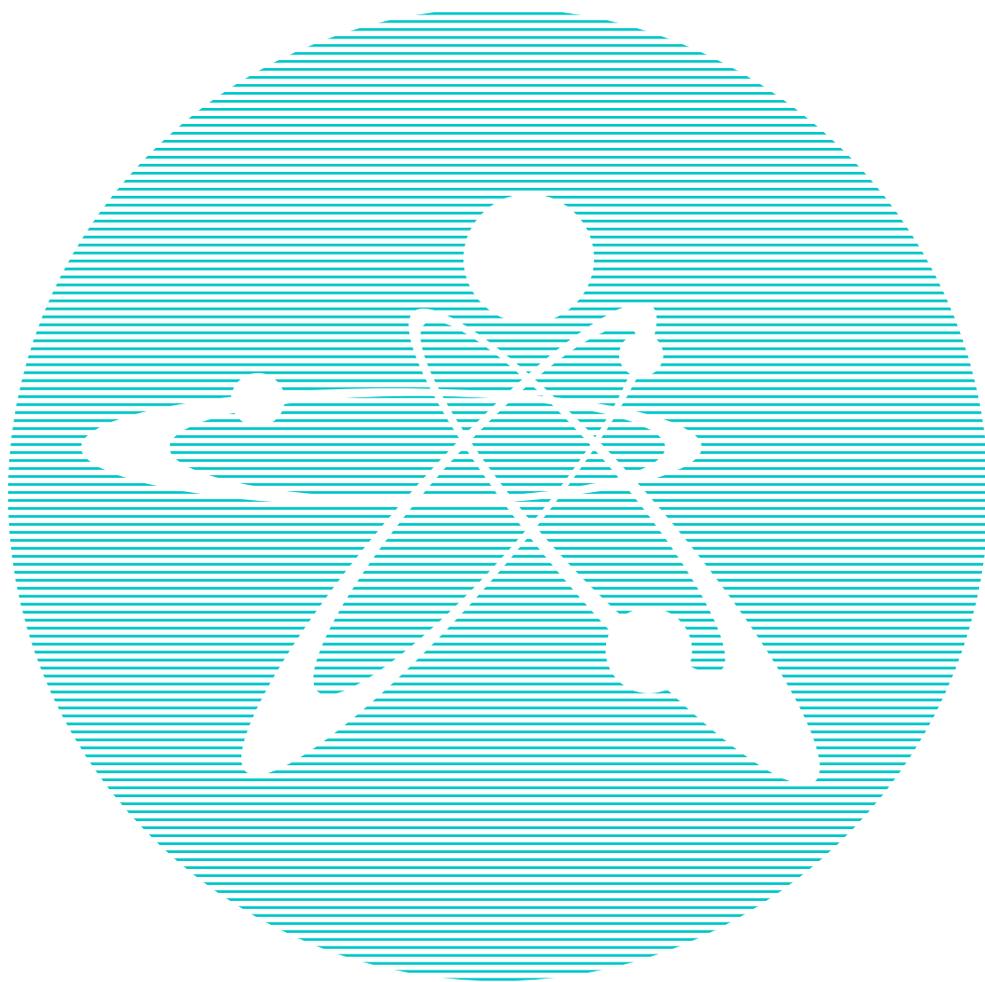


2019  
ВЫПУСК 2

ISSN 1729-7516

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
Вестник



# **Вестник НЯЦ РК**

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
НАЦИОНАЛЬНОГО ЯДЕРНОГО ЦЕНТРА РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ВЫПУСК 2(78), ИЮНЬ 2019

*Издается с января 2000 г.*

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР** – д.ф.-м.н., профессор БАТЫРБЕКОВ Э.Г.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:** д.ф.-м.н. СКАКОВ М.К. – заместитель главного редактора,  
к.б.н. АЙДАРХАНОВ А.О., д.ф.-м.н. БУРТЕБАЕВ Н.Т., доктор инженерии ВИЕЛЕБА В.К. (Польша),  
к.ф.-м.н. ВИТЮК В.А., к.ф.-м.н. ВУРИМ А.Д., д.т.н. ГРАДОБОЕВ А.В. (Россия), д.ф.-м.н. МАКСИМКИН О.П.,  
д.ф.-м.н. МИХАЙЛОВА Н.Н., к.г.-м.н. ПОДГОРНАЯ Л.Е., д.ф.-м.н. СОЛОДУХИН В.П.,  
д.ф.-м.н. ТАЖИБАЕВА И.Л., профессор ФУДЖИ-Е (Япония)

# **ҚР ҰЯО Жаршысы**

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ЯДРОЛЫҚ ОРТАЛЫҒЫНЫҢ  
МЕРЗІМДІК ҒЫЛЫМИ-ТЕХНИКАЛЫҚ ЖУРНАЛЫ

2(78) ШЫҒАРЫМ, МАУСЫМ, 2019 ЖЫЛ

# **NNC RK Bulletin**

RESEARCH AND TECHNOLOGY REVIEW  
NATIONAL NUCLEAR CENTER OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSUE 2(78), JUNE 2019

**Периодический научно-технический журнал «Вестник НЯЦ РК» входит в перечень научных изданий, рекомендуемых Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан для публикации основных результатов научной деятельности по следующим направлениям:**

- **Естественные науки;**
- **Науки о Земле и географические науки.**

В журнале представлены доклады X Международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий» (06–10 августа 2018 г., Алматы, Казахстан).

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>DEVELOPMENT OF MONGOLIAN SEISMIC NETWORK AND INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM STATIONS</b> M. Bazargur, B. Jargalsaikhan, U. Manduul.....	5
<b>ВКЛАД КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ В ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ</b> Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Смирнов А.А.....	12
<b>ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СЕЙСМОГРАММ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БАЙКАЛЬСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ</b> Добрынина А.А., Саньков В.А., Чечельницкий В.В.....	21
<b>USSR PEACEFUL NUCLEAR TESTS, GEOPHYSICAL OBSERVATORY “BOROVOYE”</b> K.S. Nepeina, V.A. An, T.V. Chelyubeyeva .....	28
<b>CIVIL AND SCIENTIFIC APPLICATION OF IMS NETWORK DATA IN EARTHQUAKE HAZARD ASSESSMENT</b> D. Shanker, S.M. Ali, M. Singh.....	33
<b>РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КАЗАХСТАНСКОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ЦЕНТРЕ ДАННЫХ (KNDC)</b> Гордиенко Д.Д., Комаров И.И., Смирнов Ю.А. ....	37
<b>СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ</b> Гвишиани А.Д., Татаринов В.Н.....	44
<b>УЧЁТ ГРАВИТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА</b> Великанов А.Е., Аристова И.Л. ....	51
<b>ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ</b> Ботов А.А., Романов А.М.....	54
<b>ПРИМЕНИМОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУР ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ</b> Романов А.М. ....	58
<b>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ СТРУКТУР НА УЧАСТКАХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ</b> Ларина Т.Г., Романов А.М., Сергеев Н.Н., Шайторов В.Н. ....	63
<b>ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ СТРУКТУР МЕТОДАМИ КАЖУЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ</b> Апенько А.В., Пестов Е.Ю., Романов А.М.....	66
<b>ПРОЯВЛЕННОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ СТРУКТУР В ЕСТЕСТВЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ</b> Бахтин Л.В., Романов А.М., Токаев Д.Н.....	69
<b>РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОГО ТРИТИЯ НА УЧАСТКАХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА</b> Апенько А.В., Романов А.М., Токаев Д.Н., Фролов З.Н. ....	75

---

<b>НОВЫЕ ДЕТАЛИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ И СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ДЖУНГАРИИ</b> Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Полешко Н.Н., Аристова И.Л. ....	81
<b>НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА</b> Усманова М.Т., Саттарова А.М. ....	88
<b>СВЯЗЬ СЕЙСМИЧНОСТИ С ИЗБЫТОЧНЫМИ МАССАМИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ</b> Великанов А.Е., Аристова И.Л. ....	98
<b>КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ИРАНА: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ</b> Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. ....	106
<b>АНАЛИЗ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ</b> Копничев Ю.Ф., Соколова И.Н. ....	114
<b>НИЗКОЧАСТОТНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВОГО ПАРАМЕТРА ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ</b> Мариненко В.А., Максимов Е.М., Шевченко В.П. ....	120
<b>НОВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ КАСКЕЛЕН В ПРИГОРОДЕ МЕГАПОЛИСА АЛМАТЫ</b> Кунаков В.Г., Соколов А.Н., Казаков Е.Н. ....	124
<b>ИСТОРИЧЕСКИЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЗАПИСИ ВЗРЫВОВ, ПРОВЕДЕННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕЛЕЗАЩИТНОЙ ПЛОТИНЫ В МЕДЕО</b> Соколова И.Н. ....	128
<b>ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ФИЛЬТРАЦИИ В СУГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ (НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТВАЛА ТЭЦ-2 г. АЛМАТЫ)</b> Шайторов В.Н., Ефремов М.В., Мариненко В.А., Жолдыбаев А.К., Кущербасева Н.Н., Шульга М.В., Шевченко В.П., Максимов Е.М. ....	138
<b>СПИСОК АВТОРОВ</b> .....	145

---

УДК 550.34.034

## DEVELOPMENT OF MONGOLIAN SEISMIC NETWORK AND INTERNATIONAL MONITORING SYSTEM STATIONS

M. Bazargur, B. Jargalsaikhan, U. Manduul

*Institute of Astronomy and Geophysics, Ulaanbaatar, Mongolia*

First seismic station of Mongolia installed in 1957 with assistance from the Soviet Union and it was using photo paper for recording seismic data. Since the first station installation time, Mongolian seismic network expanded with a number of the seismic stations and developed the technological improvement. Institute of Astronomy and Geophysics (IAG) operates four types of IMS stations including seismic, infrasound, radionuclide and noble gas stations (PS25, IS34, MNP45, and MNX45) now. Mongolian National Data Centre (MNDC) receives seismic and infrasound data including IMS data using different communication technologies in real and near real-time from stations all around Mongolia including IMS stations. Current status of the CTBTO IMS stations in Mongolia and some radionuclide analysis results of the Mongolian IMS noble gas station (MNX45) will be presented.

### HISTORICAL BACKGROUND OF THE SEISMIC STATIONS

Mongolia is situated in a seismically-active region due to its situation between the Indian sub-continent and Eurasia. Several strong earthquakes have been registered in Mongolia over the last century. It is showing that earthquake activity is much in Mongolia. First seismic station installed on 6 July 1957 at Ulaanbaatar city with assistance from the Soviet Union equipped with 3 components short period SKM-3 (2 sec) and 3 components long period SK (12 sec) seismometers. This station records ground motion on the photo paper using light and data analysis was performed by using photo image method. From 1959 until 1988 eight photo paper stations installed in the countryside area of Mongolia (Table 1). These stations equipped with 3 components short period SKM-3 seismometers.

*Table 1. Installation of the 3 component short period Photo paper stations in Mongolia (1957–1988)*

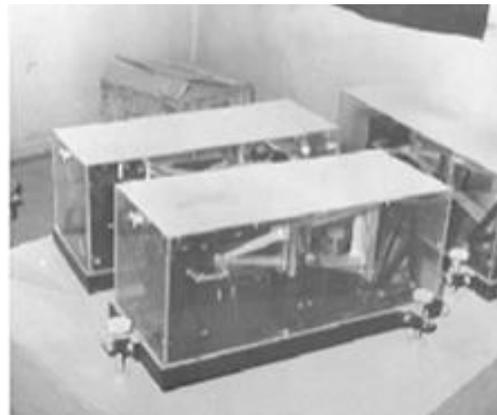
Installation date	Station code	Province/	City or Town
June 1959	altai	Gobi-Altai	Altai
May 1964	Ccg	Arkhangai	Tsetserleg
October 1964	Tsc	Zavkhan	Tosontsengel
July 1965	Hbd	Khovd	Khovd
June 1969	dzd	Umnu-Gobi	Dalanzadgad
November 1973	blg	Bulgan	Bulgan
November 1975	htg	Khuvsgul	Khatgal
August 1987	ulg	Uvs	Ulaangom
August 1988	ban	Bayan-Ulgii	Ulgii

Seismometer and recorder of these stations were located dark room (without light). Every 8 hours operators change photo paper and make time notes using line radio broadcast (Picture 1).

All photo station's seismogram transported to Research Centre of Astronomy and Geophysics (old name of the current institute) from regional stations after 14 days and starts to analysis.

### IMPROVEMENT OF THE REGIONAL STATIONS

IAG needs to develop countryside photo paper stations to digital seismic stations because photo paper resource was decreased. Therefore since 2005 to 2007 technical research work performed on the countryside stations and installed 3 short period component digital stations in 8 provinces. All countryside stations equipped with L-4-3D short period seismometers and AORAI digitizers (Picture 2).



*Picture 1. General view of the photo-paper electric magnetic ground motion recorder*



Picture 2. Seismometer and digitizer of the first digital regional stations



a) seismometer inside the vault



b) solar panel and 3G modem for the station

Picture 3. General view of the Automatic seismic stations installed in Mongolia

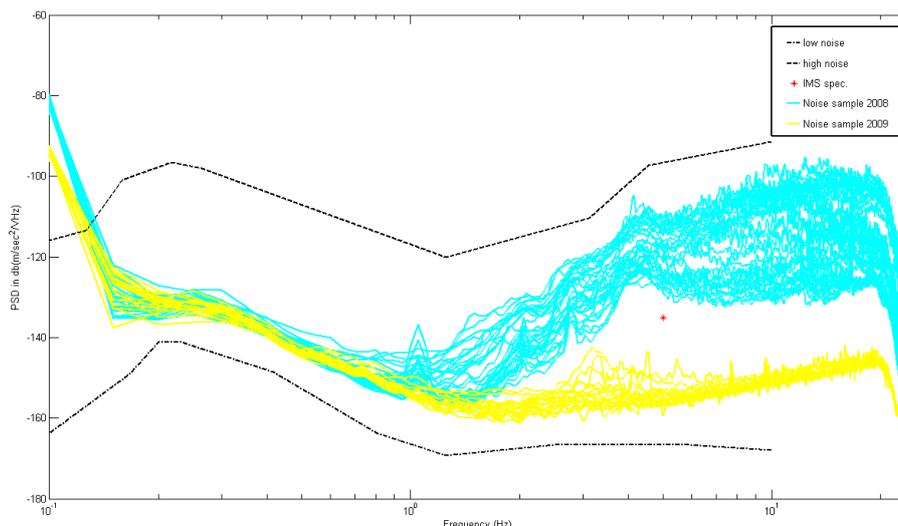
Then countryside operators started to analyze own digital station data using ONYX software. From 2010 to 2011 all regional station's instruments were swapped with BroadBand Guralp-3ESPC with Guralp digitizer. In 2014 countryside seismic network expands with 3 stations in Selenge, Dundgobi and Bayankhongor province.

From 2016 to 2017 we installed four automatic seismic stations that equipped with Guralp 6TD instrument. Automatic stations transmit data using 3G internet modem (Picture 3).

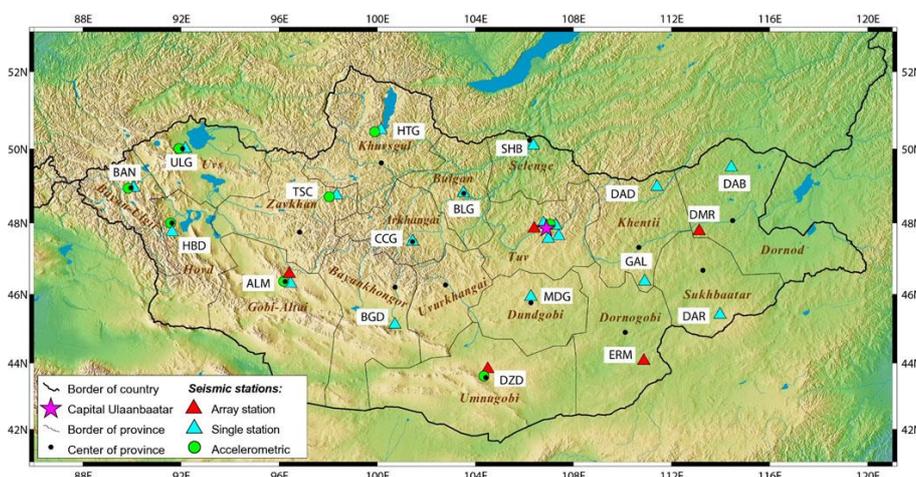
Regional seismic stations installed far (2–3 km) from town in last century. But a population of the town increased and the seismic station became one part of the

town. Then background noise increased since first installation and seismic stations need to move far from the town. Then we moved seismic stations 15–20 km distance from 2008 to 2018 to decrease seismic noise (Picture 4).

Now countryside station network [1] consists of 12 stations and all stations equipped with Guralp seismometers (CMG-3ESP or Guralp 6TD). In 2013 8 strong motion seismic stations were built in regional stations. 5 seismic mini area are working in Mongolia. 8 strong motion stations are working with regional stations. In 2015 all regional stations were connected by fiber optic cable with 1MB/s data rate (Picture 5).



Picture 4. Seismic noise figures before and after sensor location changes of the BANM station



Picture 5. Location of the Mongolian seismic stations

In 2004 AFTAC installed ALMAR seismic network in Taishir of the Gobi-Altai province and ERMAR seismic network in Erdene of the Dornogobi province. Then AFTAC installed DOMAR network in 2008 at Khulenbuir of the Dornod province. These 3 seismic network consists of 10 elements and seismometer of these stations installed deep position between 30 to 60 meters deep. These stations are with very low noise and IAG receives data after 7 to 11 seconds from stations using satellite communication.

**EARTHQUAKE EARLY WARNING SYSTEM**

3 seismic crack area located from 170 to 300 km far from Ulaanbaatar. In 2012–2014 request of the Mongolian Government, built Earthquake Early Warning (EEW) system equipped with 12 accelerometers installed in 3 seismic crack area Mogod, Tsagaannuur, and Deren (Picture 6). EEW system started operational in January 2015.

Earthquake Early warning system stations send data to IAG using satellite communication. If the magnitude is high than seven earthquake occurs in those places,

EEW system sends alarms to Ulaanbaatar before an earthquake hits the city:84 seconds for Mogod, 46 seconds for Deren and 80 seconds for Tsagaannuur.

**ULAANBAATAR GEOPHYSICAL STATIONS**

*Brief history:*

- On 6 July 1957, the first seismic station “Ulaanbaatar” was installed.
- First digital seismic station ULN installed in Mongolia 1994 by USGS of the United States. It was equipped with the capability to amplify 0.1-360 s period seismometer STS1, high-frequency seismometer GS-13, and accelerometer FBA-23. Installation location was Observatory at Khureltogoot.
- From 1994 to 1997 Department Analyse Surveillance Environment (DASE) of France installed 6 stations in Tuv province. These stations transmit data using radio transmission. 5 station was equipped with vertical component short period ZM500 (1 sec) seismometer and one station equipped with 3 component short and long period LPZ&H12 (12 sec) seismometers.



region, its vicinity area and establish an earthquake forecasting system on the preliminary basis. We installed 8 radon stations with assistance from the DASE. We have 14 mobile seismic stations for deep research for interesting area. These mobile stations equipped with REFTEK-130B/S digitizer and Guralp CMG-3ESPC seismometer.

In 2006, RCAG & DASE teams built Mongolian National Data Centre (MNDC). It was received data from 8 infrasound, 11 seismic stations and 4 mini array seismic stations all around Mongolia including IMS stations. Then the MNDC started to produce routinely seismic bulletins on a monthly and yearly basis.

Today, the Mongolian seismic networks are widespread over 15 sites (Ulaanbaatar region is considered here as one site) that have, all together, 87 high sensibility digital seismic stations. All station data are transmitted in near real-time to the MNDC. At the MNDC integrates waveforms into a database and the waveform data analysis performs. We monitor the station's data quality using PQLX.

