому динамику МТ в пространстве однозначно определяет *энергия движения*.

Путем дифференцирования (2) по времени, получаем уравнение движения Ньютона:

$$m\dot{\vec{v}} = -F \quad (3)$$

Здесь $F = \partial U / \partial r$.

Согласно уравнению (3), неоднородность пространства приводит к нарушению инвариантности импульса тела в пространстве. Для бесструктурной МТ сила F однозначно определяет ее траекторию. Движение МТ обратимо.

Модель тела в виде МТ является ограниченной. Так, МТ не имеет ни размеров, ни структуры. Для изучения динамики систем МТ используются формализмы классической механики Лагранжа и Гамильтона. Они справедливы при условии голономности связей и потенциальности коллективных сил [9, 10]. Уравнения движения систем, вытекающие из формализмов классической механики, как и уравнение Ньютона для МТ, обратимы. Это исключает возможность изучения эволюционных процессов в рамках формализмов классической механики.

Принципы построения механики структурированных тел. Как правило, поиски ДМН осуществлялись, опираясь на канонические формализмы классической механики [5]. Но приведенные выше аргументы говорят о том, что целесообразно было вначале выяснить, какие ограничения канонических формализмов классической механики исключают ДМН. Оказалось, что возможность описания необратимых процессов исключают гипотезы о голономности связей и потенциальности коллективных сил [5]. Следовательно, нужно искать иные пути объяснения ДМН. В результате их поиска было построено уравнение движения СТ непосредственно из условия инвариантности *полной энергии*, избегая использования гипотез о голономности связей или потенциальности всех коллективных сил. Это построение опиралось на несколько идей, без которых оно было бы невозможно [5].

К **первой идее** относится утверждение, о том, что физические законы, определяющие поведение тел и физические законы для окружающей среды, эквивалентны. Назовем это **принципом эквивалентности** законов физики. Согласно этому принципу, физические законы, определяющие эффекты взаимодействия тел и внешней среды, эквивалентны. То есть, изучаемое тело и среду можно рассматривать, как две взаимодействующие системы. В качестве очевидного примера использования **принципа эквивалентности** можно привести третий закон Ньютона. Для нас важно, что согласно **принципу эквивалентности**, прямые и обратные потоки вещества и энергии для тел и окружающей их среды определяются одинаковым образом.

Ко **второй идее**, связанной с первой, отнесем утверждение, что динамика систем определяется **принципом дуализма симметрии** (ПДС). Ведь если окружающая среда для тела, назовем его первым, может также рассматриваться, как тело, назовем его вторым, то динамика второго тела также определяется симметриями первого тела. То есть, **динамика тел определяется как симметриями пространства, так и симметриями самого тела**. С ПДС мы

сталкиваемся при анализе работы внешних сил. Из практики известно, что работа внешних сил идет как на ускорение тела, так и на изменение его внутренней энергии в результате трения. Сила трения связана с симметриями тел. Поэтому симметрии самих тел должны характеризовать их движения так же, как и симметрия пространства.

К **третьей идеи**, которая связана со второй, относится то, что **динамика систем, их эволюция, определяются билинейной взаимосвязью пространственных симметрий и симметрий систем**. На примере движения тела с трением по наклонной поверхности видно, что работа сил тяжести, расходуется как на его движение, так и на увеличение его внутренней энергии, определяемой симметриями самого тела. Это означает, что в общем случае динамика тел и их внутреннее состояние взаимосвязаны. То есть, сохраняется не *энергия движения*, как в случае движения бесструктурного тела, а *полная энергия*, которая включает в себя еще и *внутреннюю энергию*.

Симметрия тела может быть определена функцией распределения его элементов. А она характеризуется его внутренней энергией. То есть, **однородность времени, связанная с сохранением энергии движения тела, нарушается в результате преобразования энергии движения во внутреннюю энергию**. Отсюда видно, что для описания процессов эволюции необходимо иметь такое уравнение движения системы, которое учитывает взаимосвязь симметрий пространства и ее симметрий. А поскольку характер симметрии определяет энергию, то существует возможность построения такого уравнения из условия сохранения *полной энергии*, являющейся суммой *энергии движения* и *внутренней энергии*. Обоснуем это утверждение.

Рассмотрим систему потенциально взаимодействующих МТ. Так как энергия системы равна сумме энергий МТ, то в лабораторной системе координат *полную энергию* можно записать так:

$$E_N = T_N + U_N + U_N^{env} = const. \quad (4)$$

Здесь $T_N = \sum_{i=1}^N mv_i^2/2$ – кинетическая энергия системы; $i, j = 1, 2, 3, \dots, N$; v_i скорость i -й МТ в лабораторной системе координат; $U_N(r_{ij}) = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N U_{ij}(r_{ij})$ – потенциальная энергия взаимодействий МТ; $U_N^{env} = \sum_{i=1}^N U_i^{env}$ – потенциальная энергия системы в поле внешних сил; m – масса МТ, принятая равной 1.

Поскольку работа внешних сил тратится как на движение тела, так и на изменение его внутренней энергии, то в общем случае **в лабораторной системе координат нельзя однозначно определить движение СТ координатами и скоростями ЦМ**. То есть, движение СТ задается его *энергией движения* неоднозначно. Поэтому для описания динамики СТ необходима система координат, в которой скорости ее элементов делятся на составляющие скорости центра масс и на скорости движения относительно центра масс. Составляющая скорости частицы вместе с центром масс определяет ее вклад в энергию движения тела, а движение относительно центра масс дает вклад во внутреннюю энергию. Отсюда полная энергия СТ должна распадаться на энергию движения ЦМ и внутреннюю энергию. Оказывается, что эквивалентность *полной энергии* сумме *энергии движения* и *внутренней энергии* следует из теоремы Пифагора. Так, согласно модифицированной теореме Пифагора имеем [5]:

$$N \sum_{i=1}^N v_i^2 = NM_N V_N^2 + \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N v_{ij}^2 \quad (5)$$

Вектор v_i определяет скорость МТ в лабораторной системе координат; i, j меняются от 1 до N , $i \neq j$; $v_{ij} = v_i - v_j$; $V_N = (\sum_{i=1}^N v_i) / N$ скорость центра масс системы; $M_N = Nm$.

Отсюда, переходя к новым переменным $V_N = (\sum_{i=1}^N v_i) / N$, $\tilde{v}_i = v_i - v_j$, полная энергия системы преобразуется в сумму энергии движения и внутренней энергии [5]:

$$E_N = E_N^{tr} + E_N^{ins} = const \quad (6)$$

Здесь $E_N^{tr} = T_N^{tr} + U_N^{env}$ – энергия движения системы; T_N^{tr} – кинетическая составляющая энергии движения системы, U_N^{env} – потенциальная составляющая энергии движения,

обусловленная неоднородностью пространства; $E_N^{ins} = T_N^{ins} + U_N^{ins}$ – внутренняя энергия, где T_N^{ins} – кинетическая составляющая внутренней энергии, U_N^{ins} – потенциальная составляющая внутренней энергии, обусловленная симметриями системы. Уравнение (6) – **дуальное представление энергии** тела виде суммы энергии его движения и внутренней энергии. Переменные, определяющие движение МТ назовем микропеременными, а переменные, определяющие движение тела-макропеременными.

Потенциальная составляющая внутренней энергии, обусловленная неоднородностью пространства, в общем случае зависит как от микро, так и от макропеременных. То есть, зацепление микро- и макропеременных, определяющее взаимосвязь внутренних симметрий и симметрий пространства, осуществляется через неоднородность внешних сил. Поэтому, ни энергия движение тела, ни внутренняя энергия по отдельности не определяют однозначно движение тел, обладающих структурой.

Уравнение движения СТ. Уравнение движения СТ следует из дуального представления энергии (5) путем ее дифференцирования по времени при условии ее инвариантности СТ вдоль траектории тела. После стандартных математических операций, имеем [5]:

$$M_N \dot{V}_N = -F_N^0 - \mu V_N, \quad (7)$$

$F_N^0 = \sum_{i=1}^N F_i^0$; F_i^0 – внешние силы, действующие на i -ую МТ; $\mu = \dot{E}_N^{int} / (V_N^{max})^2$;

$\dot{E}_N^{int} = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N v_{ij} (m \dot{v}_{ij} + F_{ij}^0 + N F_{ij}^0)$; $V_N^{max} = -\dot{E}_N^{int} / F_N^0$; $F_{ij}^0 = F_i^0 - F_j^0$; F_{ij} – силы между i и j МТ.

Уравнение (7) не имеет ограничений, включая те, которые существуют для уравнения (3) или для уравнений движения систем, вытекающих из формализма Гамильтона [5, 9, 13]. Его левая часть определяет силу инерции системы. Первый член в правой части, как и в уравнении движения Ньютона, определяет результирующую силу, равную сумме сил, действующих на все МТ, обуславливающую ускорение СТ.

Таким образом, в правой части уравнения (7), в отличие от уравнения движения Ньютона для МТ, появился второй член. Он билинеен и зависит от микро – и макропеременных. То есть, возникает «зацепление» микро- и макропеременных. Этот член был назван «**эволюционной нелинейностью**» [16]. Он описывает взаимосвязь симметрий системы и пространства и обусловлен взаимосвязью динамики тел и внутренних движений его элементов [16]. *Эволюционная нелинейность* отлична от нуля только тогда, когда характерные масштабы градиентов внешних сил меньше или совпадают с характерными масштабами СТ. Для равновесной СТ *эволюционная нелинейность* обуславливает необратимость его движения из-за перехода энергии движения СТ во внутреннюю энергию, что соответствует **третьей** идеи.