**CTBTO IMS STATIONS IN MONGOLIA**

IAG operates 4 kinds of IMS stations: Primary seismic (PS25), Infrasound (I34MN), Radionuclide (MNP45) and Noble gas (MNX45) stations. IMS stations in Mongolia is a very important part for the Mongolian

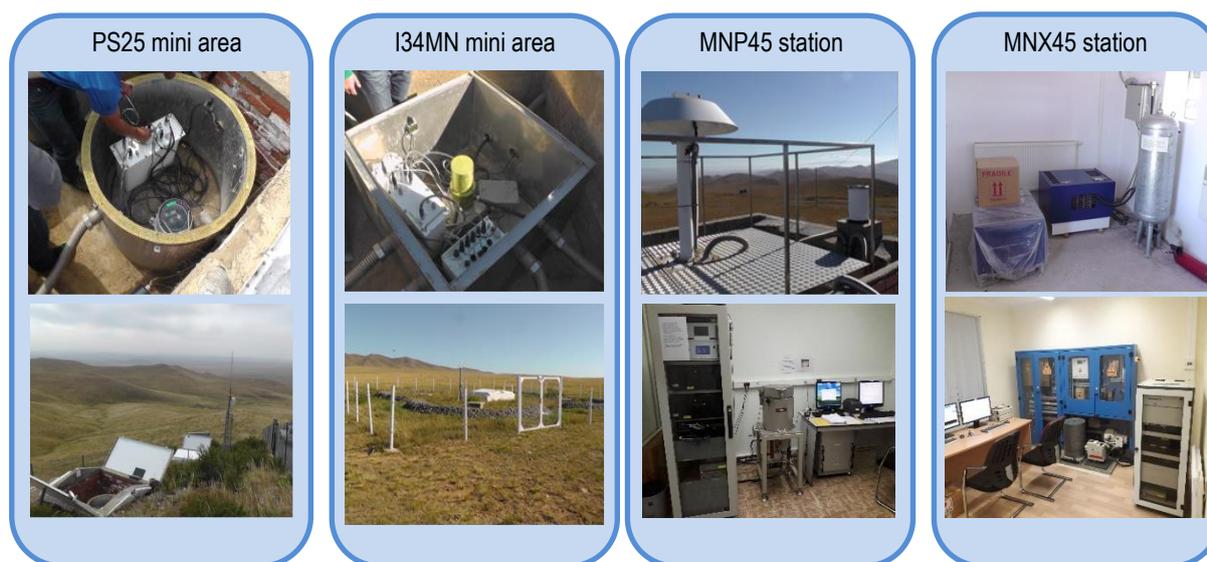
NDC. The IS34 network consists of 8 infrasound stations equipped with MB2000 micro barometers (acoustic pressure sensors) – Table 2.

The IS34 network (Picture 8) to detect very low-frequency sound waves in the atmosphere produced by natural and man-made events. The PS25 network consists of 9 elements equipped with vertical short period (2 seconds) seismometer and 1 element equipped with short period (2 seconds) 3 component and long period (12 seconds) 3 component LPZ and LPH12 seismometers. PS25 seismic area detects and locates seismic events. PS25 seismic mini array station is one of 50 primary CTBTO stations, which send its data in real-time to the International Data Centre (IDC) in Vienna.

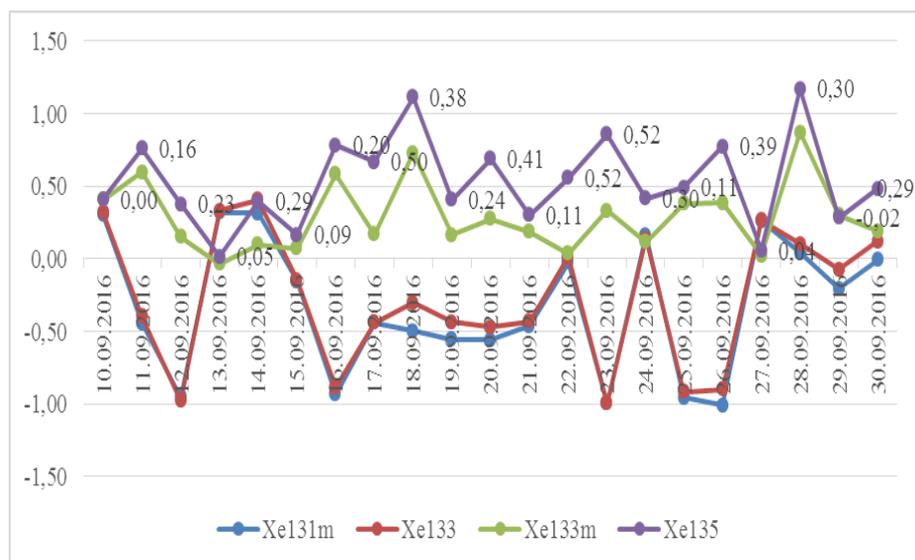
The radionuclide MNP45 station uses air samplers to detect radioactive particles released from atmospheric explosions or vented from underground and underwater explosions. The relative abundance of different radionuclides in air samples can distinguish between materials produced by a nuclear reactor and a nuclear explosion. MNX45 station detects radioactivity of the noble gas released from atmospheric explosions or vented from underground and underwater explosions. MNX45 station samples air 24/7 and collects the xenon every day. Every-day MNX45 station performs radioactivity measurement for the collected sample using a gamma spectrometer.

Table 2. IMS stations of Mongolia

Installed year	Treaty Code	Technology info	Certification
1998	I34MN	Infrasound network	Certified on 19 December 2002
2000	PS25	Primary seismic station mini area	Certified on 5 December 2003
2002	MNP45	MNP45 (Radio Nuclide, Particulate Station)	Certified on 26 May 2003
2006	MNX45	MNX45 SPALAX (Noble Gas Analysis Station)	Certified in 2013



Picture 8. General view of the IMS stations of Mongolia



Picture 9. Xenon detection of MNX45 station from 9/10/2016 to 9/30/2016

#### RADIONUCLIDE ANALYSIS RESULTS OF THE MNX45 STATION

We use openspectra software for MNX45 data analysis and ATM calculated by webgrape for the all DPRK events [2] (Picture 9).

In September 2016, the wind direction was from west to east, then Mongolian IMS RN station detection possibility was decreased. During DPRK2016 and DPRK2013 events wind directions were directed from west to east in the ATM, then nuclear explosion radioactivity detection capabilities decreased for the MNX45 and MNP45 stations.

#### REFERENCES

1. Bayaraa, J. Seismic Network of Mongolia. Seismic Networks Training Course / J. Bayaraa, B. Munkhbayar, D. Lkhagvadorj // Mongolia October 23–28, 2016. Ulaanbaatar: IAG.
2. Munkhbayar, B. MNX45 station data analysis on DPRK2013 and DPRK2016 events / B. Munkhbayar, S. Odbayar, A. Narmandakh, J. Bayaraa // International Noble Gas Experiment Workshop 2017, 27 Nov– 1 Dec, 2017, Middlesex, UK.

#### SUMMARY

All stations data collects to Mongolian National Data Centre (MNDC). MNDC receives 1242 MB data every day and MNDC equipped with nonstop electrical power supply using UPS and electrical generator. In order to detect in all station capacity, well data interpretation, analysis of seismic source parameters (time, location, depth, magnitude), necessary to have good seismic stations and as well as to use some related geophysical instruments. In future MNDC will completely perform waveform data analysis on Linux operating system software.

### МОҢҒОЛИЯНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖЕЛІСІН ЖӘНЕ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ МОНИТОРИНГ ЖҮЙЕСІНІҢ СТАНЦИЯЛАРЫН ДАМУУ

М. Базаргур, Б. Джаргалсайхан, У. Мандуул

*Астрономия және геофизика институты, Улан-Батор, Моңғолия*

Моңғолияның бірінші сейсмикалық станциясы 1957 жылы Кеңес Одағының көмегімен орнатылған және онда сейсмикалық деректерді тіркеу үшін фотоқағаз пайдаланылған. Сол кезден бастап моңғолияның сейсмикалық желісі бірнеше сейсмикалық станцияларға кеңейді және технологиялық жақсартулар әзірленді. Қазіргі уақытта Астрономия және геофизика институты (АГИ) сейсмикалық, инфрадыбыстық, радионуклидтік және бекзат газдар (PS25, IS34, MNP45, және MNX45) станцияларын қоса алғанда, ХМЖ станцияларының төрт түрін басқарады. Моңғолияның ұлттық деректер орталығы (МҰДО) ХМЖ қоса алғанда, Моңғолияның бүкіл станцияларынан нақты уақыт және нақты уақытқа жуық уақыт режимінде әртүрлі коммуникациялық технологияларды пайдалана отырып ХМС деректерін қоса алғанда, сейсмикалық және инфрадыбыстық деректерді қабылдайды. Мақалада Моңғолиядағы ЯСЖТШҰ ХМЖ станцияларының ағымдағы ахуалы және ХМЖ моңғолияның бекзат газдар станциясының (MNX45) радионуклидті талдауының кейбір нәтижелері көрсетілген.

**РАЗВИТИЕ МОНГОЛЬСКОЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ СЕТИ И СТАНЦИЙ  
МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА**

**Базаргур М., Джаргалсайхан Б., Мандуул У.**

*Институт астрономии и геофизики, Улан-Батор, Монголия*

Первая сейсмическая станция Монголии была установлена в 1957 году при помощи Советского Союза, и в ней использовалась фотобумага для регистрации сейсмических данных. С тех пор, монгольская сейсмическая сеть расширилась рядом сейсмических станций и для нее разработаны технологические улучшения. В настоящее время Институт астрономии и геофизики (ИАГ) управляет четырьмя типами станций МСМ, включая станции сейсмические, инфразвуковые, радионуклидные и благородных газов (PS25, IS34, MNP45, и MNX45). Монгольский национальный центр данных (МНЦД) принимает сейсмические и инфразвуковые данные, включая данные МСМ, используя различные коммуникационные технологии в режиме реального и близко к реальному времени со станций по всей Монголии, включая станции МСМ. В статье представлен текущий статус станций МСМ ОДВЗЯИ в Монголии и некоторые результаты радионуклидного анализа с монгольской станции благородных газов МСМ (MNX45).

УДК 550.34.034

## ВКЛАД КАЗАХСТАНСКИХ СТАНЦИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ СИСТЕМЫ В ГЛОБАЛЬНЫЙ И РЕГИОНАЛЬНЫЙ МОНИТОРИНГ

Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Смирнов А.А.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Обобщены данные, дающие представление о вкладе станций Казахстана в сравнении с другими станциями Международной системы мониторинга (МСМ) в бюллетень REB (Обзорный бюллетень событий) Международного центра данных (МЦД) по количеству обнаруженных и ассоциированных фаз. Показано, что все станции Казахстана, как сейсмические, так и инфразвуковые, достаточно эффективны в мониторинге и занимают одни из первых мест. Это подтверждено результатами картирования эпицентров событий мира, а также такими параметрами, как минимальная магнитуда и соотношение количества событий, выявленных с участием казахстанских станций, к общему количеству событий в бюллетене REB. Детально рассмотрен регион Центральной Азии (ЦА) в результатах REB и бюллетенях казахстанского национального центра данных (KNDC) – сейсмическом и инфразвуковом, – с примерами оценки реальной точности локализаций. Инфразвуковой бюллетень событий KNDC по ЦА сравнен с REB. В бюллетене KNDC локализация проведена по данным четырех инфразвуковых станций, включая одну российскую станцию Залесово. Отмечено большее количество событий в бюллетене KNDC по сравнению с REB.

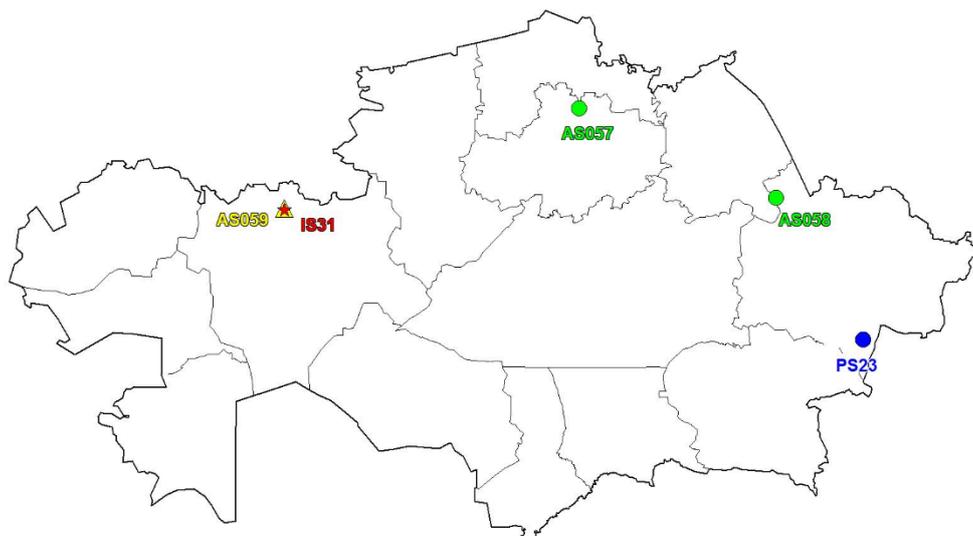
### ВВЕДЕНИЕ

Казахстанский сегмент Международной системы мониторинга (МСМ) ОДВЗЯИ (Организации Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний) представлен пятью станциями – четырьмя сейсмическими и одной инфразвуковой. В числе сейсмических станций - одна станция первичной системы мониторинга (Маканчи PS-23) и три вспомогательных (Боровое AS-57, Курчатов AS-58, Актюбинск

AS-59). Инфразвуковая станция мониторинга – это станция Актюбинск IS-31. Данные всех станций используются в Международном центре данных (МЦД) при составлении сейсмических бюллетеней различной оперативности, в том числе обзорного бюллетеня событий REB. На рисунке 1 показана сводная карта расположения всех станций, входящих в систему МСМ, на рисунке 2 - казахстанские станции системы МСМ.



Рисунок 1. Карта расположения всех станций МСМ



Станции: PS23- первичная сейсмическая группа (СГ) Маканчи; AS058 - вспомогательная СГ Курчатов-Крест; AS057 - вспомогательная СГ Боровое; AS059 - вспомогательная 3-х компонентная станция Актюбинск; IS31-инфразвуковая станция Актюбинск

Рисунок 2. Расположение казахстанских станций, входящих в систему МСМ

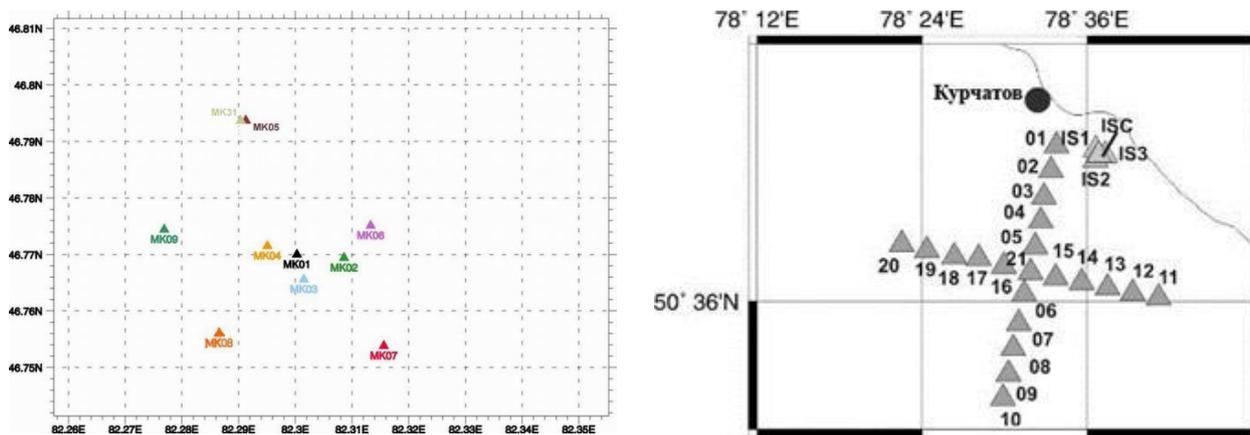


Рисунок 3. Конфигурация первичной сейсмической группы Маканчи (слева) и вспомогательной сейсмической группы Курчатов-Крест (справа)

### СЕЙСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ

Сейсмические группы в Казахстане представлены станциями разной конфигурации, апертюры с разным количеством элементов в группе. На рисунке 3 приведены примеры конфигураций двух сейсмических групп: Маканчи (MKAR) и Курчатов-Крест (KURK). Группа Маканчи имеет апертюру 4 км, состоит из 9 однокомпонентных станций с вертикальными сейсмометрами и одним трехкомпонентным сейсмометром. Все элементы группы расположены условно по двум окружностям разного диаметра. Группа Курчатов-Крест имеет апертюру 21 км, состоит из 21 вертикального сейсмометра и одного трехкомпонентного сейсмометра в центре группы. Сейсмометры расположены вдоль двух взаимно перпендикулярных профилей.

В состав сети сейсмического мониторинга, находящейся под оперативным управлением Института

геофизических исследований (рисунок 4), кроме станций МСМ, входят станции, интегрированные в другие глобальные сети: Каратау (KKAR) на юге Казахстана, Акбулак (ABKAR) на западе Казахстана, - созданные совместно с AFTAC (США) и входящие в сеть мониторинга AFTAC. Эти станции также являются сейсмическими группами и имеют конфигурацию, аналогичную конфигурации группы Маканчи. В состав сети мониторинга входят три трехкомпонентные станции сети GSN (Global Seismographic Network), созданной консорциумом IRIS (Incorporated Research Institutions Seismology): Маканчи (MAKZ), Боровое (BRVK) и Курчатов (KURK). Кроме станций мировых сетей имеются станции, поддерживаемые только Институтом геофизических исследований: KNDC, Подгорное – PDGK и Ортау - OTUK (рисунок 4).