При равенстве сил трения активной силе, скорость тела равна: $V_N^{max} = -\dot{E}_N^{int} / F_N^0$, а ускорение СТ равно нулю. Этот случай лег в основу уравнения Аристотеля, согласно которому скорость тела пропорциональна силе [17]. Этот вывод связан с тем, что Аристотель не рассматривал этап ускорения тела. В случае однородности поля сил внутренняя энергия постоянна, а уравнение (7) переходит в уравнение (1). Преобразование внутренней энергии равновесной СТ запрещен принципом Галилея, поскольку сумма внутренних сил системы равны нулю. Таким образом, уравнение (7) снимает противоречие между законами движения Аристотеля и Ньютона.

Уравнение (7) выводится без гипотез о голономности связей и потенциальности коллективных сил. Поэтому оно применимо для описания процессов эволюции, для которых характерна взаимосвязь движения системы с изменением ее внутреннего состояния. **Диссипация энергии движения в результате ее перехода во внутреннюю энергию обусловлена взаимосвязью групп переменных, определяемых внутренними симметриями тел и пространственными симметриями.**

Учет роли структуры тел в их динамике обусловлен учетом преобразования энергии движения СТ во внутреннюю энергию. Закон движения СТ можно сформулировать так: **работа внешних сил идет на ускорение СТ, пропорциональное их сумме, и на изменение внутренней энергии, пропорциональное градиентам внешних сил.** Принцип Галилея для

систем проявляется в том, что она сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейное движение, если сумма всех действующих на нее сил, включая диссипативные, равна нулю.

Эволюционная нелинейность позволила ввести понятие *Д-энтропии* [18]. Д-энтропия определяется как отношение приращения внутренней энергии системы к величине внутренней энергии. Приращение внутренней энергии может быть обусловлено различными факторами - увеличением объема системы, изменением ее температуры, и трением. Это делает Д-энтропию применимой для описания процессов в **открытых неравновесных динамических систем** (ОНДС) [5].

В качестве упрощенной модели ОНДС удобно использовать **статистический ансамбль** (СА), представляющий собой совокупность перемещающихся относительно друг друга равновесных СТ [13, 19]. Для равновесных систем при определенных ограничениях Д-энтропия переходит в энтропию Клаузиуса.

Д-энтропия отличается от существующих понятий энтропии. Во-первых, Д-энтропия определяется приращением всей внутренней энергии. Во-вторых, она определяется через динамические параметры системы. В - третьих, она применима как для больших, так и для малых систем. Причем для малых систем она может быть отрицательной. В- четвертых, Д-энтропия является характеристикой эволюции. В – пятых, она учитывает роль динамики и взаимодействия тел в изменении их внутренних состояний.

Приращение Д-энтропии в результате работы внешних сил для СА больше суммы приращений Д-энтропий этих подсистем, поскольку внутренняя энергия ансамбля складывается из внутренних энергий подсистем и энергии их относительных движений.

Д-энтропия характеризует ОНДС в процессе ее эволюции. Поэтому Д-энтропия незаменима при описании объектов Вселенной, внутренние свойства которых и состояния неразрывно связаны с их относительными движениями.

О нарушении симметрии. Обоснование механизма необратимости для СА, сводится к доказательству того, что приток внутренней энергий СА, больше, чем ее отток. Согласно уравнению (7), формирование прямых и обратных потоков энергии между СТ, входящих в СА, связан со взаимным преобразованием энергий относительных движений СТ и их внутренних энергий. Анализ потоков энергии опирается на *принцип эквивалентности, согласно которому* природа потоков энергии при взаимодействии двух типов симметрий для тела и среды одинакова. То есть, если увеличение внутренней энергии тела обусловлено градиентами внешних сил, обусловленными неоднородностями пространства, то и поток энергии от тела в пространство определяется неоднородностями внутренней структуры тела и действующих с его стороны сил.

Пусть ΔE^{tr} энергия относительного движения СТ, преобразуемая в их внутреннюю энергию. Для равновесных СТ внутренняя энергия является энергией тепла. Согласно уравнению (2), ΔE^{tr} определяется билинейным членом второго порядка малости. То есть, $\Delta E^{tr} \sim \chi^2$, где χ малый параметр возмущения СТ, например, возмущение температуры, то есть, $\Delta E^{tr} / E^{int} \ll 1$. В этом случае нарушением равновесий СТ можно пренебречь, а преобразование энергии тепла СТ в энергию их движения невозможно.

Если величина ΔE^{tr} велика, то СТ могут стать неравновесными. Тогда они могут быть представлены ансамблем равновесных подсистем. В этом случае получим: $\Delta E^{tr} = \Delta E_{ins}^{tr} + \Delta E^h$, где ΔE_{ins}^{tr} - энергия относительного движения подсистем в СТ, а ΔE^h приращение тепла подсистем. То есть, $\Delta E_{ins}^{tr} < \Delta E^{tr}$. В этом случае энергия ΔE_{ins}^{tr} создает неоднородное поле сил для внешней среды, и потому только эта энергия относительных движений может вернуться в энергии движения СТ. Обозначим возвращаемую энергию ΔE_{ret}^{tr} . Напомним, что физические законы для СТ и внешней для них среды одинаковы. Это означает симметрию принципов преобразования энергий системы и среды. То есть, неравновесные СТ при движении в однородном пространстве будут отдавать энергию ΔE_{ret}^{tr} среде, величина которой, согласно уравнению (9), определяется билинейным членом второго порядка малости. А поскольку

$\Delta E^{tr} \sim \chi^2$, то $\Delta E_{ret}^{tr} \sim \chi^4$. Таким образом, уменьшение энергии движения СТ определяется следующим уравнением [16, 20]:

$$\Delta E_{dec}^{tr} = \alpha \chi^2 - \beta \chi^4 \quad (8)$$

Здесь α, β константы, определяемые уравнением (7).

Выражение (8) отображает универсальный баланс прямого и обратного преобразования энергии тел. Величина $|\chi| < \chi_0$, где $\pm \chi_0$ - корни уравнения (8), для которых имеет место необратимость. В общем случае для $N \gg 1$, будем иметь: $\Delta E_{dec}^{tr} > 0$. Это соответствует второму закону термодинамики. При условии $\Delta E_{dec}^{tr} = 0$ имеет место стационарность СТ. Это точка бифуркации. Согласно уравнению (7), состояние систем при $\Delta E_{dec}^{tr} = 0$ определяется «полным описанием» детерминированным образом. А это означает, что динамика тел в точке бифуркации определяется динамикой их элементов. Таким образом, *полное описание* снимает особенность в точке бифуркации. Это служит весомым аргументом в пользу ДМН [16].

Согласно ДМН, необратимость обусловлена нарушением симметрии времен в результате преобразования энергии движения СТ в его внутреннюю энергию, возникающего при движении СТ в неоднородном поле сил.

То, что формула (8) совпадает с потенциальной функцией для фазового перехода при нарушении симметрии, определяется законами преобразования различных типов энергии тел, соответствующих различным типам симметрий. Отметим, что формула (8) лежит в основах существующих теорий фазовых переходов Ландау [21]. Выражение (8) можно назвать **потенциалом эволюционной нелинейности**.

Нарушение симметрии времени является необходимым условием для необратимости, но не достаточным. Так, при движении осциллятора через потенциальный барьер, то есть, для малых или для неравновесных систем, согласно уравнению движения (7), внутренняя энергия может, как нарастать, так и убывать [5]. Только в случае равновесности тела при достаточном количестве в нем элементов, выражение (8) не бывает отрицательным.

Уравнение (7) имеет тот же вид, что и диссипативное уравнение движения (1). Но то, что уравнение (7) получено на основе фундаментальных законов механики, позволяет его использовать для определения области применения статистических закономерностей. То есть, уравнение (1) должно следовать из уравнения (7).

Выводы. Динамика тел, их эволюция неразделимые процессы. Они определяются взаимосвязью двух типов симметрии: симметрией структуры тела и симметриями пространства. Эта взаимосвязь описывается полной энергией, представленной в виде суммы энергии движения тела и его внутренней энергии.

Инвариантом движения тел, обладающих структурой, является *полная энергия*, представляющая собой сумму энергий элементов тела. Так как каждый элемент тела участвует в движении относительно центра масс тела и вместе с телом, то *полная энергия* равна сумме энергии движения тела в пространстве и его внутренней энергии, равной сумме энергий движения элементов движения относительно центра масс. Поэтому динамика тел определяется как симметрией пространства, так и симметриями самих тел. То есть, она определяется принципом дуализма симметрии.

Динамика структурированных тел определяется уравнением движения, построенному на основе принципа дуализма симметрии. Оно позволяет представлять динамику тела в рамках *полного описания*, учитывающего диссипативные силы.

Детерминированный механизм необратимости следует из принципа эквивалентности, согласно которому законы динамики тел и окружающей его среды едины. Из этого принципа следует универсальность вида потенциала эволюционной нелинейности. Для достаточно больших систем этот потенциал соответствует необратимой динамике, когда поток энергии движения во внутреннюю энергию тела больше ее обратному потоку.

В соответствии с *полным описанием* нарушение симметрии обусловлено взаимосвязью симметрии тела и симметрии пространства. Характер этой взаимосвязи на самом деле детерминированный. Он определяется эволюционной нелинейностью, которая представляет

собой билинейный член, входящий в уравнение движения тела и зависящий от микро- и макропеременных.

Таким образом, для описания процессов эволюции построение уравнения движения тел необходимо выполнять с учетом его структуры на основе принципа дуализма симметрии и взаимосвязи симметрий пространства и симметрий тела.

Важнейший вывод, которые следует из этих результатов заключается в том, что наличие детерминированной детерминированного механизма необратимости подтверждает возможность построения физики эволюции, а значит, и возможность создания эволюционной картины мира.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан грантового проекта AP09259554.

Литература

1. Вигнер Е. Этюды о симметрии. М.: Мир. 1971. 320 с.
2. Geoffrey F.C., Gell-Mann M. & Rosenfeld A.H. Strongly Interacting Particles // Sci. American. 1964. 210. 74-93.
3. Ширков Д.В. 60 лет нарушенным симметриям в физике (От теории сверхтекучести Боголюбова до Стандартной модели) // УФН. 2009. Т. 179. № 6. С. 581-589.
4. Рубаков В.А. К открытию на большом адронном коллайдере частицы со свойствами бозона Хиггса // УФН. 2012. Т. 182. № 10. С. 1017-1025.
5. Somsikov V.M. Fundamentals of Physics of Evolution. Kaz. Nu Al-Farabi. Almaty. 2021.
6. Somsikov V.M., Abylay A.M and Kuvatova D.B. Physics of evolution and unity of physics. Journal of Physics: Confer. Series Journal of Phys.: Conference Series 2094 2094 (2021) 022029 (2021) 022029. IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/2094/2/022029 1.
7. Вигнер Е. События, законы природы и принципы инвариантности // УФН. 1965. Т. 85. № 4. С. 727-736.
8. Chandrasekhar S. Dynamical Friction III. A More Exact Theory of the Rate of Escape of Stars from Clusters // Astrophysical Journal. Vol. 98. 1943. P. 54-60.
9. Голдстейн Г. Классическая механика. М.: Наука. 1975. 415 с.
10. Ланцош К. Вариационные принципы механики / Пер с англ. В.Ф. Гантмахера. М.: Мир. 1965. 408 с.
11. Cohen E.G. Boltzmann and statistical mechanics, Dynamics: Models and Kinetic Methods for Non-equilibrium Many Body systems. NATO. Sci. Series E: Applied Sci. 1998. P. 371-223.
12. Заславский Г.М. Стохастичность динамических систем. М.: Наука. 1984. 272 с.
13. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Учеб пособие. В 10 т. Т. V. Статистическая физика. М.: Наука. 1976. 584 с.
14. Fröhlich J. Irreversibility and the Arrow of Time. arXiv:2202.04619v1 [quant-ph] 9 Feb 2022.
15. Mark S. Ashbaugh, Carmen C. Chicone, Richard H. Cushman. The Twisting Tennis Racket // Journal of Dynamics and Differential Equations. № 3, 1991, P. 67-85.
16. Somsikov V.M. The physics of evolution and breaking symmetry. 13th Chaotic Modeling and Simulation International Conference Springer. Pp. 911-923 DOI: 10.1007/978-3-030-70795-8_63 (https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-70795-8_63). 2020.
17. Аристотель. Сочинения. В 4 т. М.: Мысль. 1975. (Серия «Философское наследие»).
18. Somsikov V.M. D-Entropy in classical mechanics. CHAOS 2021 International Conference PROCEEDINGS Christos H. Skiadas Editor. 8-11 June 2021 Athens, Greece. P. 505-516.
19. Rumer Y.B., Rivkin M.Sh. Thermodynamics, Stat. physics and Kinematics. М.: Nauka. 1977. 532 p.
20. Somsikov V.M. Deterministic Irreversibility Mechanism and Basic Element of Matter. CHAOS 2019. Springer Proceedings in Complexity. 2020. P. 245-256.
21. Ландау. Л.Д. К теории фазовых переходов // ЖЭТФ. 1937. № 7. С. 627-633.

РЕШЕНИЕ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА-РИККАТИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

Урдалетова А.Б.¹, Забинякова О.Б.^{2,3}, Кыдыралиев С.К.²

anarkul.urdaletova@manas.edu.kg, kydraliev_s@auca.kg, perah.92@inbox.ru

¹Кыргызско-Турецкий Университет «Манас», г. Бишкек, Кыргызская Республика

²Американский Университет в Центральной Азии, г. Бишкек, Кыргызская Республика

³Научная станция Российской академии наук, г. Бишкек, Кыргызская Республика

В работе рассматривается возможность применения метода «Цепочка» для решения линейных обыкновенных дифференциальных второго порядка как с постоянными, так и с переменными коэффициентами. В качестве частного случая рассматривается применимость метода для решения уравнения Эйлера. Также в работе демонстрируется новый подход к решению некоторых семейств уравнений Риккати. Работа носит методический характер и может быть полезна студентам, обучающимся по физико-математическим, экономическим, инженерно-техническим и др. специальностям.

Ключевые слова: линейное обыкновенное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами, линейное обыкновенное дифференциальное уравнение с переменными коэффициентами, уравнение Эйлера, уравнение Эйлера-Риккати, разрешимость в квадратурах.

Введение. Выдающийся физик Лев Давидович Ландау говорил: «Для занятий теоретической физикой, в первую очередь, необходимо знание математики. При этом нужны не всякие теоремы существования, на которые так щедрь математики, а математическая техника, то есть умение решать конкретные математические задачи. Прежде всего нужно научиться правильно (и по возможности быстро) дифференцировать, интегрировать, решать обыкновенные дифференциальные уравнения в квадратурах; Я категорически считаю, что из математики, изучаемой физиками, должны быть полностью изгнаны всякие теоремы существования, слишком строгие доказательства и т.п.» [1].

Соглашаясь с этими словами, высказанными в адрес специалистов по теоретической физике, полагаем, что они с тем же успехом верны и в отношении специалистов других областей – инженерных, экономических, Поэтому, при обучении специалистов (особенно нематематических специальностей) теории обыкновенных дифференциальных уравнений, нужно обращать особое внимание на методы решения таких уравнений, позволяющие непосредственно, без использования общей теории, интегрировать их в квадратурах. К числу таких методов относится метод разложения линейных уравнений высоких порядков в последовательность линейных уравнений первого порядка – метод «Цепочка». Этот метод всегда можно применять для решения линейных уравнений с постоянными коэффициентами, а также для некоторых уравнений с переменными коэффициентами. В случае последних, возможность разложения в цепочку определяется интегрируемостью соответствующих уравнений Риккати. Поэтому большое значение имеет новый метод решения некоторых семейств уравнений Риккати, предлагаемый в данной работе.

1. Метод «Цепочка». Разложив обыкновенное линейное дифференциальное уравнение с постоянными коэффициентами в «цепочку» уравнений первого порядка, можно получить формулу, позволяющую описать общее решение этого уравнения. Напомним суть метода «Цепочка» [2–4].

Линейное дифференциальное уравнение второго порядка

$$y'' + py' + qy = f(x) \quad (1)$$

с постоянными коэффициентами p и q можно представить в виде цепочки линейных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$z' - kz = f(x), \quad (1.1)$$

$$y' - ty = z, \quad (1.2)$$

где коэффициенты k и m являются корнями системы алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} k + m = -p; \\ km = q. \end{cases}$$

В справедливости этого утверждения легко убедиться, подставив выражение для z из формулы (1.2) в уравнение (1.1) и приравняв коэффициенты при y' и y к соответствующим коэффициентам уравнения (1).

Процесс представления исходного уравнения второго порядка в виде двух уравнений первого порядка, в соответствии с [2–4], будем называть методом «Цепочка». Рассмотрим пример.

Пример 1. Найти общее решение уравнения:

$$y'' - 6y' + 9y = 72x^7 e^{3x}. \quad (2)$$

Решение.

Решим уравнение $y'' - 6y' + 9y = 72x^7 e^{3x}$, используя метод «Цепочка». Для этого, предварительно рассмотрим алгебраическую систему:

$$\begin{cases} k + m = 6; \\ km = 9. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k = 3; \\ m = 3. \end{cases}$$

Значит, исходное уравнение второго порядка $y'' - 6y' + 9y = 72x^7 e^{3x}$ можно заменить цепочкой дифференциальных уравнений первого порядка:

$$z' - 3z = 72x^7 e^{3x}, \quad (2.1)$$

$$y' - 3y = z. \quad (2.2)$$

Для выражения из левой части уравнения (2.1) применим следующее преобразование:

$z' - 3z = (ze^{-3x})' \cdot e^{3x}$. Тогда уравнение (2.1) примет вид:

$$(ze^{-3x})' \cdot e^{3x} = 72x^7 e^{3x} \quad \Big| : e^{3x} \Leftrightarrow (ze^{-3x})' = 72x^7 \Leftrightarrow ze^{-3x} = 9x^8 + C_1, \quad C_1 \in \mathbb{R}.$$

Откуда следует, что $z = e^{3x}(9x^8 + C_1)$, $C_1 \in \mathbb{R}$, что позволяет уточнить вид правой части уравнения (2.2):

$$y' - 3y = e^{3x}(9x^8 + C_1). \quad (2.2^*)$$

Выполняя аналогичное преобразование левой части полученного уравнения (2.2*), как это было сделано ранее для уравнения (2.1), получим:

$$(ye^{-3x})' e^{3x} = (9x^8 + C_1)e^{3x} \Rightarrow (ye^{-3x})' = 9x^8 + C_1 \Rightarrow ye^{-3x} = x^9 + C_1x + C_2, \quad C_1 \in \mathbb{R}, C_2 \in \mathbb{R}.$$

Таким образом, общее решение исходного уравнения (2) имеет вид:

$$y = e^{3x}(x^9 + C_1x + C_2),$$

где C_1 и C_2 – произвольные постоянные.