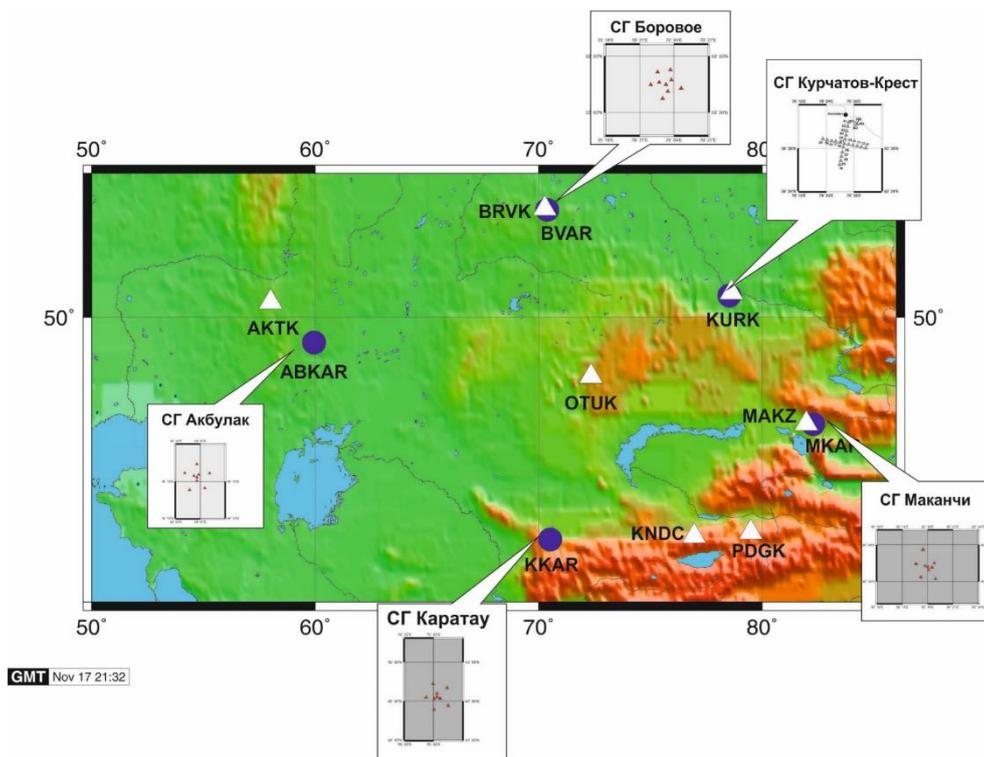


Рисунок 4. Сеть сейсмических станций сети мониторинга, работающая под управлением Института геофизических исследований на территории РК

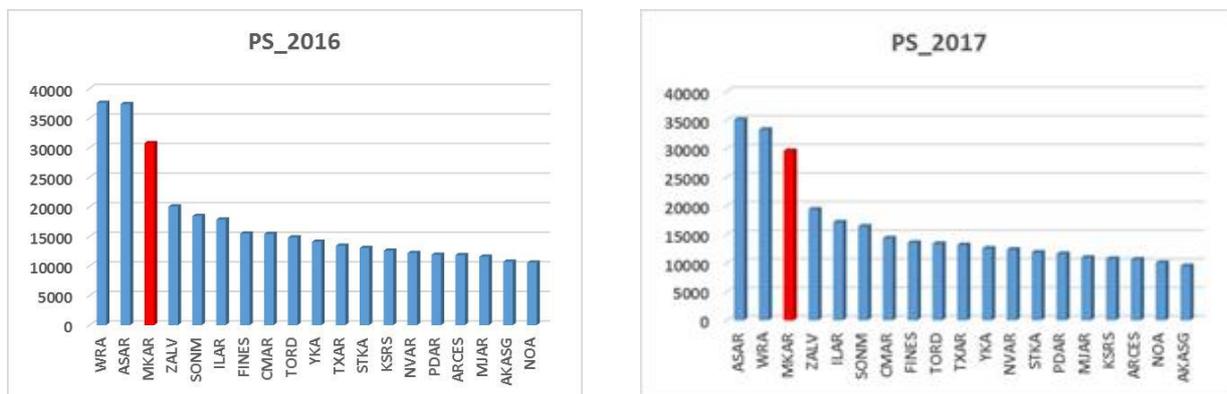


Рисунок 5. Распределение первичных станций МСМ по количеству ассоциированных фаз в бюллетене REB за 2016 (слева) и 2017 (справа) годы

Данные станций сейсмического мониторинга в режиме реального времени поступают в Центр данных в г. Алматы, являющийся Казахстанским национальным центром данных в системе МСМ. В Международном центре (МЦД) в г. Вена данные станций Казахстана используются при обработке сейсмических событий, происходящих на земном шаре. Эффективность казахстанских станций в этой деятельности МЦД может быть оценена по их участию в бюллетене событий REB (Reviewed Event Bulletin) [1, 2] – рисунок 5. По числу ассоциированных фаз в бюллетене REB 2016 и 2017 гг. сейсмическая группа Маканчи занимает третье место среди 50 первичных станций МСМ.

Во вспомогательную сеть станций МСМ входят 120 станций как сейсмических групп, так и трехкомпонентных станций. На рисунке 6 показано распределение вспомогательных станций по их вкладу в бюллетень REB в 2016 и 2017 гг. Сейсмическая группа AS058-Курчатов-Крест (KURK) занимает первое место, сейсмическая группа AS057-Боровое (BVAR) также в числе лучших в 2017 г. (в 2016 г. проведены ремонт и замена трехкомпонентного сейсмометра, что сказалось на эффективности ее работы). Трехкомпонентная станция AS059-Актюбинск (AKTO) также весьма полезна в мониторинге и находится в числе 10–12 лучших из 120.

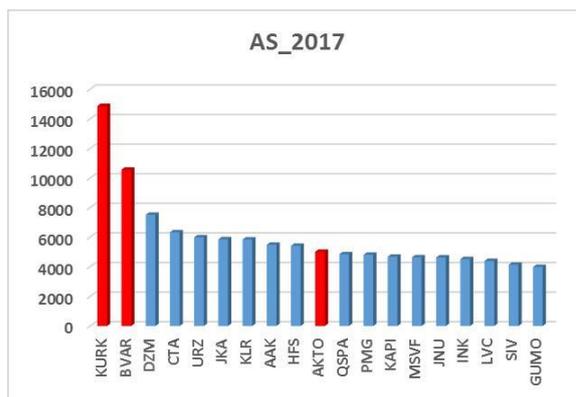
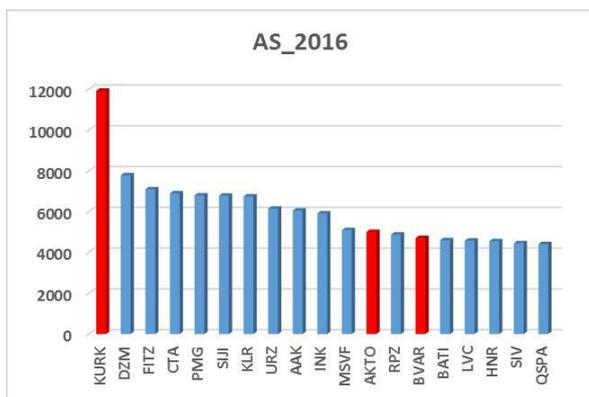
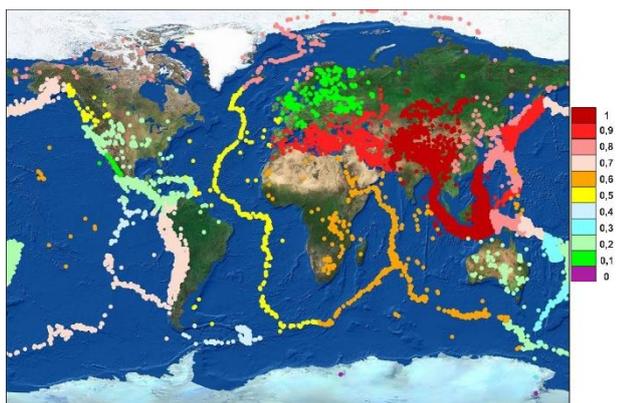


Рисунок 6. Распределение вспомогательных станций МСМ по количеству ассоциированных фаз в бюллетене REB за 2016 (слева) и 2017 (справа) годы

Станции Казахстана участвуют в обнаружении и обработке записей событий, происходящих на всем земном шаре, но при этом события с разными азимутами и расстояниями имеют нижний порог по магнитуде, начиная с которого более слабые события станцией не регистрируются [3]. Поэтому разные регионы мира по-разному отражаются в данных каждой станции. В качестве примера ниже рассмотрена станция Маканчи. В 2017 г. эта станция зарегистрировала всего 21 979 событий. За этот же период бюллетень REB включал 34 658 событий. На рисунке 7 цветовой шкалой показано отношение количества событий с участием данной станции Маканчи к общему количеству событий, вошедших в бюллетень REB для данного региона. Как видно из рисунка 7, данные станции Маканчи участвовали в характеристике практически во всех событиях альпийского пояса, Центральной и Восточной Азии, большей части тихоокеанского пояса. Здесь ее участия составляла 0,8–1,0 (красные, бордовые и розовые эпицентры).



Цветовая шкала определяет долю событий, зарегистрированных ст. Маканчи, от общего количества событий в данном регионе из REB

Рисунок 7. Карта эпицентров сейсмических событий из бюллетеня REB за 2017 г., в обработке которых участвовали данные сейсмической группы Маканчи

На рисунке 8 представлена карта минимальных магнитуд  $m_b$  сейсмических событий из разных реги-

онов, регистрируемых сейсмической группой Маканчи, из которой следует, что территория Центральной Азии характеризуется минимальной магнитудой на уровне 3.5–4. Эффективность сейсмической группы относительно событий в удаленных районах южного полушария и в некоторых районах вдоль побережья Северной и Южной Америки недостаточно высока.

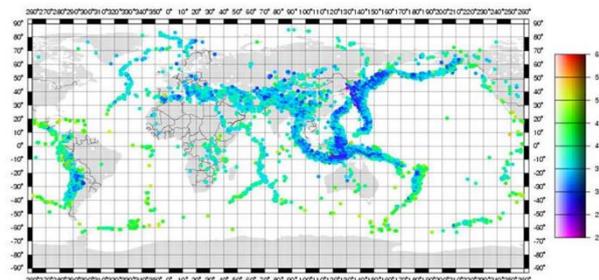
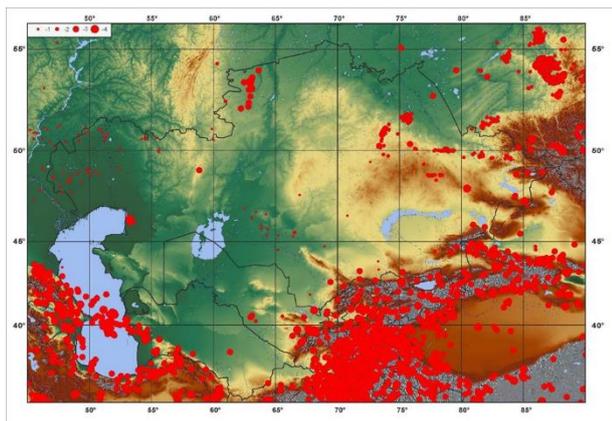


Рисунок 8. Карта минимальных магнитуд сейсмических событий, регистрируемых сейсмической группой Маканчи

Детально рассмотрен регион Центральной Азии (ЦА) по результатам двух центров обработки: МЦД (бюллетень REB) и KNDC (бюллетень KNDC), – в сейсмическом и инфразвуковом мониторинге. Количество событий в бюллетене KNDC (рисунок 9) больше, чем в REB (рисунок 10), так как KNDC-бюллетень составляется по большему количеству станций региональной сети.

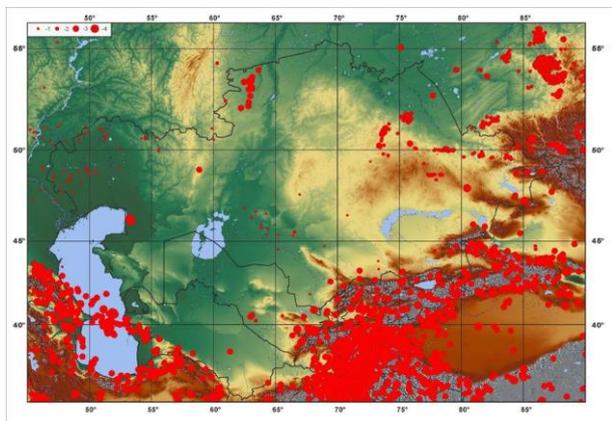
В бюллетене REB за 2016–2017 гг. имеется 398 сейсмических событий на территории ЦА, представительная магнитуда которых – 3,7, минимальная зарегистрированная магнитуда – 2,8. В бюллетене KNDC сейсмических событий для этой же территории – 13 839, представительная магнитуда – 3,0, минимальная зарегистрированная магнитуда – 0,3. Следует отметить, что в двух центрах (МЦД и КНЦД) для классификации землетрясений используются близкие по смыслу, но все-таки отличающиеся по используемым калибровочным функциям и методикам определения магнитуды: в REB – магнитуда определяется по объемным Р-волнам по калибровочной

кривой Вейта-Клауссона  $m_b$ , в KNDC – магнитуда определяется по объемным Р-волнам по региональной калибровочной кривой Михайловой, Неверовой  $m_{pv}$ . По зарегистрированным и обработанным в обоих центрах пересекающимся событиям была построена эмпирическая зависимость между двумя типами магнитуд  $m_b$  и  $m_{pv}$  (рисунок 11), из которой следует, что значения магнитуды для одних и тех же событий, определенные в двух Центрах, не совпадают. Имеется систематическое занижение примерно на 0,7 магнитуды событий в REB по сравнению с KNDC.



-  $m_{pv} < 2$ ;  $2 \leq m_{pv} < 4$ ;  $4 \leq m_{pv} < 6$ ;  $6 \leq m_{pv}$

Рисунок 9. Центральная Азия. Эпицентры событий из бюллетеня KNDC за 2016–2017 гг



1 - 4 –  $m_b < 2$ ;  $2 \leq m_b < 4$ ;  $4 \leq m_b < 6$ ;  $6 \leq m_b$

Рисунок 10. Центральная Азия. Эпицентры событий из бюллетеня REB за 2016–2017 гг.

Если выделить события, которые имеют магнитуду выше представительной и поэтому должны быть зарегистрированы обеими сетями и включены в бюллетень, то выясняется, что пропущенные события есть в обоих каталогах. В бюллетене REB по сравнению с KNDC пропущено (рисунок 12, сиреневые кружки) около 50 событий, в бюллетене KNDC (рисунок 12, зеленые кружки) – пропущено 17 событий.

Оценка реальной точности локализации эпицентров в REB, которая возможна только по эталонным событиям, проведена для трех регионов: Западного

Казахстана - при сопоставлении данных специальной локальной сети мониторинга и данных REB, Северного Тянь-Шаня, где существует плотная сеть станций СОМЭ МОН РК (Сейсмологическая опытно-методическая экспедиция Министерства образования РК) и РГП ИГИ, а также северо-востока Казахстана по взрывам в карьере Каражыра на бывшем Семипалатинском испытательном полигоне (рисунок 13).

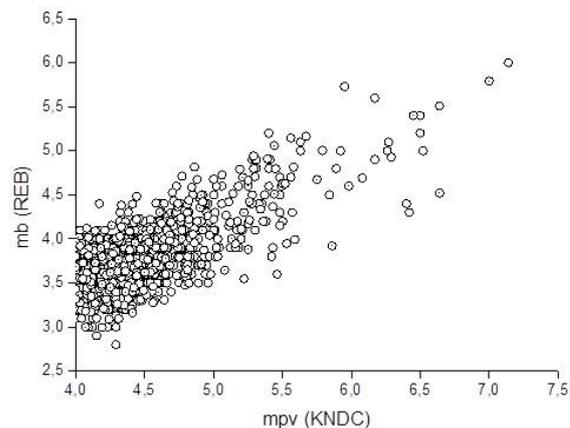


Рисунок 11. Центральная Азия. Соотношение между  $m_b$  REB и  $m_{pv}$  KNDC

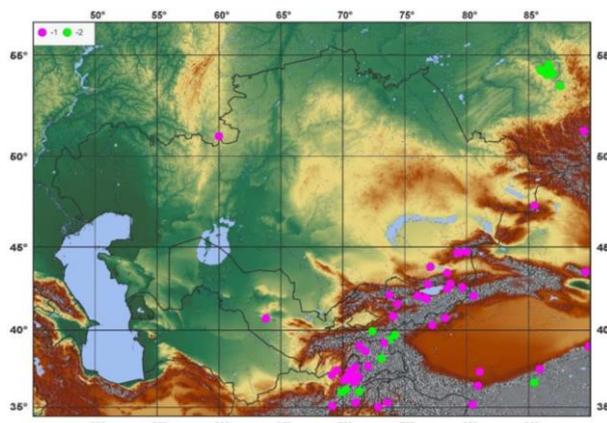


Рисунок 12. Центральная Азия. Карта эпицентров сейсмических событий, пропущенны в каталогах REB (●) и KNDC (●)

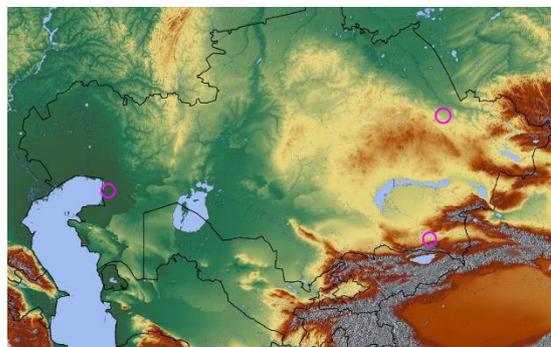


Рисунок 13. Три района с эталонными событиями для оценки реальной точности определения координат эпицентра событий в REB (○)

Для Западного Казахстана среднее отклонение по данным об 11 событиях бюллетеня REB составляет 7 км (рисунок 14). Это является хорошим результатом, который объясняется достаточно хорошим окружением данного региона станциями MCM (рисунок 15).

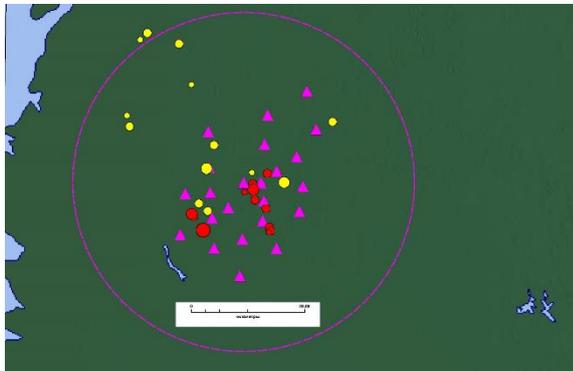


Рисунок 14. Расположение эпицентров эталонных событий в Западной Казахстане (●) и их эпицентров в бюллетене REB. Радиус круга 20 км



Рисунок 15. Расположение станций MCM (▲) относительно эпицентральной зоны в Западной Казахстане (●)

Для Северного Тянь-Шаня расхождение между реальным эпицентром эталонного события (Капчагайское землетрясение 1.05.2011 в 02.31.29 с  $M_s=4,6$ ) и решением МЦД составило 3,9 км. Для северо-востока Казахстана среднее расхождение между эпицентрами 100 событий и эталонного взрыва в карьере Каражыра составило 5 км.

#### ИНФРАЗВУКОВОЙ МОНИТОРИНГ

В глобальный бюллетень REB включаются данные одной инфразвуковой казахстанской станции – IS31-Актюбинск, входящей в состав MCM. Ее конфигурация показана на рисунке 16, система шумоподавления – на рисунке 17.

Всего в MCM функционируют 60 инфразвуковых станций. На рисунке 18 приведено распределение инфразвуковых станций MCM по количеству ассоциированных фаз в бюллетене REB за 2016–2017 гг., из которого следует, что по этому показателю казахстанская станция IS31KZ (IS31-Актюбинск) находится на третьем месте как в 2016 г., так и в 2017 г.

Региональный бюллетень KNDC составляется с использованием данных четырех инфразвуковых станций: трех – на территории Казахстана (IS31-Актюбинск, Курчатова, Маканчи) и одной станции России - IS46-Залесово (рисунок 19).

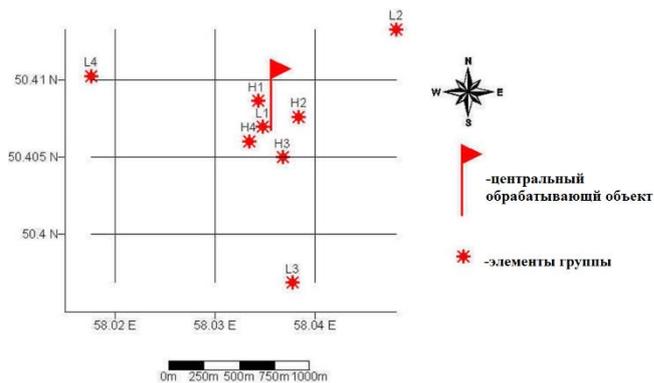


Рисунок 16. Конфигурация инфразвуковой станции IS31-Актюбинск

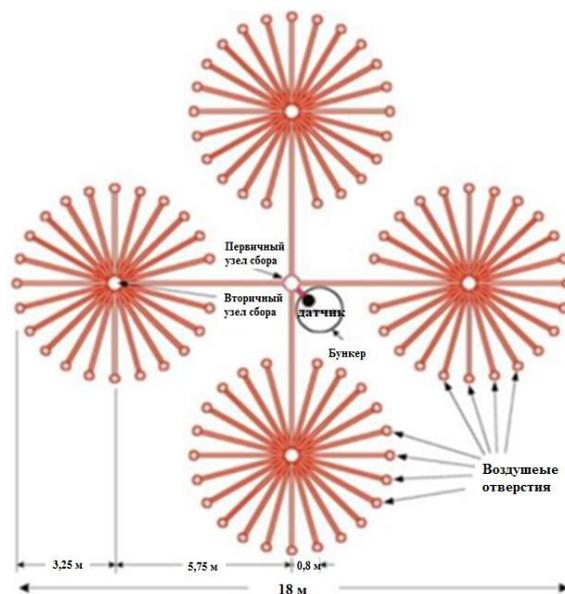


Рисунок 17. Конфигурация системы шумоподавления на инфразвуковой станции IS31-Актюбинск

Проведено сравнение событий из инфразвуковых бюллетеней REB и KNDC для территории Центральной Азии.