2. Дифференциальные уравнения второго порядка с переменными коэффициентами. Успех, достигнутый при решении уравнений с постоянными коэффициентами, позволяет предположить, что подобный результат может иметь место и для уравнений с переменными коэффициентами.

Рассмотрим уравнение:

$$y'' + b(x)y' + c(x)y = f(x), \quad (3)$$

где $b(x)$, $c(x)$, $f(x)$ – гладкие функции вместе со своими производными. Предположим, что уравнение (3) представимо в виде цепочки линейных дифференциальных уравнений первого порядка с переменными коэффициентами:

$$z' - p(x)z = f(x), \quad (3.1)$$

$$y' - q(x)y = z. \quad (3.2)$$

Подставляя выражение для z из соотношения (3.2) в равенство (3.1), получим уравнение:

$$y'' - [q(x) + p(x)]y' + [p(x)q(x) - q'(x)]y = f(x),$$

откуда следует система уравнений:

$$\begin{cases} q(x) + p(x) = -b(x); \\ p(x)q(x) - q'(x) = c(x). \end{cases} \quad (3.3)$$

Из первого уравнения системы (3.3) выразим функцию $p(x) = -q(x) - b(x)$, и результат подставим во второе уравнение этой системы. Получим уравнение $q'(x) + b(x)q(x) + q^2(x) = -c(x)$ – уравнение Риккати относительно неизвестной функции $q(x)$, которое, как доказал Жозеф Лиувиль в 1841 году, в общем виде не разрешимо в квадратурах [5]. Поэтому сосредоточим внимание на нескольких частных случаях.

3. Уравнение Эйлера. Использование цепочки уравнений первого порядка позволяет успешно интегрировать не только уравнения с постоянными коэффициентами, но и некоторые типы уравнений с переменными коэффициентами. К числу таких уравнений относятся уравнения Эйлера. Рассмотрим теорему.

Теорема. Уравнение Эйлера

$$y'' + \frac{p}{x}y' + \frac{q}{x^2}y = f(x), \quad (4)$$

где p и q – постоянные коэффициенты, можно представить в виде цепочки линейных дифференциальных уравнений первого порядка:

$$z' - \frac{k}{x}z = f(x), \quad (4.1)$$

$$y' - \frac{m}{x}y = z, \quad (4.2)$$

где коэффициенты k и m – корни системы алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} k + m = -p; \\ (k + 1)m = q. \end{cases} \quad (4.3)$$

Доказательство.

Из равенства (4.2) найдем выражение для z' : $y' - \frac{m}{x}y = z \Rightarrow z' = y'' - \frac{m}{x}y' + \frac{m}{x^2}y$.

Подставим полученное выражение в уравнение (4.1) и результат преобразуем к виду:

$$y'' - \frac{k+m}{x}y' + \frac{(k+1)m}{x^2}y = f(x).$$

Приравнявая коэффициенты полученного уравнения к соответствующим коэффициентам уравнения (4), получим систему:

$$\begin{cases} k + m = -p; \\ (k + 1)m = q. \end{cases}$$

Таким образом, справедливость теоремы доказана. Рассмотрим пример.

Пример 2. Найти общее решение уравнения:

$$y'' - \frac{5}{x}y' + \frac{8}{x^2}y = x^3e^x. \quad (5)$$

Решение.

Для решения уравнения (5) будем использовать метод «Цепочка», применяя рассмотренную выше теорему. Составим систему уравнений для определения коэффициентов в уравнениях цепочки, аналогичную системе (4.3), и решим её:

$$\begin{cases} k+m=5; \\ (k+1)m=8. \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} k=3; \\ m=2; \\ k=1; \\ m=4. \end{cases}$$

Рассмотрим случай $k=3$ и $m=2$ (для случая $k=1$ и $m=4$ решение выполняется аналогично). Тогда уравнение (5) можно представить в виде цепочки линейных дифференциальных уравнений первого порядка

$$z' - \frac{3}{x}z = x^3 e^x, \quad (5.1)$$

$$y' - \frac{2}{x}y = z. \quad (5.2)$$

Преобразовывая левую часть уравнения (5.1) к виду $z' - \frac{3}{x}z = (z \cdot x^{-3})' x^3$, получим:

$$(z \cdot x^{-3})' x^3 = x^3 e^x \Rightarrow (z \cdot x^{-3})' = e^x \Rightarrow z \cdot x^{-3} = e^x + C_1, C_1 \in \mathbb{R} \Rightarrow z = x^3(e^x + C_1), C_1 \in \mathbb{R}.$$

Перейдем к уравнению (5.2) и решим его, применяя, в том числе, формулу интегрирования по частям:

$$y' - \frac{2}{x}y = x^3(e^x + C_1) \Rightarrow (yx^{-2})' x^2 = x^3(e^x + C_1) \Rightarrow (yx^{-2})' = x(e^x + C_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow yx^{-2} = (x-1)e^x + x^2 C_1 + C_2 \Rightarrow y = x^2((x-1)e^x + x^2 C_1 + C_2), C_1 \in \mathbb{R}, C_2 \in \mathbb{R}.$$

4. Уравнение Эйлера-Риккати. Рассмотрим уравнение Эйлера-Риккати, которое, как известно, в общем случае не интегрируется в квадратурах [5, 6].

Теорема. Уравнение Эйлера-Риккати

$$y' = ay^2 + \frac{b}{x}y + \frac{c}{x^2}, \quad (6)$$

где a, b и c – постоянные коэффициенты, интегрируемо в квадратурах.

Доказательство.

Можно пойти «традиционным» путем: убедиться, что $y = \frac{s}{x}$, где постоянная s определяется из уравнения $as^2 + (b+1)s + c = 0$, является частным решением уравнения (6); применить замену $y = z + \frac{s}{x}$, приводящую уравнение (6) к виду уравнения Бернулли, алгоритм решения которого известен. Другим способом решения уравнения (6), альтернативным вышеописанному, является следующий подход. Умножим уравнение (6) на x^2 :

$$x^2 y' = ax^2 y^2 + bxy + c. \quad (7)$$

Правая часть получившегося уравнения (7) является квадратным трехчленом относительно неизвестной функции xy . Для того, чтобы в уравнении (7) перейти к новой переменной $u = xy$, необходимо выполнить соответствующее преобразование в левой части уравнения: $x^2 y' + xy - xy = ax^2 y^2 + bxy + c$, где, очевидно, что $x^2 y' + xy = x(xy)'$. То есть уравнение (7) при переходе к переменной $u = xy$ примет вид уравнения:

$$xu' = au^2 + (b+1)u + c, \quad (8)$$

которое является дифференциальным уравнением с разделяющимися переменными и, соответственно, интегрируется в квадратурах.

Пример 3. Найти общее решение уравнения:

$$y' = y^2 - \frac{9}{x}y + \frac{15}{x^2}. \quad (9)$$

Решение.

Следуя вышеизложенному алгоритму, перепишем уравнение (9) в виде:

$$x^2 y' = x^2 y^2 - 9xy + 15.$$

Выполним переход к новой переменной $u = xy$:

$$xu' = u^2 - 8u + 15 \Rightarrow \frac{du}{u^2 - 8u + 15} = \frac{dx}{x},$$

и проинтегрируем полученное уравнение. Интеграл левой части уравнения:

$$\begin{aligned} \int \frac{du}{(u-5)(u-3)} &= \int \frac{\frac{1}{(u-3)^2}}{\frac{u-5}{u-3}} du = \left| \text{заменим переменную } \frac{1}{u-3} = t \right| = \\ &= \frac{1}{2} \int \frac{dt}{t - \frac{1}{2}} = \frac{1}{2} \ln \left| t - \frac{1}{2} \right| + C = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{1}{u-3} - \frac{1}{2} \right| + C, \quad C \in \mathbb{R}. \end{aligned}$$

Тогда:

$$\frac{1}{2} \ln \left| \frac{1}{u-3} - \frac{1}{2} \right| + C = \ln |x| \Rightarrow \ln \left| \frac{1}{xy-3} - \frac{1}{2} \right| = \ln x^2 + C \Rightarrow \frac{1}{xy-3} - \frac{1}{2} = Cx^2.$$

Таким образом, общее решение уравнения (9) имеет вид:

$$y = \frac{2}{2Cx^3 + x} + \frac{3}{x}.$$

5. Обратное уравнение Эйлера-Риккати. Наряду с уравнением Эйлера-Риккати, рассмотренным в предыдущем разделе, интерес представляет и обратное уравнение Эйлера-Риккати.

Теорема. Обратное уравнение Эйлера-Риккати

$$y' = \frac{a}{(qx+r)^2} y^2 + \frac{b}{qx+r} y + c, \quad (11)$$

где a , b и c – постоянные коэффициенты, интегрируемо в квадратурах.

Доказательство.

Очевидно, что уравнение (11) можно переписать в виде:

$$y' = \frac{\tilde{a}}{(x+p)^2} y^2 + \frac{\tilde{b}}{x+p} y + c,$$

где $\tilde{a} = \frac{a}{q}$, $\tilde{b} = \frac{b}{q}$, $p = \frac{r}{q}$. Разделим обе части последнего уравнение на $(x+p)$, а затем вычтем

$\frac{y}{(x+p)^2}$. Это позволит получить производную в левой части уравнения:

$$\frac{y'}{x+p} - \frac{y}{(x+p)^2} = \left(\frac{y}{x+p} \right)', \text{ а само уравнение примет вид:}$$

$$\left(\frac{y}{x+p} \right)' = \frac{\tilde{a}}{x+p} \left(\frac{y}{x+p} \right)^2 + \frac{\tilde{b}}{x+p} \frac{y}{x+p} + \frac{c}{x+p}.$$

Выполняя замену переменной $u = \frac{y}{x+p}$, получим уравнение с разделяющимися переменными:

$$u' = \frac{\tilde{a}u^2 + \tilde{b}u + c}{x+p},$$

что подтверждает то, что уравнение Эйлера-Риккати разрешимо в квадратурах.

Пример 4. Рассмотрим уравнение Риккати, описывающее магнитотеллурический импеданс (МТ-импеданс) в одномерной геологической среде:

$$\frac{dZ(z)}{dz} - \sigma(z)Z^2(z) = i\omega\mu_0, \quad (12)$$

где $Z(z)$ – функция МТ-импеданса, зависящая от пространственной координаты z (считается, что ось Oz направлена в глубину Земли); i – комплексная единица; ω – частота электромагнитного поля; μ_0 – магнитная восприимчивость в вакууме; $\sigma(z)$ – электрическая проводимость среды [7].

Если $\sigma(z) = \sigma \equiv const$, уравнение (12) легко решается методом разделения переменных:

$$\frac{dZ}{dz} = \sigma Z^2 + i\omega\mu_0 \quad \Rightarrow \quad \frac{dZ}{\sigma Z^2 + i\omega\mu_0} = dz,$$

и общее решение уравнения (12) в этом случае имеет вид:

$$Z(z) = \frac{2\frac{k}{\sigma}}{1 - Ce^{2kz}} - \frac{k}{\sigma}, \text{ где } C - \text{ произвольная комплексная постоянная.}$$

Если $\sigma(z) = \sigma_0(1 + pz)^{-2}$, σ_0, p – некоторые положительные числа, то уравнение (12) соответствует так называемой модели Като-Кикучи, которая была подробно рассмотрена, например, в работах [7–9]. При этом уравнение (12) представляет собой частный случай уравнения Эйлера–Риккати (11):

$$Z' = \frac{\sigma_0}{(1 + pz)^2} Z^2 + i\omega\mu_0. \quad (13)$$

Следуя вышеизложенному алгоритму, разделим обе части уравнения (13) на $(1 + pz)$ и вычтем $\frac{pZ}{(1 + pz)^2}$:

$$\frac{Z'}{1 + pz} = \frac{\sigma_0}{1 + pz} \left(\frac{Z}{1 + pz} \right)^2 + \frac{i\omega\mu_0}{1 + pz} \Rightarrow \frac{Z'}{1 + pz} - \frac{pZ}{(1 + pz)^2} = \frac{\sigma_0}{1 + pz} \left(\frac{Z}{1 + pz} \right)^2 + \frac{i\omega\mu_0}{1 + pz} - \frac{pZ}{(1 + pz)^2}$$

Обратим внимание на левую часть полученного уравнения, которая представляет собой производную $\frac{Z'}{1 + pz} - \frac{pZ}{(1 + pz)^2} = \left(\frac{Z}{1 + pz} \right)'$. Следовательно, уравнение (13) примет вид:

$$\left(\frac{Z}{1 + pz} \right)' = \frac{\sigma_0}{1 + pz} \left(\frac{Z}{1 + pz} \right)^2 + \frac{i\omega\mu_0}{1 + pz} - \frac{p}{1 + pz} \frac{Z}{1 + pz},$$

или, выполняя замену переменной $u = \frac{Z}{1 + pz}$,

$$u' = \frac{\sigma_0}{1 + pz} u^2 - \frac{p}{1 + pz} u + \frac{i\omega\mu_0}{1 + pz}.$$

Очевидно, что полученное уравнение является дифференциальным уравнением с разделяющимися переменными:

$$\frac{du}{\sigma_0 u^2 - pu + i\omega\mu_0} = \frac{dz}{1 + pz},$$

откуда следует, что,

$$u = \frac{-\sqrt{p^2 + 4k_0^2}}{\sigma_0} \frac{1}{C(1+pz)^{\frac{\sqrt{p^2+4k_0^2}}{p}} - 1} + \frac{p - \sqrt{p^2 + 4k_0^2}}{2\sigma_0},$$

где C – произвольная постоянная.

А значит, общее решение уравнения (13) имеет вид:

$$Z = (1+pz) \left(\frac{-\sqrt{p^2 + 4k_0^2}}{\sigma_0} \frac{1}{C(1+pz)^{\frac{\sqrt{p^2+4k_0^2}}{p}} - 1} + \frac{p - \sqrt{p^2 + 4k_0^2}}{2\sigma_0} \right).$$

Заключение. Получение в явном виде решений линейных обыкновенных дифференциальных уравнений является важнейшим элементом обучения математике будущих инженеров, экономистов и специалистов в других отраслях. Зачастую соответствующие курсы перегружены длинными предварительными рассуждениями о линейной независимости частных решений, базисе и т.п. Подход к решению некоторых конкретных видов дифференциальных уравнений, изложенный в данной работе, позволяет приобщиться к миру дифференциальных уравнений, решения которых можно «потрогать руками», не требуя глубоких предварительных теоретических знаний.

Таким образом, работа может быть полезна студентам, обучающимся по физико-математическим, экономическим, инженерно-техническим и др. специальностям.

Литература

1. Ливанова А.М. Л.Д. Ландау. М.: Знание. 1983. 240 с.
2. Kudyraliev S.K., Urdaletova A.B. Solving Linear Differential Equations by Operator Factorization // The College Mathematics Journal, USA, 1996. V. 27, No. 3. P. 199-204.
3. Кыдыралиев С.К., Урдалетова А.Б., Бурова Е.С. Преимущества метода цепочки при решении линейных дифференциальных и разностных уравнений // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2020. Т. 20. № 8. С. 16–20.
4. Кыдыралиев С.К., Урдалетова А.Б. Формула решения линейных обыкновенных дифференциальных уравнений // Вестник Кыргызско-Российского Славянского университета. 2020. Т. 20. № 8. С. 11–15.
5. Polyanin A.D., Zaitsev V.F. Handbook of Ordinary Differential Equations: Exact Solutions, Methods, and Problems // Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, 2017. 1496 p.
6. Боярчук А.К., Головач Г.П. Справочное пособие по высшей математике. Т. 5: Дифференциальные уравнения в примерах и задачах. М.: Эдиториал УРСС. 2001. 384 с.
7. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Магнитотеллурическое зондирование горизонтально-однородных сред. М.: Недра, 1992. 250 с.
8. Забиякова О.Б., Скляр С.Н. Численное моделирование магнитотеллурического импеданса в вертикально градиентной среде на основе метода локальных интегральных уравнений // Современные техника и технологии в научных исследованиях. Сб. материалов XII Междунар. конф. молодых ученых и студентов. Бишкек: ИС РАН. 2020. С. 371–379.
9. Забиякова О.Б., Скляр С.Н. Результаты численных экспериментов по моделированию магнитотеллурического поля в вертикально градиентной среде // Проблемы информатики. 2020. № 2. С. 18–36. DOI: 10.24411/2073-0667-2020-10006

ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ В БУХАРО-ХИВИНСКОМ РЕГИОНЕ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН ЗА ПЕРИОД 2016-2020 ГГ.

Хмыров П.В., Тухтаев Р.Р., Абдураимов М.Х., Холикулова Ф.Т.

pkhmirov@gmail.com

Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений,

г. Ташкент, Республика Узбекистан

В статье приводятся основные показатели разведочного бурения и его геолого-экономическая эффективность за период 2016-2020 гг. по Бухаро-Хивинскому региону Республики Узбекистан. Геолого-экономическая оценка результатов разведочного бурения производилась по таким расчетным показателям, как: объем разведочного бурения в физическом и денежном выражениях; количество скважин, законченных строительством, в том числе, продуктивных; разведанные запасы промышленных категорий, приходящиеся на одну законченную строительством разведочную скважину, на 1 м проходки, затраты на прирост 1 тонны условного топлива УВ-сырья и т.д.

Ключевые слова: геолого-экономическая эффективность, геологоразведочные работы, месторождение, площадь, структура, бурение, коэффициент успешности, УВ, прирост запасов, стоимость, затраты.

В настоящее время на территории Узбекистана известны пять нефтегазоносных регионов (Устюртский, Бухаро-Хивинский, Сурхандарьинский, Юго-Западно-Гиссарский и Ферганский) и 4 нефтегазоперспективных участка (Хорезмский оазис, Средне-Сырдарьинская синеклиза, Центрально-Кызылкумский свод и Зеравшанская впадина), которые отличаются друг от друга по истории развития, геологическому строению, тектонике и т.д. [1].