Результаты локализации эпицентров инфразвуковых событий по четырем станциям за 2017 г. показаны на рисунке 20. Сеть регистрируется и обнаруживается большое количество карьерных взрывов на территории Казахстана, на пограничной территории России и Китая, а также события, связанные с запусками ракет-носителей с космодрома Байконур [4, 5]. Из бюллетеня REB для территории Центральной Азии за 2017 г. (рисунок 21) выбраны те события, которые зафиксированы до 9 инфразвуковыми станциями (рисунок 22), включая и две станции, данные которых входят в бюллетень KNDC (IS31, IS46). Сравнивая рисунки 20 и 21, можно отметить, что количество событий в бюллетене REB в целом меньше, чем в бюллетене KNDC, но зафиксировано больше событий в районе космодрома Байконур и меньше карьерных взрывов.

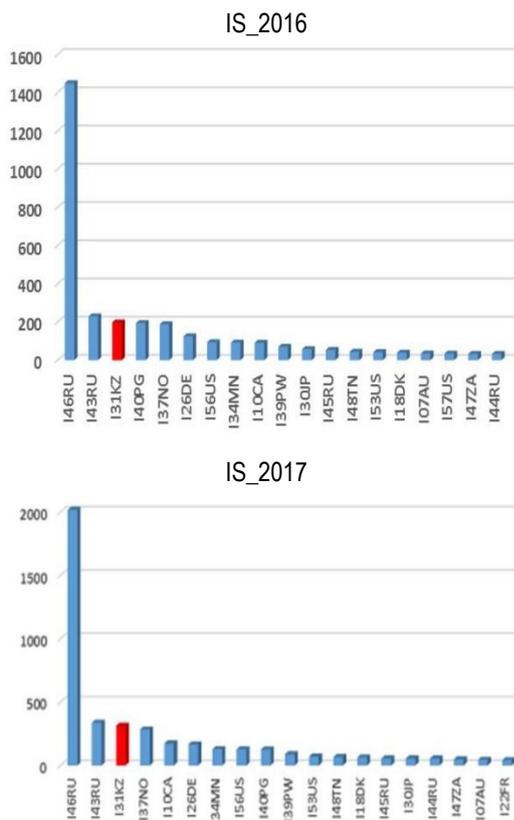
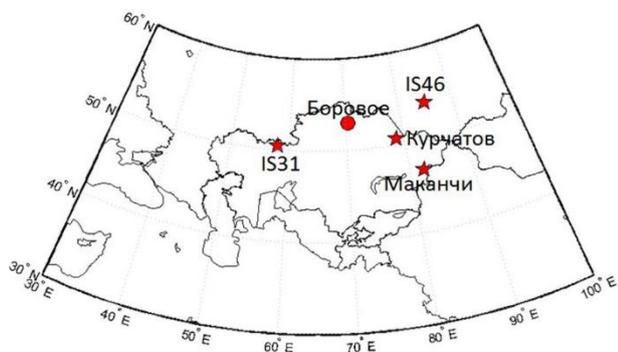


Рисунок 18. Распределение инфразвуковых станций системы МСМ по количеству ассоциированных фаз в бюллетене REB



★ – инфразвуковая станция, данные которой поступают в центр данных в реальном времени; ● – инфразвуковая станция Боровое, находящаяся на модернизации. Казахская станция IS31 и российская IS46 входят в состав МСМ

Рисунок 19. Сеть инфразвуковых станций, по которым составляется бюллетень KNDC

Таким образом, два бюллетеня – региональный KNDC и глобальный REB, – для территории Центральной Азии дополняют друг друга данными по инфразвуковым событиям. Предоставляемая странам – участникам ДВЗЯИ возможность доступа к продуктам МЦД – это возможность исследователям в регионах расширить представление о картине происходящих событий.

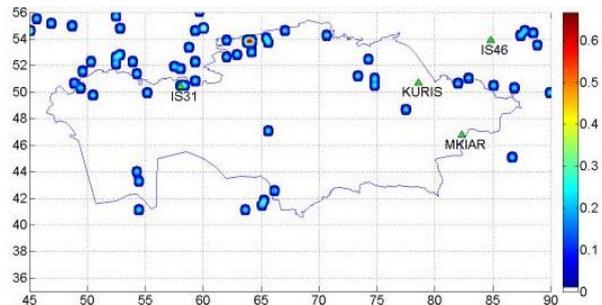


Рисунок 20. Карта плотности инфразвуковых событий из бюллетеня KNDC. 2017 г.

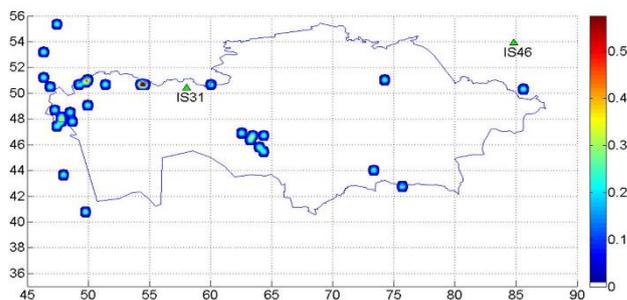


Рисунок 21. Карта плотности инфразвуковых событий из бюллетеня REB. 2017 г.



Рисунок 22. Сеть инфразвуковых станций МСМ, по данным которых отобраны события в бюллетене REB для территории Центральной Азии

**НАИБОЛЕЕ ВАЖНЫЕ СОБЫТИЯ, ЗАРЕГИСТРИРОВАННЫЕ КАЗАХСТАНСКИМИ СТАНЦИЯМИ СЕЙСМИЧЕСКОГО И ИНФРАЗВУКОВОГО МОНИТОРИНГА В ПОДДЕРЖКУ ДВЗЯИ**

Сейсмическими станциями мониторинга Казахстана зарегистрированы шесть ядерных испытаний, проведенных в последние годы Северной Кореей - в 2006, 2009, 2013, 2016 (два взрыва) и в 2017 гг. Несмотря на то, что станции РГП ИГИ находятся на телесеismicких расстояниях от северокорейского ядерного полигона Пунгери (в диапазоне 3725 - 5350 км) и в узком створе азимутов, все взрывы были обнаружены, локализованы. Проведена оценка магнитуды и эквивалентной мощности этих взрывов. Данные казахстанских станций были использованы различными сейсмологическими агентствами при определении параметров взрывов. Наиболее сильным был

взрыв 03.09.2017 г. с магнитудой  $m_b=6.3$ . На рисунке 23 показана сеть станций РГП ИГИ относительно полигона Пунгери и записи вертикальной компоненты взрыва 03.09.2017 г.

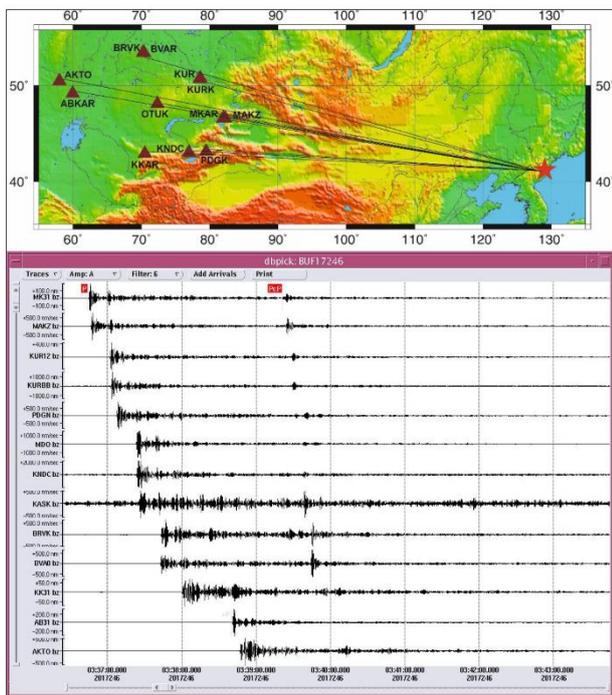


Рисунок 23. Сеть станций и записи ядерного испытания в Северной Корее 3.09.2017 г.

Из событий, зарегистрированных инфразвуковой сетью станций, сильнейшим был взрыв болида вблизи Челябинска. Как отмечено в пресс-релизе ОДВЗЯИ, «...болид, упавший на территории России

15.02.2013 г, является самым большим событием, когда-либо зарегистрированным инфразвуковыми датчиками ОДВЗЯИ». Наиболее интенсивные инфразвуковые сигналы зарегистрированы казахстанской станцией IS31-Актюбинск (рисунок 24).

**Выводы**

1. Все четыре сейсмические станции РГП ИГИ, входящие в систему сейсмического мониторинга МСМ (Маканчи PS-23, Боровое AS-57, Курчатов AS-58, Актюбинск AS-59) являются очень эффективными при обнаружении, обработке событий и составлении бюллетеня Международного центра данных REB.

2. Анализ бюллетеней по территории Центральной Азии демонстрирует представительность бюллетеня REB по магнитуде  $m_b=3.7$  и достаточно хорошую точность при локализации событий. Сравнение значений  $m_b$  и  $m_{rv}$  для одних и тех же событий из двух бюллетеней показывает систематическое занижение объемных магнитуд в глобальном бюллетене по сравнению с региональным.

3. По данным 2016 г. и 2017 г. имеются пропуски событий с магнитудой выше представительной как в одном, так и в другом бюллетенях. Оба бюллетеня хорошо дополняют друг друга.

4. Инфразвуковая станция Актюбинск IS-31 показала высокую эффективность участия в бюллетене REB среди 60 станций МСМ по количеству ассоциированных сигналов.

5. Казахские станции мониторинга успешно зарегистрировали все шесть проведенных в Северной Корее ядерных испытаний, их данные использовались в различных агентствах и международных центрах данных.

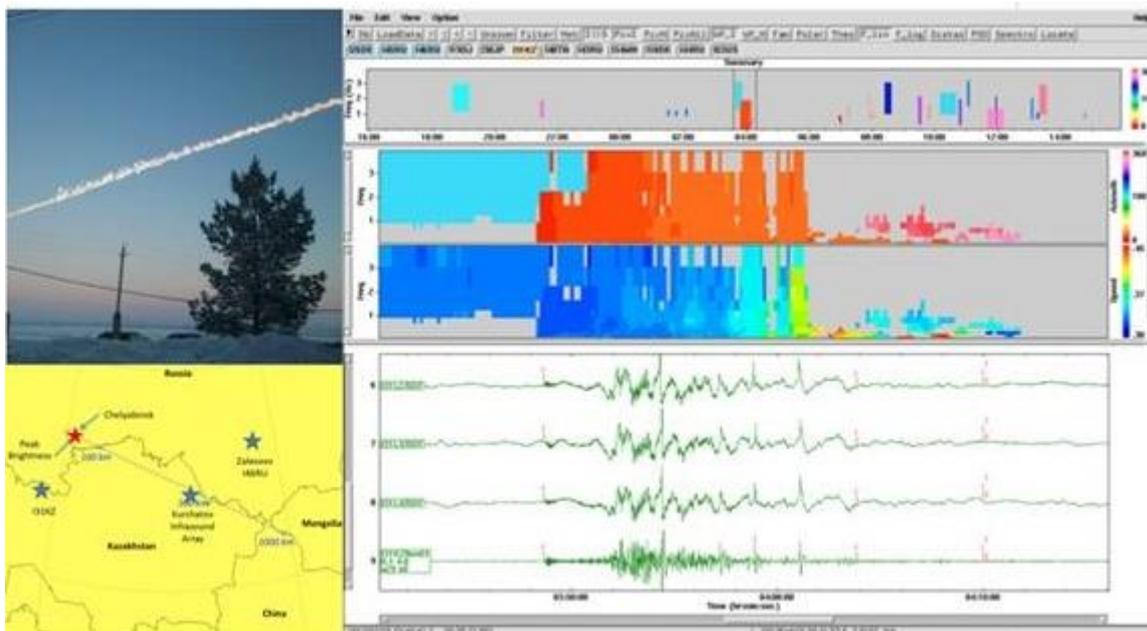


Рисунок 24. К регистрации взрыва Челябинского болида 15.02.2013 г. станцией IS31-Актюбинск

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Синёва, З.И. Оценка эффективности казахстанских станций ядерного мониторинга / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. – С. 12–17.
2. Синёва, З.И. Участие казахстанского национального центра данных в оценке эффективности сейсмического мониторинга в рамках ОДВЗЯИ / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – Вып. 1. – С. 10–15.
3. Синёва, З.И., Михайлова Н.Н. Сравнительный анализ времен вступлений и амплитуд региональных сейсмических фаз по данным бюллетеней REB и KNDC / З.И. Синёва, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2. С. 64–71.
4. Дубровин, В.И. Поиск источников инфразвуковых сигналов по данным станций Института геофизических исследований / В.И. Дубровин, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – Вып. 4. – С. 60–64.
5. Дубровин, В.И. Первые результаты инфразвукового мониторинга центральноазиатской сетью станций / В.И. Дубровин, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 3. – С. 78–81.

**ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ЖҮЙЕНІҢ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ  
ЖАҒАНДЫҚ ЖӘНЕ АЙМАҚТЫҚ МОНИТОРИНГІНЕ ҮЛЕСІ**

**Н.Н. Михайлова, А.С. Мукамбаев, А.А. Смирнов**

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатова, Қазақстан*

Халықаралық деректер орталығының REB бюллетеніне (тексерілген оқиғалар бюллетені) байланыстырылған фазалар саны бойынша Халықаралық мониторингі жүйесінің (ХМЖ) басқа станцияларымен салыстырғанда Қазақстан станцияларының үлесі қорытындалған. Қазақстанның барлық станциялары, сейсмикалық пен инфрадыбыстық, мониторингте жеткілікті тиімді болуы және бірінші орындарын алатыны көрсетілген. Бұл, әлемдегі оқиғалардың эпиорталықтарын карталау нәтижелерімен, сондай-ақ минималь магнитуда және, қазақстандық станциялары қатысумен айқындалған оқиғалардың саны REB бюллетеніндегі оқиғалардың жалпы санына қатынасы параметрлерімен расталады. REB нәтижелері мен қазақстандық ұлттық деректер орталығының бюллетендерінде – сейсмикалық және инфрадыбыстық – Орталық Азияның (ОА) аймағы түбегейлі қарастырылған, жергіліктеудің нақты дәлдігін бағалау үлгілерімен.

ОА бойынша KNDC-тің инфрадыбыстық бюллетені REB бюллетенімен салыстырылған. KNDC бюллетенінде жергіліктеуі төрт инфрадыбыстық станцияларының, бір ресейлік Залесово станциясын қоса, деректері бойынша жүргізілген. KNDC бюллетенінде REB бюллетенімен салыстырғанда оқиғалар саны көбірек болуы белгіленген.

**CONTRIBUTION OF KAZAKHSTAN STATIONS OF THE INTERNATIONAL SYSTEM  
INTO GLOBAL AND REGIONAL MONITORING**

**N.N. Mikhailova, A.S. Mukambayev, A.A. Smirnov**

*Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan*

The contribution of Kazakhstani stations has been summarized in comparison with other stations of the International Monitoring System (IMS) in a number of associated phases into the REB bulletin (Reviewed Events Bulletin) of the International Data Center (IDC). It has been demonstrated that all stations of Kazakhstan, both seismic and infrasound ones, are quite effective in monitoring and take one of the first places. This is confirmed by the results of mapping of the epicenters of the events of the world as well as such parameters as minimum amplitude and proportion of a number of events detected with participation of Kazakhstani stations to the general number of events in REB. The region of Central Asia (CA) has been considered in detail in the REB results as well as bulletins of Kazakhstan National Data Center (KNDC) – seismic and infrasound – with examples of estimate of real-time accuracy of locations.

Infrasound bulletin of events of KNDC on CA has been compared with REB. In KNDC bulletin the location has been implemented as per data of four infrasound stations, including one Russian station Zalesovo. A larger number of events has been noted in KNDC bulletin in comparison with the REB one.

УДК 550.34.097

## ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА СЕЙСМОГРАММ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БАЙКАЛЬСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

1, 2) Добрынина А.А., 1, 3) Саньков В.А., 4) Чечельницкий В.В.

<sup>1)</sup> Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2)</sup> Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

<sup>3)</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

<sup>4)</sup> Байкальский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», Иркутск, Россия

Представлены первые результаты обработки оцифрованных сейсмограмм 10 подземных ядерных взрывов мощностью от 3,2 до 15 кт, произведенных в 1976–1987 гг. в бывшем Советском Союзе на территории Иркутской области, Забайкальского края (Восточная Сибирь) и республики Саха в научных и коммерческих целях. События были зарегистрированы региональной сетью станций, локализованной в пределах Байкальской рифтовой системы и на прилегающих территориях на расстоянии от 173 до 1407 км. По данным о временах первых вступлений получен региональный годограф основных сейсмических фаз (прямые и отраженные от границы Мохо продольные и поперечные волны), определены значения скорости сейсмических волн в земной коре и верхней мантии для всего региона и для трех крупных тектонических структур: Сибирской платформы, Байкало-Патомского нагорья и Забайкальского блока. Полученные значения скорости хорошо согласуются с известными данными о скоростном строении земной коры и верхней мантии Байкальского рифта.

### ВВЕДЕНИЕ

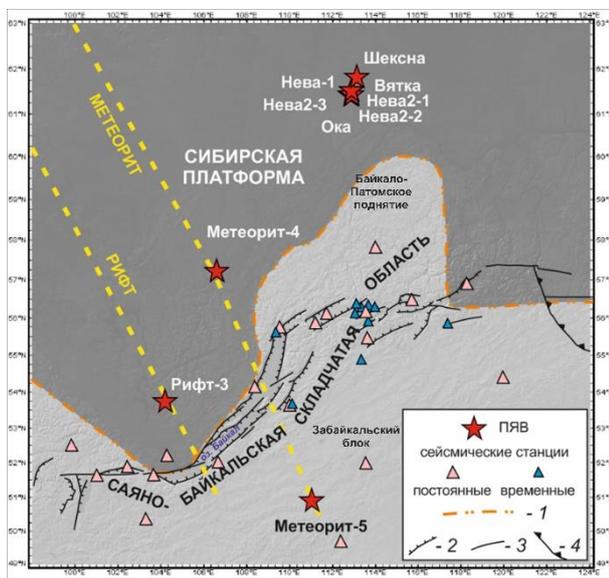
В течение 1976–1987 гг. в бывшем Советском Союзе на территории Иркутской области и Забайкальского края (Восточная Сибирь), а также республики Саха было произведено 10 подземных ядерных взрывов (ПЯВ) (рисунок 1).

На территории Иркутской области и Забайкальского края взрывы были произведены с научной целью и вошли в состав сверхдлинных профилей глубинного сейсмического зондирования «Рифт» и «Метеорит» (3 взрыва) [1]. Остальные 7 взрывов, локализованные на юго-западе республики Саха, имели коммерческое применение (увеличение добычи нефти, строительство нефтехранилища и пр.) [2]. Мощность взрывов варьировала от 3,2 до 15,0 кт (1 килотонна в тротиловом эквиваленте =  $4,184 \cdot 10^{12}$  Дж) (таблица 1) [3].