В данной статье приводятся основные показатели разведочного бурения и его геолого-экономическая эффективность за период 2016-2020 гг. по Бухаро-Хивинскому региону.

Разведочное бурение за этот период в пределах рассматриваемого Бухаро-Хивинского нефтегазоносного региона (территория деятельности АО «Узбекнефтегаз»), было направлено на геометризацию выявленных залежей, установление промышленной значимости открытых месторождений, установление фазового состояния залежей, изучение физико-химических свойств флюидов, определение фильтрационно-емкостных свойств коллекторов, установление типа залежей, определение эффективных мощностей, значений пористости и нефтегазонасыщенности, оценку запасов по категориям C_1 и C_2 . Глубокое разведочное бурение в пределах этого региона осуществлялось силами АО «Узбекнефтегаз»: «Кокандской НГПИ», «Сурханской НГПИ», «Алатская НГРЭ», «Касанская НГРЭ».

Геолого-экономическая оценка результатов разведочного бурения производилась по таким расчетным показателям, как: объем разведочного бурения в физическом и денежном выражениях; количество скважин, законченных строительством, в том числе, продуктивных; разведанные запасы промышленных категорий, приходящиеся на одну законченную строительством разведочную скважину, на 1 м проходки, затраты на прирост 1 тонны условного топлива УВ-сырья и т.д. [2].

За анализируемый период (2016-2020 гг.) объем разведочного бурения в пределах Бухаро-Хивинского региона составил 67,1 тыс. пог.м. По годам, в Бухаро-Хивинском нефтегазоносном регионе наблюдается тенденция постепенного снижения объёма разведочного бурения (исключением является 2020 год). При этом было затрачено 46,3 млн. долларов США. Полученный за счет разведочного бурения прирост запасов углеводородов по категории C_1 в

целом за пять лет составил более 32,3 млн. т.у.т., в том числе 25,3 млрд.м³ свободного газа, 0,6 млн. т. конденсата и более 1,4 млн. т. нефти (рис. 1).

Бухаро-Хивинский регион
Сопоставление показателей объемов разведочного бурения и прироста запасов углеводородов

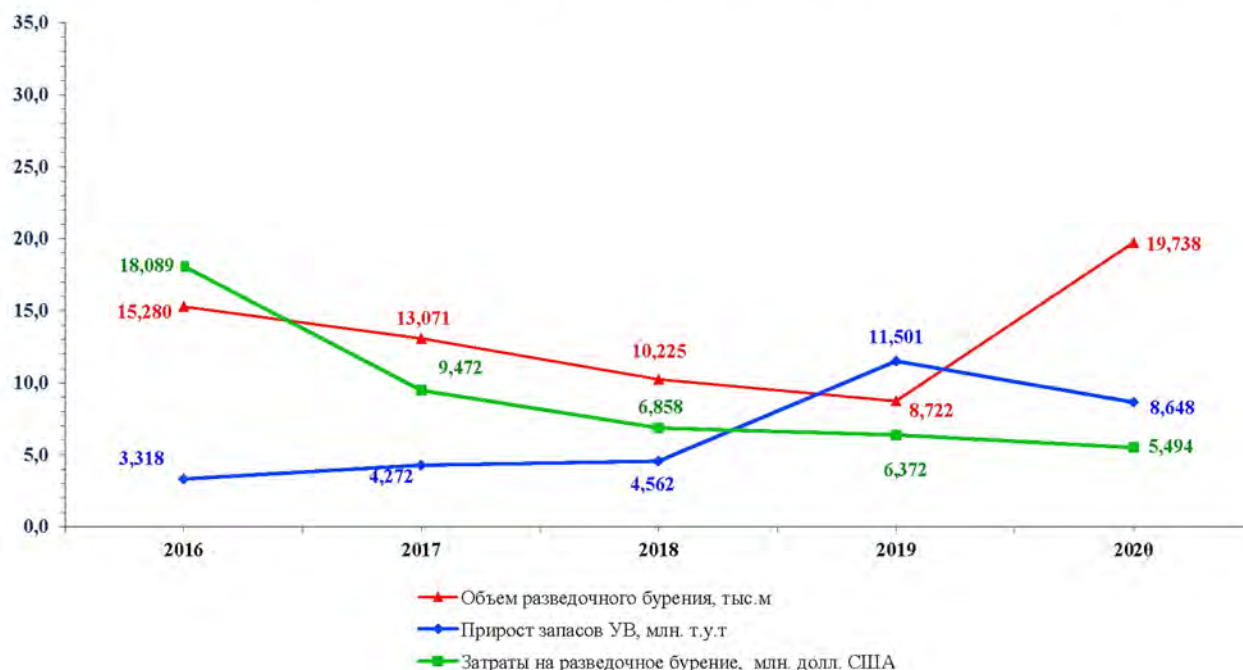


Рисунок 1 – Сопоставление показателей объемов разведочного бурения и прироста запасов углеводородов в Бухаро-Хивинском регионе за период 2016-2020 гг.

Показатели стоимости 1 м разведочного бурения варьируют в пределах от 278 долл. США - в 2020 году до 1184 долл. США в 2016 году, при этом среднее значение за пять лет составляет 690 долл. США. Снижение стоимости 1 м бурения в 2020 году связано с ростом курса доллара (по курсу ЦБ РУз). Средняя стоимость бурения одной разведочной скважины, законченной строительством, также изменяется по годам в широком диапазоне: от 0,661 млн. долл. США (2020 г.) до 3,252 млн. долл. США (2016 г.), в среднем составляя 1,902 млн. долл. США [2].

Коэффициент успешности разведочного бурения стабильно высок, и его минимальное значение составляет 0,4 в 2019 г., а максимальное – 0,83 в 2016, при среднем за 5 лет - 0,59. То есть из 27 законченных строительством разведочных скважин 16 оказались продуктивными (рис. 2).

На 1 долл. США фактических затрат полученный прирост углеводородного сырья (категории С₁) изменяется от 0,183 т.у.т (2016 г.) до 1,805 т.у.т (2019 г.), и в среднем за 5 лет составил 0,698 т.у.т.

Стоимость прироста 1 т.у.т углеводородов (категории С₁) колеблется в пределах от 0,6 долл. США в 2019 и 2020 гг. до 5,5 долл. США в 2016 г., при этом среднее за анализируемый период значение составляет 1,4 долл. США.

На 1 разведочную скважину, законченную строительством, приходится от 553,1 тыс. т.у.т (2016 г.) до 2300,0 тыс. т.у.т (2019 г.) прироста запасов УВ категории С₁; среднее значение за период 2016-2020 гг. равно 1196 тыс. т.у.т.

Если же говорить о показателе прироста запасов УВ на одну продуктивную скважину, законченную строительством, то эта величина изменяется в пределах от 663,7 тыс. т.у.т (2016 г.) до 5750 тыс. т.у.т (2019 г.), и в среднем за пять лет она составила 2018,8 тыс. т.у.т [2].

Кроме того, на каждый метр разведочного бурения полученный прирост запасов УВ изменяется от 217,1 тыс. т.у.т (2016 г.) до 1318,6 тыс. т.у.т (2019 г.), в среднем за анализируемый период эта величина составляет 481,8 тыс. т.у.т.



Рисунок 2 – Показатели успешности разведочного бурения в Бухаро-Хивинском регионе за период 2016-2020 гг.

Анализ стадии разведочного бурения показал, что доля прироста запасов углеводородов категории С₁, полученного за счет разведочного бурения относительно суммарного прироста по Бухаро-Хивинскому региону за анализируемый период изменяется в широких пределах: от 9,5% (2018 год) до 38,2% (2020 год), при среднем показателе за 5 лет – 18,4%. При этом доля прироста запасов углеводородов категории С₁, полученного за счет поискового бурения относительно суммарного прироста по Бухаро-Хивинскому региону за рассматриваемый период изменяется от 19,4% (2020 год) до 31,6% (2016 год), в среднем за 5 лет составляя 23,4%. Остальной прирост УВ приходится на пересчет запасов и добычу. При этом коэффициент успешности разведочного бурения выше, чем у поискового (0,59 против 0,46).

Дело в том, что прирост запасов за счет разведочного бурения должен быть выше, так как разведочное бурение осуществляется на уже открытых месторождениях, изученных поисковым бурением. А при поисковом бурении риск получения непродуктивных скважин значительно больше. В 70-80х годах прошлого столетия, когда открывались наряду с мелкими, средние и крупные по запасам УВ месторождения, доля прироста, приходившаяся на разведочное бурение, достигала 60-90%.

В настоящее время, подавляющее большинство месторождений небольшие по размерам и соответственно мелкие по запасам УВ. Бурением поисковых скважин зачастую полностью опосредовывается выявленная залежь, а бурение разведочных скважин иногда не даёт существенного прироста запасов УВ. Ввиду этого, мы имеем меньший объём прироста запасов УВ полученного за счёт разведочного бурения относительно поискового.

Такие показатели, как объём глубокого поискового бурения, так и количество поисковых скважин, законченных строительством значительно (в 4 раза) превышают аналогичные у разведочного бурения. Так, за анализируемый период объём поискового бурения составил 229,1 тыс. м., тогда как объём разведочного бурения лишь 67,1 тыс.м; закончено строительством 93 поисковые скважины против 27 разведочных [3].