Взрывы были зарегистрированы региональной сетью сейсмических станций, действовавшей на территории Байкальской рифтовой системы (БРС) и прилегающих областей (современный международный код BAGSR). Известен ряд работ, посвященных исследованию взрывов в республике Саха («Шексна», «Ока», «Вятка», серия взрывов «Нева») по данным Якутской региональной сети сейсмических станций [2, 4]. Однако до настоящего времени данные Байкальской сети для обработки ПЯВ не привлекались. В статье представлены первые предварительные результаты анализа сейсмограмм ПЯВ, полученных региональной Байкальской сетью сейсмических станций.

### ИССЛЕДУЕМЫЙ РЕГИОН

На территории исследуемого региона структура первого порядка являются архейско-протерозойская Сибирская платформа и Саяно-Байкальская складчатая область. Кайнозойская Байкальская рифтовая система (БРС) наложена на обе эти древние структуры (рисунок 1).



■ – Сибирская платформа; --- – сверхдлинные сейсмические профили «Рифт» и «Метеорит»; 1 – граница между Сибирской платформой и Саяно-Байкальской складчатой областью; (2–4) – разломы: 2 – сбросы, 3 – сдвиги, 4 – взбросы и надвиги

Рисунок 1. Расположение эпицентров подземных ядерных взрывов и сейсмических станций Байкальской сети

**ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
АНАЛИЗА СЕЙСМОГРАММ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БАЙКАЛЬСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

*Таблица 1. Параметры исследуемых ПЯВ*

№	Дата	Время взрыва	С.Ш.	В.Д.	h, км	mb	у, кт	Название	Источник	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1	11/05/76	04:00:00,0	61,458	112,86	1,522		15	Ока	[3]	
		03:59:56,7	61,5280	112,7119	0,0	5,3			NEIS	
		03:59:59,98	61,4580	112,8600	1,5				[8]	
		03:59:59,98	61,4608	112,8952	1,5 f	5,4			IASPEI	
		04:00:22,0	64,00	109,00		5,4			HFS	
		03:59:56,89	61,5241	112,7288	0,0	5,3			ISC	
			61,4608	112,8592					[9]	
		03:59:54,8	61,722	112,288	1,5				Данная статья	
2	08/10/77	22:00:00,1	50,955	110,982	0,494		8.5	Метеорит-5	[3]	
		22:00:01,83	50,9477	110,7815	18,7	5,0			ISC	
		21:59:52,00	50,00	111,00		5,3			HFS	
		21:59:58,8	50,923	110,7609	2,0	5,2			NEIS	
		22:00:00,10	50,955	110,983	0,5	5,0			IASPEI	
		22:00:00,10	50,955	110,983	0,5				[8]	
			52,2	110,2					[1]	
		21:59:56,2	50,969	111,335	0,5				Данная статья	
3	09/10/77	16:00:00,2	57,251	106,551	0,55		7.6	Метеорит-4	[3]	
		16:00:03,3	57,294	106,2399	33	4,8			NEIS	
		16:00:03,31	57,2884	106,2338	33	4,8			ISC	
		16:00:11,0	57,00	103,00		5,0			HFS	
		16:00:00,18	57,251	106,551	0,6				[8]	
		16:00:00,18	57,251	106,551	0,6	4,8			IASPEI	
			56,90	107,10					[1]	
			57,2583	106,5565					[9]	
16:00:03,23	56,999	107,112	0,6		Данная статья					
4	10/08/78	00:00:00,0	61,55	112,85	1,545		15	Вятка	[3]	
		23:59:55,0	62,00	113,00		5,5			HFS	
		23:59:56,80	61,5230	112,8829	0,0	5,2			NEIS	
		23:59:58,7	61,526	112,983	0,0				[8]	
		00:00:00,0	61,5565	112,9922	1,5 f	5,2			IASPEI	
		00:00:01,0	61,800	112,6999	0,0	5,0			NAO	
		10/07/78	23:59:56,96	61,5333	112,8737	0,0			5,2	ISC
		10/07/78		61,5565	112,9922					[9]
10/07/78	23:59:59,5	61,556	112,753	1,5		Данная статья				
5	10/07/79	21:00:00,2	61,85	113,10	1,545		15	Шексна	[3]	
		20:59:56,9	61,854	113,0899	0,0	4,9			NEIS	
		20:59:58,88	61,839	113,1730	0,0				[8]	
		21:00:00,22	61,7679	113,1554	1,5 f	5,0			IASPEI	
		20:59:57,08	61,8515	113,1167	0,0	5,0			ISC	
			61,7679	113,1554					[9]	
20:59:59,2	61,741	112,686	1,5		Данная статья					
6	07/30/82	21:00:00,0	53,80	104,15	0,554		8.5	Рифт-3	[3]	
		21:00:02,94	53,8043	104,1426	38,3	5,0 MS=4,0			ISC	
		21:00:02,20	53,8130	104,1320	33,0	5,1 MS=3,8			NEIS	
		20:59:59,52	53,8100	104,1310	0,0				[8]	
		21:00:02,10	53,9000	104,2000					PEK	
			54,3	104,1					[1]	
	53,7696	104,1048			[9]					

**ПОДЗЕМНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ВЗРЫВЫ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ И РЕСПУБЛИКЕ САХА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ  
АНАЛИЗА СЕЙСМОГРАММ НА ОСНОВЕ ДАННЫХ БАЙКАЛЬСКОЙ СЕТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ**

№	Дата	Время взрыва	С.Ш.	В.Д.	h, км	mb	у, кт	Название	Источник	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
7	10/10/82	05:00:00,2	61,5500	112,8500	1,502		15	Нева 1	[3]	
		04:59:36,00	60,1000	117,1000		5,5			HFS	
		04:59:51,90	62,3000	113,5000		4,4			PEK	
		04:59:56,70	61,5530	112,8640	0,0	5,3			NEIS	
		04:59:58,74	61,5330	112,9310	0,0				[8]	
		05:00:00,00	59,4000	107,7000	0,0	5,1			NAO	
		05:00:00,23	61,5006	112,9110	1,5 f	5,3			IASPEI	
		04:59:56,88	61,5291	112,8632	0,0	5,3			ISC	
			61,5006	112,9110					[9]	
	04:59:59,1	61,529	112,268	1,5		Данная статья				
8	07/07/87	00:00:00,0	61,5000	112,8500	1,502		15	Нева 2-1	[3]	
		07/06/87	23:59:46,00	60,3000	115,9000				5,6	HFS
		07/06/87	23:59:56,70	61,5010	112,8030	0,0			5,1	NEIC
		07/06/87	23:59:58,65	61,4860	112,9100	0,0				[8]
		07/06/87	23:59:59,90	61,5000	113,2000					PEK
			00:00:00,00	61,5000	112,4000	0,0			5,2	NAO
			00:00:00,00	61,4317	112,8860	1,5 f			5,2	IASPEI
		07/06/87	23:59:56,93	61,5014	112,8252	0,0			5,1	ISC
				61,4317	112,8860					[9]
	07/06/87	23:59:58,3	61,497	112,693	1,5		Данная статья			
9	07/24/87	02:00:00,0	61,4500	112,8000	1,515		15	Нева 2-2	[3]	
		01:59:55,70	61,5000	112,7000		4,5			PEK	
		01:59:56,80	61,4780	112,7530	0,0	5,1			NEIC	
		01:59:58,69	61,4590	112,8770	0,0				[8]	
		02:00:00,00	61,5000	112,4000	0,0	5,2			NAO	
		02:00:00,00	61,4172	112,8927	1,5 f	5,1			IASPEI	
		02:00:09,00	62,7000	112,7000		5,3			HFS	
		01:59:56,93	61,4574	112,7819	0,0	5,1			ISC	
				61,4172	112,8927					[9]
	01:59:58,5	61,491	113,115	1,5		Данная статья				
10	08/12/87	01:30:00,5	61,4500	112,8000	0,815		3.2	Нева 2-3	[3]	
		01:29:44,00	60,1000	116,4000		5,5			HFS	
		01:29:55,90	61,5000	113,1000					PEK	
		01:29:56,80	61,4550	112,7600	0,0	5,0			NEIC	
		01:29:58,76	61,4410	112,8760	0,0				[17]	
		01:30:00,00	61,5000	112,4000	0,0	4,9			NAO	
		01:30:00,50	61,4266	112,8879	0,8 f	5,0			IASPEI	
		01:29:57,05	61,4592	112,7887	0,0	5,0			ISC	
				61,4266	112,8879					[9]
	01:29:59,9	61,435	112,949	0,8		Данная статья				

*Примечание:* в графах таблицы по взрывам даны: 1 – порядковый номер; 2 – дата (в формате месяц/день/год); 3 – время (в формате UTC); 4, 5 – координаты эпицентра (С.Ш. и В.Д.); 6 – глубина (буква f обозначает, что расчеты координат и времени велись для фиксированной глубины); 7 – магнитуда; 8 – мощность взрыва, 9 – название, 10 – источник с аббревиатурой, обозначающей сейсмологические агентства мира: HFS – Hagfors Observatory; IASPEI – The International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior; ISC – International Seismological Center; NAO – NORSAR; NEIC (NEIS) – National Earthquake Information Center (National Earthquake Information Service); PEK – China Earthquake Networks Center

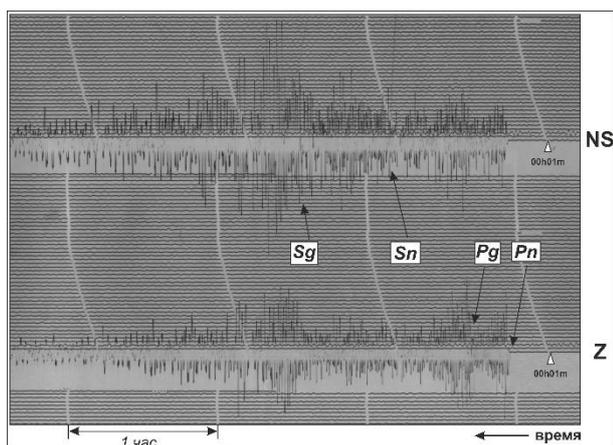
Вместе со Алдано-Становой подвижной областью БРС представляет активную внуконтинентальную границу между Евразийской и Амурской литосферными плитами. Исследования скоростного строения коры и верхней мантии методами глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) выявили существова-

ние низкоскоростного слоя в верхней коре Байкальского рифта [5]. Согласно данным ГСЗ [5] область с аномально низкой скоростью на поверхности мантии ( $V_p=7,6-7,8$  км/с,  $V_s=4,3$  км/с) наблюдается на обширной территории под Саяно-Байкальской складчатой областью. Под Сибирским кратоном расположе-

на нормальная мантия со скоростями сейсмических волн  $V_p=8,0-8,1$  км/с,  $V_s=4,55$  км/с. По результатам инверсии невязок времен пробега Р-волн на станциях региональной сети под северо-восточным флангом Байкальской рифтовой системы также наблюдается понижение значений скоростей сейсмических волн в областях возможного частичного плавления мантии, обусловленного тепломассопереносом из-под Сибирского кратона [6]. Согласно ГСЗ [5] и результатам интеграции данных сейсмической томографии [7], толщина земной коры варьируется в пределах 35–42 км под Байкальской впадиной, 43–55 км под горными поднятиями северо-восточного фланга БРС и 36–43 км под Сибирским кратоном.

#### ДАННЫЕ

В период проведения ядерных взрывов сейсмический мониторинг на исследуемой территории проводился Байкальской опытно-методической сейсмологической экспедицией (в настоящее время – Байкальский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»). В период 1976–1987 гг. сеть состояла из 20 постоянных и 12 временных аналоговых сейсмических станций (рисунок 1). Станции сети были оснащены короткопериодной (сейсмометры СКМ, ВГЭК) и длиннопериодной (СКД) аппаратурой. Регистрация сейсмических событий велась в непрерывном режиме с фиксацией на фотобумагу, скорость развертки составляла 1 и 2 мм/с. В рассматриваемый период времени в районе Северо-Муйского тоннеля (трасса БАМ) действовала локальная временная сеть сейсмических станций. Поэтому в районе северо-восточного фланга Байкальского рифта оказалось сосредоточено большинство сейсмических станций – 19 (рисунок 1).



→ – времена прихода основных региональных сейсмических фаз: Pn, Pg, Sn и Sg, △ – начало минуты перед приходом сейсмических волн от взрыва

Рисунок 2. Фрагмент аналоговой сейсмограммы. Взрыв «Нева 2-1». Сейсмическая станция Неляты (эпицентрально расстояние 580 км)

Расстояния от эпицентров ПЯВ до сейсмических станций варьируются в пределах 173–1407 км. На

сейсмограммах хорошо выделяются продольные прямая и отраженная от границы Мохо Р-волны, поперечные S-волны (прямая и отраженная), также на ряде станций регистрируются цуги поверхностных волн (рисунок 2). Всего по 10 взрывам было обработано 213 сейсмограмм и получено 582 значения времен прихода сейсмических волн: 154 – Pg, 175 – Pn, 132 – Sg и 121 – Sn. Эти данные были использованы для релокализации эпицентров взрывов, а также для оценки скоростей сейсмических волн в регионе.

#### РЕЛОКАЛИЗАЦИЯ ЭПИЦЕНТРОВ ВЗРЫВОВ

В ряде публикаций, а также на сайте Международного сейсмологического центра приводятся координаты и глубины ПЯВ, определенные разными способами: геодезическим [3], сейсмическим ([8], а также по телесеизмическим данным сейсмологических агентств мира, Internatioanl Seismological Center, [http:// http://www.isc.ac.uk/](http://www.isc.ac.uk/)), поиска мест взрывов (шахт) на местности [9], а для взрывов, входящих в состав сверхдлинных профилей «Рифт» и «Метеорит», – также по архивным данным [1] (таблица 1). Для каждого взрыва имеется от 6 до 9 различных определений параметров очага. Координаты эпицентра и глубины, время в очаге, а также магнитуда событий могут очень сильно различаться (различия в координатах составляют несколько градусов, а глубины варьируются от 0 до 38,3 км).

В данной статье сделана попытка оценить положение эпицентра взрывов, используя времена прихода сейсмических волн на региональные станции Байкальского рифта. Релокализация выполнялась с использованием программы «HYPOCENTER» [10] и скоростных моделей, полученных для Сибирского кратона и складчатой области на сверхдлинных профилях «Рифт» и «Метеорит» [1]. Для взрывов, произведенных на территории республики Саха, релокализация проведена по данным всех станций сети, а также с учетом времен приходов сейсмических волн только на станции, локализованные на северо-восточном фланге БРС. Расчеты координат эпицентра и времени велись для фиксированной глубины, приведенной в [3]. Результаты релокализации эпицентров взрывов приведены в таблице 1. Отклонение по времени варьируется в пределах от 0,5 до 5,2 секунд, смещение координат эпицентра в отдельных случаях может достигать ~40 км.

Значительные отклонения по времени в очаге и ошибки в определении эпицентров, полученные при релокализации ПЯВ по данным Байкальской региональной сети станций, могут объясняться как односторонним расположением и удаленностью сейсмических станций, так и неточной скоростной моделью среды, выбранной для расчетов. Сопоставление реального времени прихода сейсмических волн от ПЯВ на территории республики Саха с теоретическими показало, что для коровых продольных волн Pg наблюдается запаздывание во времени прихода, в то время как для верхнемантийных волн Pn и Sn, наобо-

рот, наблюдается более ранний приход. Для волны Sg теоретические и наблюдаемые времена прихода совпадают. Это также свидетельствует о том, что реальная скоростная структура на трассе от эпицентров ПЯВ до Байкальского рифта может значительно отличаться от выбранной модели.

Проблема выбора скоростной модели среды осложняется тем, что трасса «источник – приемник» проходит через две тектонические структуры – древнюю Сибирскую платформу и Саяно-Байкальскую складчатую область, отличающуюся высокой степенью неоднородности. Возможным решением проблемы с выбором скоростной модели может быть инверсия невязок времен прихода сейсмических волн от ПЯВ с использованием заверенных на местности координат и глубин взрывов по данным [9].

### ПОСТРОЕНИЕ РЕГИОНАЛЬНЫХ ГОДОГРАФОВ

Исследуемые ядерные взрывы локализованы в практически асейсмических районах – на территории Сибирской платформы (2 взрыва западнее оз. Байкал и 7 – на территории Якутии) и в Забайкальском блоке (1 взрыв) (рисунок 1). Взаимное расположение взрывов и регистрирующих сейсмических станций позволяет оценить скорости сейсмических волн в земной коре и верхней мантии региона.

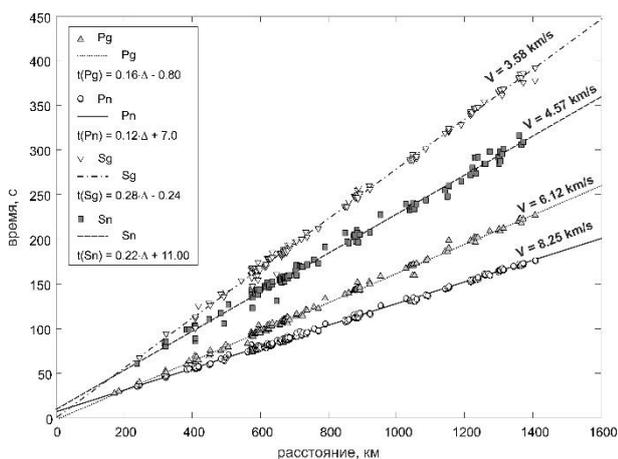


Рисунок 3. Годограф региональных фаз сейсмических волн для БРС на основе данных ПЯВ

Для построения регионального годографа и определения скоростей сейсмических волн в коре и верхней мантии региона использовались определенные по аналоговым сейсмограммам времена вступления основных сейсмических фаз – Pg, Pn, Sg и Sn. Построение годографов и оценка скоростей сейсмических волн выполнены как для всего региона по всем станциям и взрывам, так и отдельно для трех крупных тектонических структур, входящих в его состав – Сибирской платформы, Байкало-Патомского нагорья и Забайкальского блока Амурской литосферной плиты (рисунок 1). Для расчета значений скоростей в литосфере Сибирской платформы использованы данные взрывов «Рифт-3» и «Метеорит-4», полученные на станциях, локализованных на западном побережье

оз. Байкал и в пределах юго-западного фланга рифтовой системы; в Забайкальском блоке использованы данные взрыва «Метеорит-5», полученные на станциях, расположенных в пределах самого блока и близ восточного побережья оз. Байкал. Для Байкало-Патомского нагорья рассматривались взрывы на территории Якутии, зарегистрированные сейсмическими станциями северо-восточного фланга БРС. Годограф для всей территории построен для расстояний от 173 до 1407 км (рисунок 3), полученные скорости сейсмических волн для каждой структуры приведены в таблице 2.

Таблица 2. Скорости сейсмических волн в земной коре и верхней мантии

Район	Скорость, м/с							
	Pn	$\sigma_{Pn}$	Pg	$\sigma_{Pg}$	Sn	$\sigma_{Sn}$	Sg	$\sigma_{Sg}$
Весь район	8,25	0,03	6,12	0,03	4,57	0,03	3,58	0,02
Сибирская платформа	8,21	0,15	6,09	0,06	4,71	0,10	3,54	0,11
Забайкальский блок	8,32	0,17	6,17	0,16	4,78	0,14	3,61	0,07
Байкало-Патомское нагорье	8,31	0,10	6,05	0,10	4,77	0,13	3,54	0,08

Примечание:  $\sigma$  – среднеквадратичное отклонение

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В целом скорости сейсмических волн в коре и верхней мантии региона, полученные в настоящей работе, достаточно хорошо согласуются с результатами предшествующих исследований скоростного строения Байкальского рифта и окружающих территорий. В частности, полученные значения скоростей продольных волн в верхней мантии ( $V_{Pn}=8,25$  км/с) достаточно хорошо соответствуют значениям скоростей на границе Мохо (8,0 км/с), определенным по результатам сейсмического профилирования в Байкальском рифте (сверхдлинные профили «Рифт» и «Метеорит») [1]. Скорости поперечных Sn волн хорошо согласуются с результатами инверсии приемных функций –  $V_S=4,4-4,5$  км/с [6].

По записям ПЯВ, полученным на региональных сейсмических станциях Якутской сети (серия «Нева»), в предшествующих работах были определены следующие значения скоростей P и S волн в коре и верхней мантии Сибирского кратона:  $V_{Pn}=8,313$  км/с,  $V_{Pg}=6,158$  км/с,  $V_{Sn}=4,695$  км/с и  $V_{Sg}=3,594$  км/с [2] и  $V_{Pn}=8,27$  км/с,  $V_{Pg}=6,20$  км/с,  $V_{Sn}=4,67$  км/с и  $V_{Sg}=3,55$  км/с [4]. Значения скоростей сейсмических волн в верхней мантии, полученные в настоящей работе для тех же событий по станциям Байкальского региона, значительно ниже: на  $\sim 0,2-0,8$  % для P волн и на  $\sim 0,4-2,7$  % для S волн, а в коре, напротив, выше  $\sim 0,6-1,3$  %. Такое пространственное распределение скоростей сейсмических волн хорошо согласуется с моделью SibCrust: для территории Сибирского кратона скорости Pn волн равны  $\sim 8,2$  км/с, средняя кора характеризуется пониженными скоростями P-волн (до 5,2 км/с), в кристаллическом фундаменте  $V_{Pg}=6,6$  км/с; для Саяно-Байкальской складчатой области отмечается понижение сейсмических скоро-

стей в мантии до 8,1 км/с, а в коре и фундаменте, наоборот, повышение –  $V_{Pg}=5,8-6,7$  км/с [7].

Пониженные значения скоростей в мантии Байкальской рифтовой системы относительно кратона отражают результаты проявления активных деформаций литосферы в зоне современной межплитной границы между Евразией и Амурской плитой. Низкая скорость сейсмических волн указывает на существование региональной низкоскоростной аномалии под корой. Ранее существование аномально низкой скорости сейсмических волн под границей Мохо было установлено по данным ГСЗ [5]. Позднее это было подтверждено данными исследований на двух субмеридиональных опорных профилях ГСЗ: 1-СБ и 3-ДВ, – на территории Восточного Забайкалья [11]. Согласно результатам сейсмотомографии по временам пробега от региональных землетрясений [12], область пониженных скоростей сейсмических Р-волн приурочена к северо-восточному флангу БРС, скорости увеличиваются на юго-восток (Забайкальский блок) и северо-запад (Байкало-Патомское поднятие).

Слой с высоким затуханием сейсмических волн под корой северо-восточного фланга Байкальского рифта наблюдается также согласно результатам расчетов сейсмической добротности [13]. Существование такого слоя может быть связано либо с возможным внедрением силла базальтов, вылавившихся в мантии северо-восточного фланга БРС [11], либо с наличием высокотемпературной шпинель-пироксеновой фации мантии [14].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Pavlenkova, G.A. Upper mantle structure of the Northern Eurasia from peaceful nuclear explosion data / G.A. Pavlenkova, N.I. Pavlenkova // *Tectonophysics*. – 2006. – № 416. – P. 33–52.
2. Mackey, K.G. Seismic characterization of Northeast Asia and analysis of the Neva peaceful nuclear explosions / K.G. Mackey, K. Fujita, H.E. Hartse, L.K. Steck, R.J. Stead // *The 27th Seismic Research Review: Ground-Based Nuclear Explosion Monitoring Technologies*. – 2005. – P. 61–70.
3. Sultanov, D.D. A seismic source summary for Soviet peaceful nuclear explosions / D.D. Sultanov, J.R. Murphy, Kh.D. Rubinstein // *Bull. Seismol. Soc. Am.* – 1999. – V. 89 (3). – P. 640–647.
4. Burkhard, K.M. Peaceful Nuclear Explosion Seismogram Analysis: Constraining the Velocity Structure of Eastern Siberia / K.M. Burkhard, Z.T. Eriksen, K.G. Mackey // 2016 AGU Fall Meeting, 2016. T43B-3047. (<http://abstractsearch.agu.org/meetings/2016/FM/T43B-3047>).
5. Крылов, С.В. Недр Байкала (по сейсмическим данным) / С.В. Крылов [и др.] // М.: Наука. – 1981. – 105.
6. Мордвинова, В.В. Строение земной коры и верхней мантии Центральной Азии на основе телесеизмических объемных волн: автореф. дис. докт. геол.-мин. наук: 25.00.10 / Мордвинова Валентина Владимировна. – Институт земной коры СО РАН, Иркутск, 2009. – 50 с.
7. Cherepanova, Y. Crustal structure of the Siberian craton and the West Siberian basin: An appraisal of existing seismic data / Y. Cherepanova [et al] // *Tectonophysics*. – 2013. – № 609. – P. 154–183.
8. Engdahl, E.R. Global teleseismic earthquake relocation with improved travel times and procedures / E.R. Engdahl, R.D. van der Hilst, R. Buland // *Bull. Seis. Soc. Amer.* – 1998. – V. 88. – P. 722–743.
9. Mackey, K.G. Improvement of GT classification of Soviet PNEs / K.G. Mackey [et al] // *NNC RK Bulletin*. – 2016. – № 2(66). – P. 123–127.
10. Lienert, V. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares / V. Lienert, E. Bery, L.N. Frazer // *Bull. Seism. Soc. Am.* – 1986. – V. 76. – P. 771–783.
11. Канарейкин, Б.А. Строение переходной зоны кора – мантия Байкальской рифтовой зоны по опорным и региональным сейсмическим профилям ГСЗ / Б.А. Канарейкин [и др.] // *Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы совещания.* – Вып. 15. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2017. – С. 114–116.
12. Соловьев, В.М. Особенности скоростного строения верхней мантии Забайкалья на участке Монголо-Охотского орогенного пояса / В.М. Соловьев [и др.] // *Геодинамика и тектонофизика*. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 1065–1082. doi:10.5800/GT-2017-8-4-0333.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате обработки аналоговых сейсмограмм ПЯВ, зарегистрированных Байкальской сетью сейсмических станций на расстояниях от 173 до 1407 км, получены данные о временах прихода сейсмических волн Pn, Pg, Sn and Sg. Выполнена релокализация эпицентров ядерных взрывов с использованием региональных скоростных моделей. Построены региональные годографы прямых и отраженных от границы Мохо продольных и поперечных волн, которые могут быть использованы в дальнейшем для локализации региональных землетрясений и промышленных взрывов. Определены скорости сейсмических волн в коре и мантии. По полученным данным хорошо фиксируются пониженные скорости в верхней мантии и высокие – в коре.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 17-45-388049. В Институте земной коры СО РАН работа выполнена в рамках темы НИР ПФНИ ГАН IX.136.1.2. «Исследование факторов, определяющих закономерности развития сейсмического процесса и сейсмическую опасность Прибайкалья» (гос. номер АААА-А16-116121550016-3).*

13. Добрынина, А.А. Новые данные о затухании сейсмических волн в литосфере и верхней мантии северо-восточного фланга Байкальской рифтовой системы / А.А. Добрынина, В.А. Саньков, В.В. Чечельницкий // Доклады академии наук. – 2016. – Т. 468, № 1. – С. 88–92.
14. Pospeev, A.V. The velocity structure of the upper mantle and regional deep thermodynamics of the Baikal rift zone / A.V. Pospeev // *Geodynamics & Tectonophysics*. – 2012. – № 3(4). – P. 377–383.

**ШЫҒЫС СІБІР МЕН САХА РЕСПУБЛИКАСЫНДАҒЫ ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР:  
БАЙКАЛ СЕЙСМИКЛЫҚ СТАНЦИЯЛАР ЖЕЛІСІНІҢ ДЕРЕКТЕРІ НЕГІЗІНДЕ  
СЕЙСМОГРАММАЛАРДЫ ТАЛДАУДЫҢ АЛДЫН АЛА НӘТИЖЕЛЕРІ**

1, 2) А.А. Добрынина, 1, 3) В.А. Саньков, 4) В.В. Чечельницкий

1) *РФА СБ Жер қыртысы институты, Иркутск, Ресей*

2) *РФА СБ Геологиялық институты, Улан-Удэ, Ресей*

3) *Иркутск мемлекеттік университеті, Иркутск, Ресей*

4) *РФА Бірыңғай геофизикалық қызметі» Федераль зерттеу орталығының Байкал филиалы, Иркутск, Ресей*

Бұрын болған Кеңс Одағының Иркутск облысы, Күнгеі Байкал өлкесі (Шығыс Сібір) және Саха Республикасы аумақтарында ғылыми және коммерциялық мақсатында 1976–1987 ж.ж. жүргізілген, 3,5–15 кт. қуатымен, 10 жерасты ядролық жарылыстардың цифрланған сейсмограммаларын өндеудің бірінші нәтижелері келтірілген. Оқиғалар, Байкал рифттік жүйесі шегінде және жанасқан аумақтарда жергіліктелген, аймақтық станциялар желісімен 173–1407 км қашықтықтарында тіркелген. Түсудің бірінші уақыттары туралы деректер бойынша негізгі сейсмикалық фазалардың (тура және Мохо шекарасынан шағылысқан кума және көлденең толқындар) аймақтық годографы алынған, бар аймақ және үш ірі тектоникалық құрылымдар: Сібір платформасы, Байкал-Патом тау өлкесі және Күнгеі Байкал блогы үшін жыр қыртысы мен жоғарғы мантияда сейсмикалық толқындардың жылдамдығының мәндері анықталған. Жылдамдықтың алынған мәндері Байкал рифтінің жер қыртысы мен жоғарғы мантияның жылдамдық құрылысы туралы мәлім деректерімен жақсы үйлеседі.

**UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS IN EASTERN SIBERIA  
AND THE SAKHA REPUBLIC: PRELIMINARY RESULTS OF SEISMOGRAM ANALYSIS  
BASED ON BAIKAL SEISMIC STATIONS NETWORK**

1, 2) A.A. Dobrynina, 1, 3) V.A. Sankov, 4) V.V. Chechelnicshiy

1) *Institute of the Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*

2) *Geology Institute SB RAS, Ulan-Ude, Russia*

3) *Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

4) *Baikal Branch of Federal Research Center "Unified Geophysical Survey RAS", Irkutsk, Russia*

During 1976–1987 in the former USSR on the territory of Irkutsk and Chita area (the Eastern Siberia) and Sakha Republic (Yakutia) ten peaceful nuclear explosions were conducted in scientific and commercial applications. The peaceful nuclear explosions have yields in the range of 3.2 to 15 kt. The events were registered by regional analog seismic stations network located in the Baikal rift system and surroundings at distances from 173 to 1407 km. The paper shows the first results of the treatment of these seismograms. Using arrival times, regional travel time curves for the both crustal and mantle seismic phases (Pn, Pg, Sn and Sg) were constructed and regional velocities of seismic waves were determined for the whole region and three main tectonic structures – Siberian platform, Baikal-Patom uplift and Transbaikalian block. The velocities obtained well correlated with the data known on the velocity structure of the Earth's crust and upper mantle of the Baikal rift system.

УДК 550.34(476)

## USSR PEACEFUL NUCLEAR TESTS, GEOPHYSICAL OBSERVATORY “BOROVOYE”

<sup>1)</sup> K.S. Nepeina, <sup>2)</sup> V.A. An, <sup>2)</sup> T.V. Chelyubeyeva<sup>1)</sup> Research Station RAS, Bishkek (RS RAS), Kyrgyzstan<sup>2)</sup> Institute of Geosphere Dynamics (IDG RAS), Moscow, Russia

The paper presents a summary of corrected data on the Soviet Peaceful Nuclear Explosions (abbreviated as PNEs) with the author's corrections, taking into account the information on the updated coordinates of the works of the authors Makei, Fujita, etc. As a result, the article presents the calculated epicentral distances for PNEs, travel-time curves and azimuths from the Geophysical Observatory “Borovoe” to the geographical coordinates of the PNEs, which were registered in digital format during the monitoring conducted by Expedition № 4 of the Special Sector of the Institute of Physics of the Earth of the USSR Academy of Sciences since 1966.

Refined coordinates of Soviet PNEs are given in [1, 2]. Using this, we recalculate and acquire new epicentral distances and azimuths from the “Borovoye” Geophysical Observatory for the PNEs, which were digitally recorded during earthquakes’ monitoring since 1966 [3].

At the “Borovoye” Geophysical Observatory (BRVK), out of 122 national USSR underground PNEs [4], 98 were registered in digital format (according to the archive of Expedition No. 4 of the Special Sector of the Institute of Physics of the Earth (IPE) USSR Academy of

Sciences). However, when reformatting the archive of digital seismograms BRVK at the end of the last century, only 79 seismograms were saved [5]. The table presents the data of the 79 PNEs database from the Institute of Geosphere Dynamics (IDG RAS).

Figures 1, 2 show fragments of BRVK three axial seismograms along the closest and furthest PNEs from “Borovoye” Observatory: Meridian-1 and Kraton-4 (see table). Records from digital stations KOD and STsR are shown here [5].

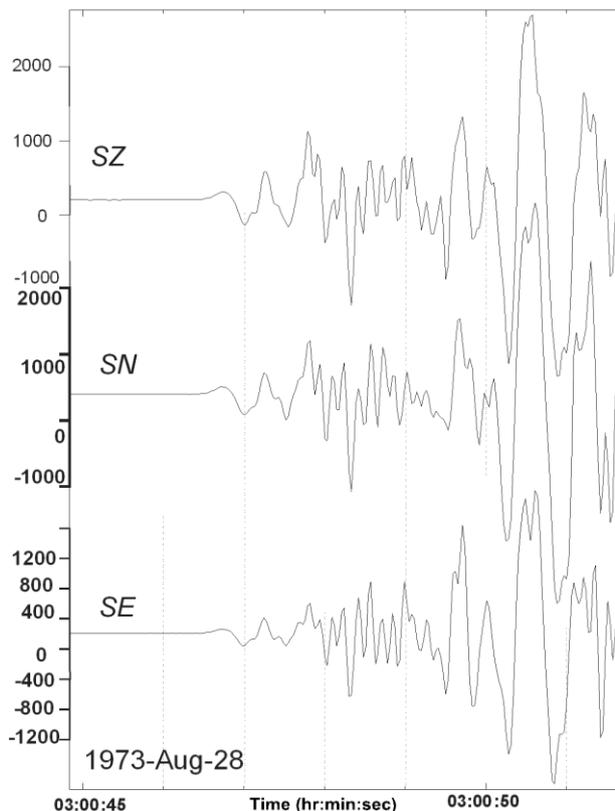


Figure 1. KODm, 28 August 1973, Meridian-1.  $\delta T = +0.217$  sec [6]. The channels are from top to bottom with channel number: 1 – SZ, 3 – SN, 4 – SE

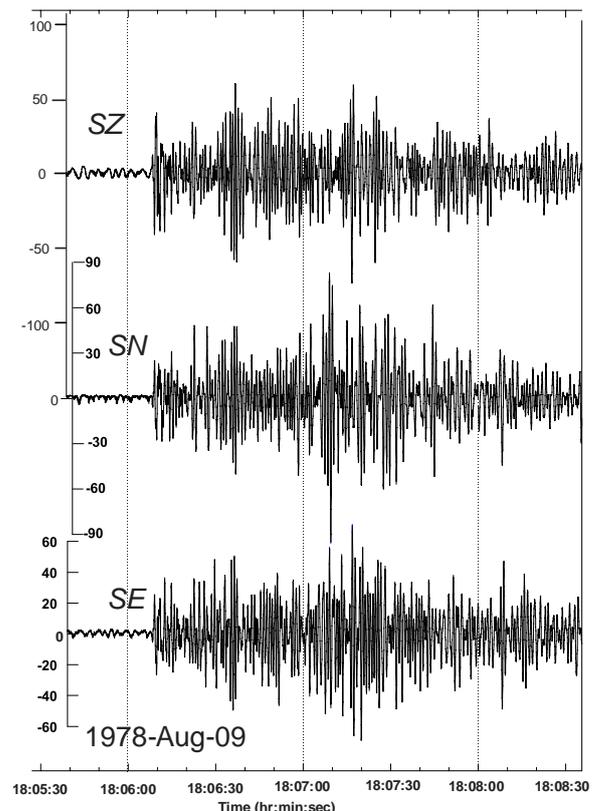


Figure 2. STsR-SS, 09 August 1978, Kraton-4.  $\delta T = +0.226$  sec [6]. The channels are from top to bottom with channel number: 7 – SZ, 8 – SN, 9 – SE

**USSR PEACEFUL NUCLEAR TESTS, GEOPHYSICAL OBSERVATORY "BOROVOYE"**

The table shows the travel time of P-wave ( $t_{p0}$ ) to the BRVK Observatory from [3], taking into account the time corrections ( $\delta T$ ) of the digital registration stations

[6]. An error was found in [3] in the travel time of the 22<sup>nd</sup> August 1988 test named Ruby-2 (corrected in the table by the underlined bold).