Литература

1. Абдуллаев Г.С., Богданов А.Н. Роль и значение науки в развитии нефтегазгеологической отрасли Республики Узбекистан // Интеграция науки и практики как механизм эффективного развития геологической отрасли Республики Узбекистан. Тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф., 18 августа 2014 г. Ташкент. 2014. С. 26-27.
2. Шарипов И.Р., Богданов А.Н., Алимова О.К., Мамиров Ж. Анализ показателей геолого-экономической эффективности поискового бурения за период 2004-2008 гг. в Бухаро-Хивинском регионе // Нефтегазгеологическая наука Узбекистана и роль молодёжи в решении её проблем. Ташкент. 2011. С. 107-109.
3. Богданов А.Н., Хмыров П.В., Худойкулов У.И. Основные показатели геолого-экономической эффективности поискового бурения на нефть и газ в Бухаро-Хивинском регионе Республики Узбекистан // Привлечение инвестиций – основа перехода всех сфер деятельности нефтегазовой отрасли на путь инновационного развития. Материалы совм. Республ. конф. (II Республ. науч.-техн. конф. молодых ученых и специалистов и отраслевая науч.-практ. конф.), 21-22 ноября 2019 г. АО «УзЛИТИнефтегаз». Ташкент. 2019. С. 7-11.

СОДЕРЖАНИЕ

КОМПЛЕКСНЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЕЙСМОАКТИВНЫХ РЕГИОНОВ

CONSTRUCTION AND ANALYSIS OF GEOLOGICAL-GEOPHYSICAL CORRELATION SECTION BASED ON THE DATA OF DRILLING WELLS AND LOGGING STUDIES IN THE SELECTED AREAS ON THE PROFILE OF MUBAREK-GUZAR-BOYSUN-BOBOTAG Jumaev D.D., Jovliyev H.Sh.	4
О ФИЗИЧЕСКОЙ СУЩНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУКТУРНЫХ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРО-ТЯНЬ-ШАНЬСКОГО ОРОГЕНА Амиров Н.Б.	8
РЕЗУЛЬТАТЫ АПРОБАЦИИ ПРОГРАММНЫХ ПРОДУКТОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОЙ СТАНЦИИ СКАЛА-48 Валуйский А.Ю.	13
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КАТАЛОГОВ КНЕТ И NNC ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ БИШКЕКСКОГО ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПОЛИГОНА Воронцова Е.В.	19
ОБОСНОВАНИЕ ПРИОРИТЕТНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ КУАНЫШ-КОСКАЛИНСКОГО ВАЛА, С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕЗУЛЬТАТОВ ГРАВИ-СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА Гаффаров М.А.	23
ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ГРАВИМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ С ПОМОЩЬЮ СЕЙСМОМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ГРАВИМЕТРА CG-5 AUTOGRAV Дробышев М.Н., Малышева Д.А.	27
ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИНФРАЗВУКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ В КАЗАХСТАНЕ Дубровин В.И., Смирнов А.А., Смирнов Ю.А.	31
ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НЕФТЕЙ ПАЛЕОГЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПАЛВАНТАШ Жураев Ф.Ф., Имомкориев Б.М.	39
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА КАРТАХ СУММАРНОЙ ПРОДОЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОВОДИМОСТИ Забинякова О.Б.	42
ПЕРСПЕКТИВА НИЖНЕМЕЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЮЖНОГО БОРТА ФЕРГАНСКОЙ ВПАДИНЫ НА ПРИМЕРЕ АВВАЛЬСКОЙ ГРУППЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ, В СВЕТЕ НОВЫХ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИХ, БУРОВЫХ ДАННЫХ НА ПОИСК НЕФТЕГАЗОПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕКТОВ Икромов Т.Р., Беков И.О., Бешимов Ю.Х.	52
СРЕДНЕСУТОЧНОЕ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЕ ИЗ РАЗНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА Кенигсберг Д.В.	59
ПОСТРОЕНИЕ ГОДОГРАФА ДЛЯ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА ПО ЗАПИСЯМ КАЛИБРОВОЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ Комекбаев Д.К., Соколова И.Н.	65

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЯВЛЕНИЙ АРКТИЧЕСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЯКУТИИ В ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЯХ	71
Куляндина А.С., Козьмин Б.М., Шибаетов С.В.	
СРАВНЕНИЕ НАЗЕМНЫХ МНОГОЛЕТНИХ ВАРИАЦИЙ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ С ДАННЫМИ МОДЕЛИ IGRF-13	76
Лазарева Е.А.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СВЯЗИ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ОЧАГОВЫХ ЗОН РОЕВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ	81
Лютикова В.С., Литовченко И.Н.	
МОНИТОРИНГ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ КЫРГЫЗСТАНА И ПРИГРАНИЧНЫХ РАЙОНОВ СОСЕДНИХ СТРАН ЗА 2020 г.	87
Мамбетова Г.А., Абдрахматов К.Е., Омуралиев М.	
СОВРЕМЕННЫЕ ГЛОБАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ГРАВИТАЦИОННОГО ПОЛЯ ЗЕМЛИ: СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ОЦЕНКИ НА АКВАТОРИЯХ МИРОВОГО ОКЕАНА И КРУПНЫХ ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ	94
Михайлов П.С., Конешов В.Н., Соловьев В.Н.	
О СЕЙСМИЧНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ВОКРУГ ГОРОДОВ БАЛЫКЧИ И ТОКМОК, КЫРГЫЗСТАН	99
Мураталиев Н.М., Камчыбеков Ы.П.	
ОБЗОР ДОСТУПНЫХ ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ СЪЕМКИ И ПОСТРОЕНИЯ 3D РЕЛЬЕФА ДЛЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ	105
Мучкин А.В.	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ГИПОЦЕНТРОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ (НА ПРИМЕРЕ ПРОФИЛЯ МТЗ «СОН-КУЛЬ»)	111
Непеина К.С.	
ОСОБЕННОСТИ ЦИФРОВИЗАЦИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ В РЕСПУБЛИКЕ УЗБЕКИСТАН	116
Нестерова Л.И., Умаров Ш.А., Хабибуллаев С.С., Маликов М.Р.	
ПРОЯВЛЕНИЯ ФЛЮИДОВ, ЧАСТИЧНОГО ПЛАВЛЕНИЯ И ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ В 2015-2020 гг.	124
Омуралиева А.М., Мураталиева Ж.З.	
АНАЛИЗ БЮЛЛЕТЕНЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЗРЫВОВ В 2020 г. НА ЦЕНТРАЛЬНОМ КАРЬЕРЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ "КУМТОР", КЫРГЫЗСТАН	131
Омурбек кызы К., Абдрахматов К. Е., Омуралиев М.	
ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ БЕШКЕНТСКОГО ПРОГИБА ПО ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ С ЦЕЛЬЮ ДАЛЬНЕЙШЕГО НАПРАВЛЕНИЯ ПОИСКОВО-РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ НА НОВЫЕ ПЛОЩАДИ	137
Парпиев М.В., Шоймуратов Т.Х., Жураев Ф.Ф., Имомкориев Б.М.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИЛИВНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОЛЛЕКТОРА	144
Петухова С.М.	

ЦИФРОВАЯ ГЕОДЕЗИЧЕСКАЯ КОММУНИЦИРУЮЩАЯ МЕТЕОСТАНЦИЯ Прохоров О.А.	150
ПРОГНОЗ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ НА ПЛОЩАДИ ИЛИМ В БЕШКЕНТСКОМ ПРОГИБЕ Раббимкулов С.А., Исмадуллаев Б.И., Жураев Ф.О.	157
НЕОБЫЧНОЕ СЕЙСМИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ 11 НОЯБРЯ 2018 г. В РАЙОНЕ КОМОРСКИХ ОСТРОВОВ ПО ДАННЫМ КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ Рябенко П.В., Соколова И.Н.	161
НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ GPS ИЗМЕРЕНИЙ СОВРЕМЕННЫХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ Садиров Ф.Х., Хусомиддинов С.С., Сагдуллаева К.А.	168
ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЗАТУХАНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОТРЯСЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА Сайлаубаева З.А., Данабаева А.Т., Катубаева А.М., Сиылканова А.	171
ВЫБОР ОПОРНЫХ GPS СТАНЦИЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ЛОКАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ВНУТРИСУТОЧНОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ Саламатина Ю.М.	175
МАГНИТУДНАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ГРУППЫ КАРАТАУ Сейнасинов Н.А., Михайлова Н.Н.	184
ТЕХНОЛОГИЯ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ СЕЙСМОБИОМОНИТОРИНГА СЕЙСМООПАСНОЙ ЗОНЫ АЛМАТИНСКОГО ПОЛИГОНА Серазетдинова Б.З., Нью В.А., Арифулова И.И., Суровцева Н.В.	190
БАЗА ДАННЫХ СИЛЬНЫХ ДВИЖЕНИЙ ДЛЯ ТЕРРИТОРИИ ВОСТОЧНОГО КАЗАХСТАНА Соколов А.Н., Михайлова Н.Н., Соколова И.Н.	195
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ PGA ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА Тилек кызы Г., Рахмединов Э.Э., Байкулов С.К.	201
О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ В ПРЕДЕЛАХ СУДОЧЬЕГО ПРОГИБА УСТЮРТСКОГО РЕГИОНА Тошкулов А.Д.	204
ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И НЕФТЕГАЗОНОСНОСТЬ МЕЗОЗОЙСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БУХАРО-ХИВИНСКОГО РЕГИОНА Хожиев Б.И.	209
ПЕРСПЕКТИВЫ НЕФТЕГАЗОНОСНОСТИ ТЕРРИГЕННОЙ ЮРСКОЙ ФОРМАЦИИ ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ ЧАРДЖОУСКОЙ СТУПЕНИ Хожиев Б.И., Юлдашев Н.Н.	213
ГЕОЛОГО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЮГА УЗБЕКИСТАНА Холбаев Б.М., Жураев Ф.О.	217
«ИНДИКАТОР ИНТЕНСИВНОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ» НА БАЗЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА ARDUINO UNO Шаякубова М.З., Рахматов А.Р., Алимов Б.Г.	221