*Table. USSR Peaceful Nuclear Explosions, registered by "Borovoye" Geophysical Observatory (BRVK:  $\varphi^{\circ} N = 53.05806$ ,  $\lambda^{\circ} E = 70.28278$ )\**

Test No.	Test name	$m_b$ (P)	Date Year-Mo-Da	Time hr:mn:sec	Coordinates		$\Delta^{\circ}$ from BRVK	$Az^{\circ}$ from BRVK	$t_{p0}$ BRVK sec	Inst. Type [7]
					Lat. $\varphi^{\circ}$ (N)	Long. $\lambda^{\circ}$ (E)				
1	Tawda	4.7	1967-10-06	06:59:57.50	57.70	65.20	5.4797	330.12	<u>84.26</u>	KODb
2	Pamuk	5.4	1968-05-21	03:59:11.98	38.918	63.032	14.5991	196.45	<u>202.70</u>	KODb
3	Grifon-1	4.8	1969-09-02	04:59:58.61	57.220	55.393	9.4861	301.99	<u>135.68</u>	KODb
4	Grifon-2	4.8	1969-09-08	04:59:58.70	57.220	55.417	9.4738	302.02	<u>135.28</u>	KODb, KODm
5	Stavropol	5.6	1969-09-26	06:59:58.14	45.848	42.600	19.3028	259.22	<u>263.83</u>	KODb, KODm
6	Mangyshlak-1	5.8	1969-12-06	07:02:59.85	43.8625	54.7727	13.7771	234.31	<u>192.71</u>	KODb, KODm
7	Magistral	4.9	1970-06-25	04:59:55.50	52.3265	55.7238	8.8765	271.09	<u>129.25</u>	KODb
8	Mangyshlak-2	6.0	1970-12-12	07:00:59.83	43.9096	54.7937	13.7322	234.40	<u>192.01</u>	KODb, KODm
9	Mangyshlak-3	6.0	1970-12-23	07:00:59.76	43.8858	54.8973	13.6990	234.10	<u>191.58</u>	KODb, KODm
10	Taiga	5.5	1971-03-23	06:59:58.38	61.306	56.599	11.0884	323.58	<u>157.57</u>	KODb, KODm
11	Globe-4	4.7	1971-07-02	17:00:01.13	67.283	63.467	14.6526	349.50	<u>202.91</u>	KODb
12	Globe-1	4.5	1971-09-19	11:00:01.08	57.508	42.643	16.3024	296.87	<u>225.87</u>	KODb
13	Globe-2	4.6	1971-10-04	10:00:00.14	61.358	48.092	14.5502	313.58	<u>203.719</u>	KODb
14	Azgir A-3-1	6.0	1971-12-22	06:59:59.00	47.8980	48.1298	14.9938	258.76	<u>207.405</u>	KODb, KODm
15	Crater	4.9	1972-04-11	06:00:01.92	37.4158	62.0508	16.6626	203.43	<u>230.459</u>	KODb
16	Fakel	4.8	1972-07-09	07:00:01.25	49.552	35.471	21.9101	274.87	<u>293.034</u>	KODb
17	Region-3	5.7	1972-08-20	03:00:00.01	49.4169	48.16155	14.3130	264.13	<u>199.142</u>	KODb, KODm
17	Region-3	5.7	1972-08-20	03:00:00.01	49.4169	48.1615	14.3130	264.13	<u>199.142</u>	KODb, KODm
18	Dnepr-1	4.6	1972-09-04	07:00:00.00	67.782	33.618	22.8505	324.21	<u>308.013</u>	KODb
19	Region-1	5.0	1972-09-21	09:00:00.31	52.1404	52.0929	11.1031	272.53	<u>158.143</u>	KODb
20	Region-4	5.6	1972-10-03	09:00:00.18	46.853	44.938	17.3970	259.29	<u>238.325</u>	KODb
21	Region-2	4.5	1972-11-24	09:00:00.04	51.9933	51.8826	11.2614	271.93	<u>161.012</u>	KODb
22	Meridian-3	5.3	1973-08-15	02:00:00.02	42.7740	67.40695	10.4688	191.73	<u>149.359</u>	KODb, KODm, SS
23	Meridian-1	5.2	1973-08-28	03:00:00.04	50.5279	68.32127	2.8114 min	206.45	<u>46.643</u>	KODb, KODm, SS
24	Meridian-2	5.1	1973-09-19	03:00:00.18	45.7588	67.82289	7.4800	193.35	<u>109.022</u>	KODb, KODm, SS
25	Sapphire-2	5.2	1973-09-30	05:00:00.35	51.6052	54.5991	9.7138	267.66	<u>139.674</u>	KODb
26	Kama-2	4.8	1973-10-26	05:59:59.50	53.5615	55.51436	8.8605	279.16	<u>127.611</u>	KODb
27	Horizon-1	5.0	1974-08-29	15:00:00.39	67.085	62.625	14.5620	348.02	<u>203.400</u>	SS
28	Horizon-3	4.8	1975-09-29	11:00:00.43	69.578	90.337	18.9886	21.71	<u>259.782</u>	SS
29	Azgir A-3-2	4.3	1976-03-29	07:00:00.23	47.8980	48.1298	14.9938	258.76	<b>207.43 ??</b>	SS, TSG
30	Azgir A-4	5.9	1976-07-29	05:00:00.50	47.871	48.138	15.0018	258.65	<u>207.158</u>	SS, TSG
31	Oka	5.3	1976-11-05	03:59:59.98	61.4608	112.8592	24.1061	52.71	<u>314.878</u>	SS
32	Meteorite-2	5.0	1977-07-26	17:00:00.22	69.575	90.375	18.9948	21.75	<u>258.899</u>	SS, TSG
33	Meteorite-3	5.0	1977-08-20	22:00:00.78	64.108	99.558	18.6478	42.18	<u>255.899</u>	TSG
34	Meteorite-4	4.8	1977-09-10	16:00:00.18	57.2583	106.5565	20.9753	63.92	<u>283.447</u>	SS, TSG
35	Azgir A-5	5.0	1977-09-30	06:59:58.43	47.888	48.153	14.9848	258.69	<u>207.838</u>	SS
36	Kraton-4	5.6	1978-08-09	18:00:00.79	63.6773	125.5266	29.8783 max	47.33	<u>367.406</u>	SS
37	Kraton-3	5.1	1978-08-24	18:00:00.35	65.9254	112.3330	24.3581	41.77	<u>317.681</u>	SS, TSG
38	Kraton-2	5.2	1978-09-21	15:00:00.19	66.598	86.210	15.6834	23.92	<u>215.752</u>	SS, TSG
39	Vyatka	5.2	1978-10-08	00:00:00.00	61.5565	112.9922	24.1716	52.47	<u>315.919</u>	SS
40	Azgir A-7	5.8	1978-10-17	04:59:59.06	47.847	48.120	15.0239	258.60	<u>207.710</u>	SS
41	Kraton-1	5.5	1978-10-17	14:00:00.16	63.185	63.432	10.7732	343.18	<u>152.487</u>	SS
42	Azgir A-9	5.9	1978-12-18	07:59:58.50	47.857	48.161	14.9949	258.58	<u>207.855</u>	SS, TSG
43	Azgir A-8	6.0	1979-01-17	07:59:58.50	47.919	48.124	14.9872	258.83	<u>207.860</u>	SS, TSG
44	Azgir A-11	5.6	1979-07-14	04:59:58.00	47.882	48.120	15.0072	258.71	<u>207.254</u>	SS, TSG
45	Kimberlite-4	4.9	1979-08-12	18:00:00.21	61.7997	122.4161	28.6462	51.47	<u>355.658</u>	SS, TSG

## USSR PEACEFUL NUCLEAR TESTS, GEOPHYSICAL OBSERVATORY "BOROVOYE"

Test No.	Test name	$m_b$ (P)	Date Year-Mo-Da	Time hr:mn:sec	Coordinates		$\Delta^\circ$ from BRVK	$Az^\circ$ from BRVK	$t_{p0}$ BRVK sec	Inst. Type [7]
					Lat. $\varphi^\circ$ (N)	Long. $\lambda^\circ$ (E)				
46	Kimberlite-3	4.9	1979-09-06	18:00:00.31	64.110	99.562	18.6502	42.18	<u>257.024</u>	SS, TSG
47	Kimberlite-1	5.4	1979-10-04	16:00:00.03	60.675	71.455	7.6641	4.33	<u>107.615</u>	SS, TSG
48	Sheksna	5.0	1979-10-07	21:00:00.22	61.7679	113.1554	24.2540	51.96	<u>316.473</u>	SS, TSG
49	Azgir A-10	5.8	1979-10-24	05:59:59.00	48.852	48.143	15.0079	258.58	<u>208.281</u>	SS, TSG
50	Vega-1	5.2	1980-10-08	06:00:00.29	46.7565	48.2738	15.4846	254.81	<u>213.473</u>	SS
51	Batholith-1	5.2	1980-11-01	13:00:00.42	60.80	97.55	16.6751	51.53	<u>231.578</u>	TSG
52	Pyrite	5.5	1981-05-25	05:00:00.32	68.20	53.50	17.1684	338.57	<u>236.342</u>	SS
53	Helium-1	4.4	1981-09-02	03:59:59.99	60.2751	57.2991	10.1514	320.56	<u>145.379</u>	TSG
54	Vega 2-1	5.2	1981-09-26	05:00:00.28	46.7936	48.3088	15.4445	254.88	<u>212.732</u>	TSG
55	Vega 2-2	5.3	1981-09-26	05:03:59.94	46.7760	48.3012	15.4583	254.84	<u>214.682</u>	TSG
56	Shpat-2	5.1	1981-10-22	14:00:00.36	63.80	97.55	17.7117	41.95	<u>244.801</u>	TSG
57	Rift-3	5.0	1982-07-30	21:00:00.00	53.80	104.15	20.0877	74.25	<u>273.192</u>	TSG
58	Rift-4	5.2	1982-09-25	18:00:00.18	64.35	91.80	15.8005	35.89	<u>218.070</u>	TSG
59	Lira 1-1	5.3	1983-07-10	03:59:59.99	51.3627	53.306	10.5577	267.54	<u>150.648</u>	SS
60	Lira 1-2	5.3	1983-07-10	04:04:59.94	51.3660	53.3258	10.5449	267.54	<u>151.245</u>	SS
61	Lira 1-3	5.3	1983-07-10	04:09:59.85	51.3802	53.3388	10.5332	267.61	<u>149.695</u>	SS
62	Vega 4-1	5.2	1983-09-24	05:00:00.03	46.7812	48.3197	15.4447	254.83	<u>212.555</u>	SS
63	Vega 4-2	5.1	1983-09-24	05:05:00.03	46.7872	48.2966	15.4550	254.88	<u>212.964</u>	SS
64	Vega 4-3	5.0	1983-09-24	05:10:00.08	46.7671	48.3079	15.4591	254.80	<u>212.417</u>	SS
65	Vega 4-4	5.2	1983-09-24	05:15:00.14	46.7500	48.3006	15.4724	254.76	<u>213.059</u>	SS
66	Vega 4-5	5.4	1983-09-24	05:19:59.93	46.7538	48.2877	15.4779	254.79	<u>213.677</u>	SS
67	Vega 4-6	5.3	1983-09-24	05:25:00.00	46.7657	48.2740	15.4796	254.84	<u>213.489</u>	SS
68	Lira 2-1	5.4	1984-07-21	02:59:59.81	51.3584	53.3198	10.5506	267.51	<u>150.022</u>	SS
69	Lira 2-2	5.3	1984-07-21	03:04:59.71	51.3717	53.3357	10.5374	267.56	<u>149.769</u>	SS
70	Lira 2-3	5.4	1984-07-21	03:09:59.85	51.3916	53.3497	10.5235	267.66	<u>151.319</u>	SS
71	Quartz-3	5.3	1984-08-25	19:00:00.33	61.90	72.10	8.9200	5.56	<u>123.723</u>	SS
72	Quartz-4	5.0	1984-09-17	21:00:00.03	55.834	87.526	10.4174	67.65	<u>149.494</u>	TSG
73	Vega 5-1	5.0	1984-10-27	06:00:00.10	46.90	48.15	15.4811	255.44	<u>213.594</u>	SS, TSG
74	Vega 5-2	5.0	1984-10-27	06:05:00.00	46.95	48.10	15.4842	255.67	<u>214.404</u>	SS, TSG
75	Neva 2-2	5.1	1987-07-24	02:00:00.00	61.4172	112.8927	24.1215	52.81	<u>314.981</u>	SS
76	Neva 2-3	5.0	1987-08-12	01:30:00.50	61.4266	112.8879	24.1193	52.79	<u>315.097</u>	SS
77	Batholith-2	5.3	1987-10-03	15:15:00.03	47.60	56.20	10.5241	244.37	<u>149.077</u>	SS, TSG
78	Ruby-2	5.3	1988-08-22	16:20:00.07	66.280	78.491	13.8757	13.94	<u>192.197</u>	SS, TSG
79	Ruby-1	4.8	1988-09-06	16:19:59.94	61.361	48.092	14.5515	313.60	<u>202.637</u>	SS, TSG

\*In the table, the parameters according to [4] are marked in bold, according to [1, 2] – ordinary, according to Institute of Geosphere Dynamics (IDG RAS) - underlined.

Three different sets of recording systems were operated at Borovoye, each using several different seismometers and different gain levels. Digital data were recorded by three different Russian registration systems, called KOD, STsR-SS, and STsR-TSG; Inst. Type = instrument used; KODb = three-component high-gain and a vertical-component low-gain; KODm = three-component low-gain and a vertical-component high-gain system; seismic station SS = STsR-SS system; typical seismic station TSG=STsR-TSG system [5].

The regional travel-time curve  $t_{p0} = F(\Delta^\circ)$  up to on the traces USSR PNEs – BRVK is presented in Figure 3. It was built under data from the table. Axis X shows the distance between PNE and BRVK, axis Y–P-wave travel time. Note, that the points well fit with a linear function both for regional (Figure 3) either for local distances (Figures 4-6). However, the gradient of the line at the

close areas (2–12° shown in Figure 4) is greater than at the further intervals (as 13–18° in Figure 5 and 18–30° in Figure 6 with the same slope of the travel-time curve).

The Azgir A-3-1 and Azgir A-3-2 explosions were performed in the same well. The first is 1971-12-22 with a capacity of 64 kT at a depth of 986 meters with  $m_b = 6.0$ , the second is 1976-03-29 with a capacity of 10 kT with  $m_b = 4.3$  [4, 8]. The P-wave travel time of the second explosion according to the archive of Expedition No. 4 of the Special Sector of the IPE of the USSR Academy of Sciences was determined with a small accuracy due to the high level of microseisms.

When reformatting digital seismograms, sometimes there was a failure in the date and time. In this case, a time lapse of –1 min was detected in the record of the explosion of 27<sup>th</sup> October 1984 named Vega 5-1 at the STsR-SS. At STsR-TSG time is correct.

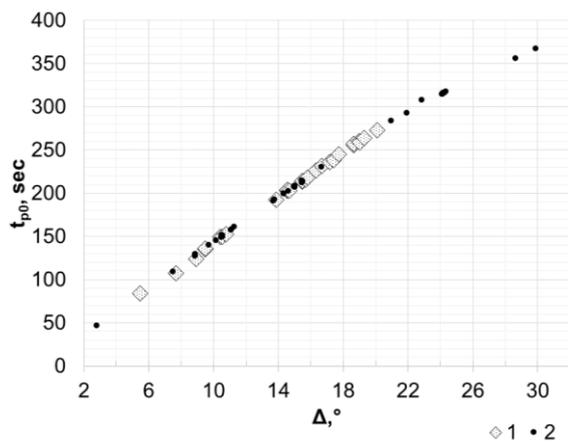


Figure 3. Travel-time curve  $t_{p0} = F(\Delta^\circ)$  P-wave for «USSR Peaceful Nuclear Explosions – observatory «Borovoye» (symbols 1 – after [4], 2 – after [1, 2])

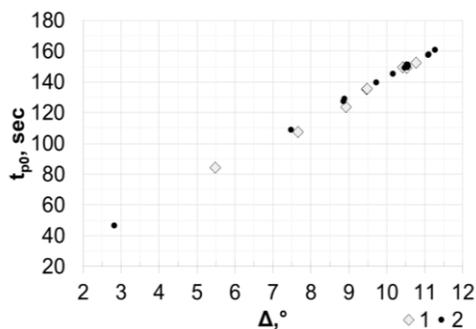


Figure 4. Local travel-time curve  $t_{p0} = F(\Delta^\circ)$  P-wave for «USSR Peaceful Nuclear Explosions – observatory «Borovoye»,  $\Delta^\circ = 2 - 12$  (symbols 1 – after [4], 2 – after [1, 2])

It is possible to document the time of occurrence of failures: in the process of registration or reformatting. According to the regulations of registration of underground nuclear explosions established by Expedition No. 4 of the Special Sector of the IPE of the USSR Academy of Sciences (now Geophysical Observatory "Borovoye"), magnetic digital recording was duplicated in three copies for storage. But, most importantly, the entry of a signal on the vertical component of each short-period set of equipment was necessarily decoded at a high sweep speed: up to 28 mm/s for STsR-TSG and 9 mm/s for KOD and STsR-SS. At the same time, it was bound to real-time and the uniformity of the decoding speed control within 0.2 sec on the STsR-TSG and 0.6 sec on the records of the KOD and STsR-SS. These decoded records are stored in the archive "Borovoye". Due to modern technology, it is sufficient

#### REFERENCES

1. Mackey, K.G. Improvement of GT classification of Soviet PNEs / K.G. Mackey, K. Fujita // J. NNC RK Bulletin, 2014. – No 2. – P. 62–64.
2. Mackey, K.G. Improvement of GT classification of Soviet PNEs / K.G. Mackey, K. Fujita, A. Abishev, E. Bergman // J. NNC RK Bulletin, 2016. – No. 2. – P. 123–127.

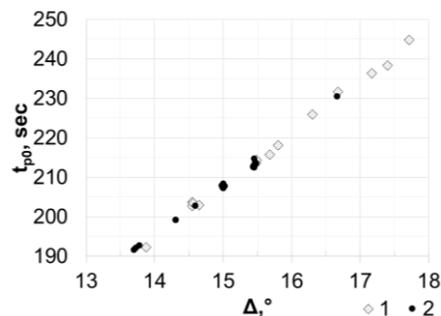


Figure 5. Local travel-time curve  $t_{p0} = F(\Delta^\circ)$  P-wave for «USSR Peaceful Nuclear Explosions – observatory «Borovoye»,  $\Delta^\circ = 13-18$  (symbols 1 – after [4], 2 – after [1, 2])

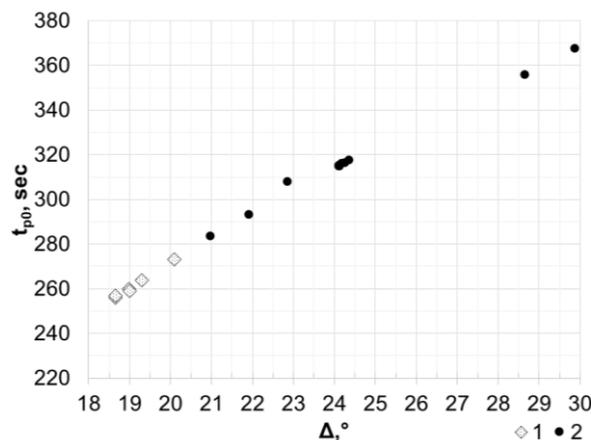


Figure 6. Local travel-time curve  $t_{p0} = F(\Delta^\circ)$  P-wave for «Peaceful Nuclear Explosions USSR – observatory «Borovoye»,  $\Delta^\circ = 18-30$  (symbols 1 – after [4], 2 – after [1, 2])

to simply digitize, measure, and make corrections to the records of the modern PNEs database.

The coordinates of 82 Peaceful Underground Explosions as a result of the analysis of satellite images, regional seismic data, and visits to the epicenters are specified in [1, 2]. Figures 4–6 show that, according to [4], the parameters of the USSR PNEs epicenters practically do not misfire from the refined local travel-time curves according to [1, 2]. Unfortunately, there are still quite a lot of USSR PNEs epicenters require the refinement of coordinates.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank the colleague of the Institute of Dynamics of the Geosphere of the Russian Academy of Sciences, L.D. Godunova for her constant attention and assistance in carrying out this study.

3. An, V.A. The travel-time curves of "Borovoye" Geophysical Observatory constructed using underground nuclear tests / V.A. An, P.B. Kaazik, T. V. Chelyubeyeva // J. NNC RK Bulletin, 2016. – No. 2. – P. 90–95.
4. Sultanov, D.D. A Seismic Source Summary for Soviet Peaceful Nuclear Explosions / D.D. Sultanov, J.R. Murphy, Kh.D. Rubystein // Bull. Seism. Soc. Am., 1999. – Vol. 89, No. 3, – P. 640–647.
5. An, V.A. A digital seismogram archive of nuclear explosion signals, recorded at the Borovoye Geophysical Observatory, Kazakhstan, from 1966 to 1996 / V.A. An, V.M. Ovtchinnikov, P.B. Kaazik, V.V. Adushkin, I.N. Sokolova, I.B. Aleschenko, N.N. Mikhailova, W-Y. Kim, P.G. Richards, H.J. Patton, W.S. Phillips, G. Randall, D. Baker // GeoResJ, 2015. – No. 6. – P. 141–163.
6. An, V.A. Time corrections for digital seismograms at "Borovoye" Geophysical Observatory 1966 – 1995 / V.A. An, P.B. Kaazik, T. V. Chelyubeyeva // J. NNC RK Bulletin, 2016. – No. 3. – P. 30–35.
7. An, V.A. About normals of magnet digital records from Geophysical Observatory «Borovoye» / V.A. An, I. P. Bashilov, P.B. Kaazik, V.A. Kononov // J. NNC RK Bulletin, 2010. – No. 3. – P. 62–69.
8. Nuclear test of USSR. – M.: IzdAT, 1997. – 304 p.

### КСРО БЕЙБИТ ЯДРОЛЫҚ СЫНАУЛАРЫ, «БУРАБАЙ» ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ОБСЕРВАТОРИЯСЫ

<sup>1)</sup> К.С. Непенна, <sup>2)</sup> В.А. Ан, <sup>2)</sup> Т.В. Челюбеева

<sup>1)</sup> *РАК Зерттеулік станциясы, Бишкек, Кыргызстан*

<sup>2)</sup> *Геосфералар динамикасы институты, Мәскеу, Ресей*

Жұмыста кеңестік бейбіт ядролық сынаулар (БЯС) туралы түзетілген жиынтық деректері берілген, Макей, Фуджита ж.б. авторлардың жұмыстарынан нақтыланған координаттар туралы ақпаратты есепке ала отырып. Нәтиже ретінде мақалада, БЯС үшін есептелген эпиорталықтық қашықтары келтірілген, годографтары салынған және «Бурабай» геофизикалық обсерваториясынан, 1966 жылдан КСРО Ғылым Академиясы Жер физикасы институтының Арнайы Секторының №4 Экспедициясы жүргізген мониторингі уақытында цифрлық форматында тіркелеген БЯС географиялық координаттарына дейін азимуттары көрсетілген.