ОБРАБОТКА И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ GPS ИЗМЕРЕНИЙ ВОСТОЧНОГО УЗБЕКИСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ ЗА ПОСЛЕДНИЕ ГОДЫ В СРЕДЕ GAMIT-GLOBK Шукуров З.Ф.	227
АНАЛИЗ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ ЮЖНОГО ПРИАРАЛЬЯ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ПОСТАНОВКИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ РАБОТ С ЦЕЛЬЮ ПОИСКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ Эшметова Ш.У., Юлдашева М.Г., Бикеева Л.Р., Мамашарипов Ж.О.	230
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТОМОГРАФИИ В УСЛОВИЯХ ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ Юнусов А.И.	234
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОГРЕШНОСТЕЙ МАГНИТОМЕТРОВ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ (GSM-19T И MB-01) Юсупов В.Р.	239
ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОГЕННЫЕ ОПАСНОСТИ	
AN INVESTIGATION OF BARE-SOIL INDEX FOR SUBURBS OF BISHKEK, KYRGYZSTAN USING LANDSAT 8 DATA Mamadbekov A.E., Orunbaev S.Zh., Nurgaziev M.	245
DYNAMICS OF CHANGING CHL-A CONCENTRATIONS IN THE KUMTOR TAILING, USING SENTINEL-2 IMAGES Stambekova A.A., Orunbaev S.Zh., Kulenbekov Zh.E.	250
НОВАЯ ПАРАДИГМА В УЧЕНИЕ О ФОРМИРОВАНИИ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД Багынов Ж.Б., Тукушова Г.Е., Джанабилова С.О., Шестаков Ф.В.	255
СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ПАМЯТНИКОВ АРХИТЕКТУРЫ В ЦЕНТРАЛЬНОМ И ЮЖНОМ УЗБЕКИСТАНЕ Бобокулов К.Г., Ибрагимова Т.Л., Ибрагимов Р.С., Мирзаев М.А.	261
ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ПРОСАДОЧНЫХ ЛЕССОВЫХ ГРУНТОВ НА СЕЙСМИЧЕСКУЮ ИНТЕНСИВНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКИ Бозоров Ж.Ш., Мансуров А.Ф., Рузимбоев Ф.Ф., Тешаева Р.Б.	268
ЭВОЛЮЦИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОЛИВА ВЕЛИКАЯ САЛМА (БЕЛОЕ МОРЕ) Бондарь И.В., Гордеев Н.А.	276
МОНИТОРИНГ ЦЕЛОСТНОСТИ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС ПО ДАННЫМ РЕГИСТРАЦИИ УДАЛЕННЫХ СТАЦИОНАРНЫХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ Громько П.В., Кречетов Д. В.	281
НОВЕЙШЕЕ БЛОКОВОЕ СТРОЕНИЕ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ Джанабилова С.О., Абдрахматов К.Е., Сапаров Ж.О., Тукушова Г.Е.	288
ПОЗДНЕКАЙНОЗОЙСКИЕ РАЗРЫВНО-СКЛАДЧАТЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БАЙСУНТАУ Дононов Ж.У., Тураев Ш.А., Махмудов Ж.М.	296

МОНИТОРИНГ АТМОСФЕРЫ ГОРОДА БИШКЕК И ИССЫК-КУЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ 2021-2022 гг.	303
Жусупкелдиев Ш., Жанболот кызы Н., Толумбекова Т.	
ПРИЛЕДНИКОВЫЙ ЭТАП РАЗВИТИЯ ОЗЕР ВНУТРИМОРЕННЫХ ДЕПРЕССИЙ (НА ПРИМЕРЕ ОЗЕР АДЫГЕНЕ)	308
Загинаев В.В., Ерохин С.А., Кубанычбек уулу Н., Аманова М.Т., Шукурбеков К.	
НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ЧАСТОТАМИ КОЛЕБАНИЙ ПЛОТИНЫ АХАНГАРАНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	316
Ибрагимов Ф.И., Мухаммадкулов Н.М., Бахриддинова Д.Х.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ ПОТЕРЬ ИЗ НАКОПИТЕЛЯ СТОЧНЫХ ВОД СОРБУЛАК ГОРОДА АЛМАТЫ ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ	322
Искандеров Р.Р.	
УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТАБЛИЦЫ 1.1 НОРМАТИВНОГО ДОКУМЕНТА КМК-2.01.03.96 «СТРОИТЕЛЬСТВО В СЕЙСМИЧЕСКИХ РАЙОНАХ»	326
Исмаилов В.А., Хусомиддинов А.С., Тешаева Р.Б., Турдиева М.	
ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТ СТОЯЧИХ ВОЛН ЗДАНИЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ДАННЫМ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ	330
Коковкин И.В., Громыко П.В.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ УГЛЕВОДОРОДОВ	336
Кузьмин Д.К.	
ОСЕДАНИЕ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГАЗОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШУРТАН И ИНТЕНСИВНОСТЬ ГЕОМАГНИТНОГО ПОЛЯ	340
Тухтамешов Ф.Г., Уралова М.Ш.	
ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЮЖНО-ФЕРГАНСКОЙ СЕЙСМОАКТИВНОЙ ЗОНЫ	344
Усманова С.А., Ибрагимова Т.Л., Ибрагимов Р.С., Мирзаев М.А.	

МЕХАНИКА И МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНЫХ ЗАМЕДЛИТЕЛЕЙ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШАПКИ РАЗВАЛА БЛОКА СРЕДСТВАМИ СИСТЕМЫ «BLASTMAKER»	352
Абдижамилев Э.У., Райымкулов М.А.	
СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАТЯЖЕНИЯ ТЯГОВОГО КАНАТА ШАХТНОЙ ПОДЪЁМНОЙ МАШИНЫ	356
Абылов И.Н., Равшанова А.Р.	
ПРОБЛЕМА ПРЕПОДАВАНИЯ МАТЕМАТИКИ СТУДЕНТАМ ГУМАНИТАРНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ	361
Александров П.Н., Шаховская О.Ю.	

ВЫЧИСЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ В ВЕТРОВЫХ МОДЕЛЯХ: АНАЛИТИЧЕСКИЕ И ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ Дон Э.С.	366
РАБОЧИЙ МАКЕТ ДЛЯ РЕГИСТРАЦИИ КОЛЕБАНИЙ Жусупкелдиев Ш., Автандил к Г., Осконбаев А.Т.	372
МЕТОД АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ СВЕРХПРОВОДЯЩЕГО КАБЕЛЯ НА ОСНОВЕ Nb-Ti СПЛАВА Касмамьтов Н.К., Ынтымакова А.С.	375
ДОСТОИНСТВА И ПРЕИМУЩЕСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНОЙ ОГНЕУПОРНОЙ КЕРАМИКИ Кыдыралиев Э.М.	380
ШАХТНЫЙ ГАЗОВЫЙ АНАЛИЗАТОР Мосяченко А.С.	383
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕЛЕСКОПА «СИНТЕЗ» Назаров С.В., Харченко А. В.	388
О ДЕФОРМАЦИИ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ УГЛЯ МАРКИ «Т» ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТРЕХОСНОГО СЖАТИЯ Николаев Я.С.	392
СИСТЕМА АНАЛИЗА АТМОСФЕРЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ Омурбекова Ж., Бекбердиева Э.Н.	398
АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ COVID-19 НА ОСНОВЕ РЕНТГЕНОВСКИХ СНИМКОВ Раимжанов Х.А., Верзунов С.Н.	401
ИНСТРУМЕНТЫ АНАЛИЗА СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОЕМКОСТИ БУРЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНОГО, ЗОЛОТОРУДНОГО И АЛМАЗНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ Райымкулов М.А., Сыдыков Э.Ш.	406
АНАЛИЗ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕГО ИНДУКЦИОННОГО МЕТОДА Сагындикова А.Ж.	411
РОЛЬ СИММЕТРИИ В ФИЗИКЕ ЭВОЛЮЦИИ Сомсиков В.М.	421
РЕШЕНИЕ ПРЯМОГО И ОБРАТНОГО УРАВНЕНИЯ ЭЙЛЕРА-РИККАТИ МЕТОДОМ ПРЯМОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ Урдалетова А.Б., Забинякова О.Б., Кыдыралиев С.К.	429
ПОКАЗАТЕЛИ ГЕОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВЕДОЧНОГО БУРЕНИЯ В БУХАРО-ХИВИНСКОМ РЕГИОНЕ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН ЗА ПЕРИОД 2016-2020 гг. Хмыров П.В., Тухтаев Р.Р., Абдураимов М.Х., Холикулова Ф.Т.	436

Научное издание

**XIV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ
В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

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

**27-29 апреля 2022 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