### МИРНЫЕ ЯДЕРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СССР, ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ОБСЕРВАТОРИЯ «БОРОВОЕ»

<sup>1)</sup> Непенна К.С., <sup>2)</sup> Ан В.А., <sup>2)</sup> Челюбеева Т.В.

<sup>1)</sup> *Исследовательская станция РАН, Бишкек, Кыргызстан*

<sup>2)</sup> *Институт динамики геосфер, Москва, Россия*

Приведены сводные выправленные данные о советских мирных ядерных взрывах (МЯВ) с авторскими поправками и с учетом информации об уточненных координатах из работ авторов Макей, Фуджита и др. В качестве результата в статье приведены рассчитанные эпицентральные расстояния для МЯВ, построены годографы и указаны азимуты от Геофизической обсерватории «Боровое» на МЯВ (с уточненными географическими координатами), которые были зарегистрированы в цифровом формате во время мониторинга, проводимого Экспедицией №4 Специального Сектора Института физики Земли Академии Наук СССР с 1966 г.

УДК 550.34.01

## CIVIL AND SCIENTIFIC APPLICATION OF IMS NETWORK DATA IN EARTHQUAKE HAZARD ASSESSMENT

<sup>1)</sup> D. Shanker, <sup>2)</sup> S.M. Ali, <sup>3)</sup> M. Singh

<sup>1)</sup> *Indian Institute of Technology Roorkee, India*

<sup>2)</sup> *Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, Vienna, Austria*

<sup>3)</sup> *Galgotias University, Greater Noida, India*

International Monitoring System (IMS), using four technologies – seismic, hydroacoustic, infrasound and radionuclide. While awaiting entry-into-force, the IMS is operating in test mode yet, even now, monitoring data have potential use among the scientist for the social welfare means. Contribution to the earthquake hazard and related earthquake engineering determinations is a big development and knowledge expansion of the one of the cited technology i.e. seismic. In this direction Indonesian region bounded by 14°S–10°N and 93–141°E, which is one of the most seismically Trans-Asian and Circum-Pacific belts type active plate regions of the world where large to great earthquakes have occurred during the past hundred years have been considered. Nineteen years recent earthquake data from June 13, 1999 to July 10, 2017 have been taken from International Monitoring System (IMS) Network setup by Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO), Vienna Austria. These data analyses shows that earthquake occurrences agrees with the Gumbel's Type I extreme distribution function and has been applied to analyses those maximum magnitude data with a satisfactory degree of correlation (0.96). The earthquake hazard that existed in Indonesian region been quantified in terms of recurrence periods and probabilities of occurrence of earthquake of any given magnitude. This investigation indicates that the most probable largest annual earthquakes are close to 6.0. Also, most probable earthquake that may occur in an interval of 50 years is estimated as 6.8. Other medium to large size earthquakes which are expected to occur in this region has been predicted that may help in engineering investigations at particular site and decision making problems if planning to develop certain region for infrastructural activities.

### INTRODUCTION

The International Monitoring System (IMS) uses four monitoring technologies as seismic, hydroacoustic, infrasound and radionuclide monitoring technologies are capable of detecting evidence of nuclear explosions underground, in water (ocean) and in the atmosphere. In order to monitor compliance with the Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty, these verification technologies, together with the data, technologies and products of the International Data Centre, have potential civil and scientific applications. This can provide significant benefits to States and the international scientific community [1]. For example, highly sensitive hydrophone arrays and seismic T-phase stations installed in the oceans have observed an increasing number of icebergs breaking off the Antarctic ice shelves and sliding on icy or rocky surfaces. This occurrence is indication of global warming. Further, submarine volcanoes, earthquakes and underwater explosions are also recognized and positioned, paying to a better appreciative of hydroacoustic wave propagation.

In the case of infrasound technology, the sensitive IMS infrasound arrays and the improved processing system have been developed at the IDC and various NDCs. These provide a unique tool to detect, locate and characterizes natural atmospheric phenomena on a global scale. Hence, could be used for atmospheric transport modeling.

The IMS radionuclide network also provides a new level of sensitivity and coverage through the worldwide, quasi-continuous, low level data it can deliver on levels

of natural or artificial radioisotopes. For example, natural radioisotopes originating from the crust and from the upper atmospheric layers may provide clues on the vertical mixing and interaction of air masses on a global scale, of possible interest to global warming investigations. Continuous radionuclide monitoring at very low detection thresholds will allow detection and tracking of accidental releases. This will help emergency preparedness efforts in detection, modelling and decision support by providing predicted deposition rates.

The seismic network of IMS is very exhaustive and important one. Here, the Reviewed Event Bulletin (REB), which the PTS has been providing to the International Seismological Centre (ISC) since 2000, has contributed significantly to evaluations of earthquake magnitudes. To strengthen the collaboration between ISC and PTS for mutual benefits, ISC provide continuous data to IDC with access to its collected data from 2000 stations distributed over worldwide. Not only this IMS make it possible to enhance access to waveforms and phase data help to scientific community to improve 3-D topographies of the earth. This may allow to scientists to better understand the earth's internal structure. The combination of IMS seismic and infrasound data could be used for deep studies of solid earth and atmosphere for the prediction of impact of seismic hazard assessments in some areas of the globe for large earthquakes. Therefore we can say that IMS, IDC and OSI (On Site Inspection) are three main pillars of the of the verification regime. However, an OSI can be appealed only after entry into force of the CTBT.

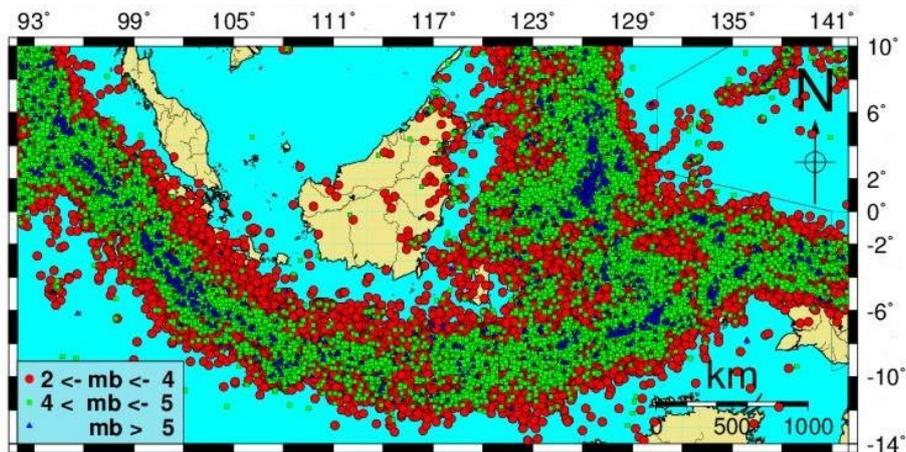


Figure 1: Seismicity map of the considered region using data recorded by (IMS) from 1999 to 2017

But, during the verification regime, the IMS technologies with its collected data have contributed a lot for civil and scientific applications beyond nuclear test detection, like tsunami warning, ocean discoveries [2], fisheries and seismic hazard assessment and earthquake forecasting. In the present study, contributions to the earthquake hazard and related earthquake engineering determinations have been taken for Indonesian region.

**STUDY REGION AND SEISMICITY DATA**

To understand an earthquake phenomenon and its associated risk in a region, a good database is important. We have used a very precisely located dataset taken by the International Monitoring System (IMS). Study investigates 19-years earthquake data from June 13, 1999 to July 10, 2017, with  $M \geq 2.0$  for the considered region bounded by  $-14^{\circ}S-10^{\circ}N$  and  $93-141^{\circ}E$  (Figure 1) taken from International Monitoring System (IMS) Network setup by Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization (CTBTO), Vienna Austria; which ensures a more reliable analysis.

**METHODOLOGY AND FORMULATION OF ANALYSES**

Gumbel’s [3] formulated the extreme value theory have been used. Because, Gumbel’s Type I, which uses extreme value statistics, need only part of the data (the largest earthquakes); when compared with methods requiring the whole data set, which is rarely completely reported. Therefore, CTBTO, IMS Network data is used because it represent a continuous and complete set of annual maximum magnitude events and is very useful for this purpose. The results are potentially useful and can be used to determine a variety of statistics including average recurrence periods of annual maximum magnitude earthquakes, probabilistic seismic hazard assessment in the region. Results are informative for seismic threat and related earthquake engineering determinations; usually require estimation of return periods or probabilities of exceedance of specific levels of design load criteria or extremal safety conditions.

**RESULT AND DISCUSSION**

Some important and useful analyses of the results have been summarized here in the form of tables (1 & 2). The results are potentially useful and can be used to determine a variety of statistics including average recurrence periods of annual maximum magnitude earthquakes, probabilistic seismic hazard assessment in the region

Table 1. Estimated Gumbel’s Parameters  $\alpha$  and  $\beta$

Statistics	Value
Slope( $-\beta$ )	-4.95
$\beta$	4.95
Intercept( $\ln(\alpha)$ )	29.69
$\alpha$	7837962254587.30

Table 2: Design earthquake Recurrence Period with 89 % probability

Mag. (m)	Return Period (years)	Recurrence Period (years)
5.5	0.09	0.19
6.0	1.01	2.23
6.5	31.66	69.88
7.0	142.59	314.76
7.5	1694.27	3739.72
8.0	20130.83	44434.29
8.5	239188.67	527955.16

The histories of maximum earthquake magnitude recorded by IMS networks have been taken for quantifying the earthquake hazard (Table 1 & 2) for the considered region. The statistics have been used to forecast, with any given confidence, recurrence periods in the considered region for earthquake of any given magnitude. Practical advantages of extreme value methods are well known.

Extreme values of a seismological variant are usually better known than the smaller events in a time series of data. The detailed knowledge of the parent distribution is not compulsory because the distribution of extremes depend on common asymptotic properties of the rare events in the tail of possible distributions of the variant.

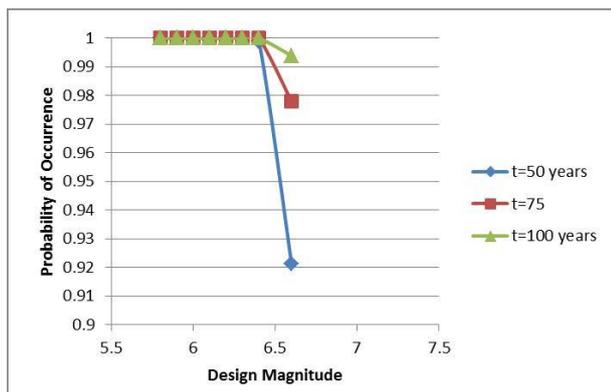


Figure 2: Earthquake hazard in Indonesia region for different period

The most probable annual maximum magnitude is equal to 6.0 and most probable 50-years maximum magnitude equal to 6.8 [4]. Thus the derived return periods may be used as quantitative measure of seismicity.

## REFERENCES

1. Massinon, B. Benefits of potential civil and scientific applications of CTBT verification technologies, / B. Massinon // CTBTO Spectrum, 2004. – 4. – P.17–18.
2. McCormack, D. Potential civil and scientific applications / D. McCormack // CTBTO Spectrum, 2002. – 2. – P.1–6.
3. Gumbel, E. J. Statistics of Extremes / E. J. Gumbel // Columbia University Press. - New York, 1958. – p. 375.
4. Shanker, D. Earthquake Hazard and Engineering Determinations for Indonesian Region Using IMS Network Data / D. Shanker, S. M. Ali and M. Singh // Geosciences, 2017. – 7(5). – P. 150–155.

## ЖЕРСІЛКІНУЛЕР ҚАУІПІН БАҒАЛАУЫНДА ХМЖ ЖЕЛІСІНІҢ ДЕРЕКТЕРІН АЗАМАТТЫҚ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМИ ҚОЛДАНУ

<sup>1)</sup> Д. Шанкер, <sup>2)</sup> С.М. Али, <sup>3)</sup> М. Сингх

<sup>1)</sup> Рурки Үндістан технологиялық институты, Үндістан

<sup>2)</sup> Ядролық сынауларға жаппай тыйым салу туралы шартының ұйымы, Вена, Австрия,

<sup>3)</sup> Галготиас университеті, Үлкен Ноуда, Үндістан

Төрт технологиясын – сейсмикалық, гидроакустикалық, инфрадыбыстық және радионуклидтік – қолданатын Халықаралық мониторинг жүйесі (ХМЖ) ЯСЖТШ күшіне енуін күтуде тестілік режимінде жұмыс істеп келеді, бірақ қазірде мониторингін деректерін ғалымдар әлеуметті мақсатында пайдалануға мүмкін. Аталған бір технологиялардың – сейсмикалық – жерсілкінулердің қауіпін анықтауына және инженерлік сейсмологияға үлесі зор, білімді дамытатын және кеңейтетін болып табылады. Осы тұрғыда мақалада, соңғы жүз жылда қатты және өте қатты жерсілкінулер болған, Азия-Тынықмұхит белдеуі мен дөңгелек тынықмұхиттік белдеуінің сейсмикалық ең белсенді аймақтарының бірі болып табылатын,  $-14^{\circ}\text{о.е.}-10^{\circ}\text{с.е.}$  және  $93^{\circ}-141^{\circ}\text{ш.б.}$  координаттарымен шектелетін, индонезиялық аумғы қарастырылады. Талдау үшін соңғы 19 жылдарының, 1999 ж. 13 маусымнан 2017 ж. 10 шілдеге дейін, Ядролық сынауларға жаппай тыйым салу туралы шартының ұйымымен, Вена, Австрия, орнатылған Халықаралық мониторинг жүйесінің (ХМЖ) жерсілкінулер туралы деректері алынған. Осы деректерді талдауы жерсілкінулер пайда болуы Гумбель функциясымен (I типіндегі экстремаль мәндері таралу) үйлесетінін және корреляцияның қанағаттандыратын дәрежесімен (0,96) максимал амплитудасымен деректерді талдауына жарамдылығын көрсеткен. Индонезиялық аймағы үшін жерсілкінудің қауіпі магнитуданың берілген мәндерінде қайталану және пайда болу ықтималдығы ретінде санды анықталған. Осы зерттеу ең ықтимал өте қатты жылсайынғы жерсілкінулер магнитудасы бойынша 6,0 жақын болуын көрсеткен. 50 жыл ауқымында болуы мүмкін өте қатты жерсілкінудің магнитудасы 6,8 ретінде бағаланады. Осы аймақта күтуге болатын басқа – орта және қатты – жерсілкінулері белгілі бір учаскелерде инженерлік ізденістерінде және белгілі бір аймақта инфрақұрылымды жобалау проблемасын шешуінде пайдалы болуы мүмкін.

**ГРАЖДАНСКОЕ И НАУЧНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДАННЫХ СЕТИ МСМ  
В ОЦЕНКЕ ОПАСНОСТИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ**

<sup>1)</sup> Шанкер Д., <sup>2)</sup> Али С.М., <sup>3)</sup> Сингх М.

<sup>1)</sup> *Индийский институт технологии в Рурки, Индия*

<sup>2)</sup> *Организация по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Вена, Австрия*

<sup>3)</sup> *Университет галготиас, Большая Ноуда, Индия*

Международная система мониторинга (МСМ), использующая четыре технологии – сейсмическую, гидроакустическую, инфразвуковую и радионуклидную, – в ожидании вступления в силу ДВЗЯИ работает в тестовом режиме, но даже сейчас данные мониторинга могут быть использованы учеными в социальных целях. Вклад одной из упомянутых технологий – сейсмической, в определение опасности землетрясений и в инженерную сейсмологию является огромным, развивающим и расширяющим знания. В данном аспекте в статье рассматривается индонезийский регион, ограниченный координатами  $-14^{\circ}$  ю.ш.– $10^{\circ}$  с.ш. и  $93^{\circ}$ – $141^{\circ}$  в.д., который является одним из самых сейсмически активных регионов Азиатско-Тихоокеанского пояса и кругового тихоокеанского пояса, где в последние сто лет возникали сильные и сильнейшие землетрясения. Для анализа взяты данные о землетрясениях за последние 19 лет от 13 июня 1999 г. до 10 июля 2017 гг. по сети МСМ, установленной Организацией по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний, Вена, Австрия. Анализ этих данных показал, что возникновение землетрясений согласуется с функцией Гумбеля (распределение экстремальных значений типа-I) и применимо к анализу данных с максимальной магнитудой с удовлетворительной степенью корреляции (0,96). Опасность землетрясения для индонезийского региона была определена количественно как повторяемость и вероятность их возникновения при заданных значениях магнитуды. Данное исследование показало, что наиболее вероятные сильнейшие ежегодные землетрясения близки по магнитуде к 6,0. Магнитуда наиболее вероятного сильнейшего землетрясения, которое может произойти в интервале 50 лет, оценивается как 6,8. Другие – средние и сильные землетрясения, – которые можно ожидать в данном регионе, могут быть полезными при инженерных изысканиях на определенных участках и в решении проблем планирования инфраструктуры в определенном регионе.

УДК 550.34.034

## РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В КАЗАХСТАНСКОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ЦЕНТРЕ ДАННЫХ (KNDC)

Гордиенко Д.Д., Комаров И.И., Смирнов Ю.А.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Рассмотрена реализация плана по совершенствованию, модернизации и введению новых программно-технических средств в Казахском национальном центре данных с целью повышения качества сбора, обработки и хранения данных в соответствии с современными требованиями и тенденциями развития информационных технологий.

### ВВЕДЕНИЕ

В 1999 г. на базе Института геофизических исследований в г. Алматы был создан Центр сбора и обработки специальной сейсмической информации, исполняющий в настоящее время функции Казахстанского национального центра данных (KNDC) в Международной системе мониторинга (в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний – ДВЗЯИ) [1].

Основными задачами KNDC являются сбор и передача данных с сейсмических и инфразвуковых станций, обработка поступающих данных, хранение и обмен данными с другими национальными и международными центрами, проведение различных научных исследований. Для решения этих и других задач на базе Центра создана сложная информационная система, включающая систему наблюдений, телекоммуникационное оборудование, каналы связи, компьютерное оборудование и программное обеспечение. Как любая другая система, информационная система Центра данных нуждается в постоянной модернизации в силу многих причин, таких, как применение новых версий программного обеспечения, возросшие требования к безопасности, увеличение объемов передаваемых и накопленных данных, дополнительные требования к качеству данных и др. В 2016 г. был разработан план модернизации информационной системы Центра данных, реализация которого была начата в 2017 г. и продолжается по настоящее время.

### СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ И КОММУНИКАЦИЙ И ОБМЕН ДАННЫМИ

На рисунке 1 показано расположение сейсмических и инфразвуковых станций на территории Казахстана, находящихся под оперативным управлением РГП «Институт геофизических исследований» [2], а на рисунке 2 – телекоммуникационная система передачи данных от сейсмических и инфразвуковых станций в KNDC и другие организации, сотрудничество с которыми ведется по ряду международных договоров и соглашений.

Из рисунка 2 видно, что, исходные сейсмические данные (в режиме реального времени) передаются в Международный центр данных в Вену, в Американский национальный центр данных во Флориду, в

Центр международного консорциума IRIS. Ведется обмен результатами обработки данных. Так, автоматический сейсмологический бюллетень передается в Европейский средиземноморский центр (EMSC) в Париж (Франция), заключительный интерактивный сейсмологический бюллетень поступает в Международный сейсмологический центр (ISC) в Англию, сводки по сильным землетрясениям мира передаются в Центр геофизической службы России в г. Обнинск.

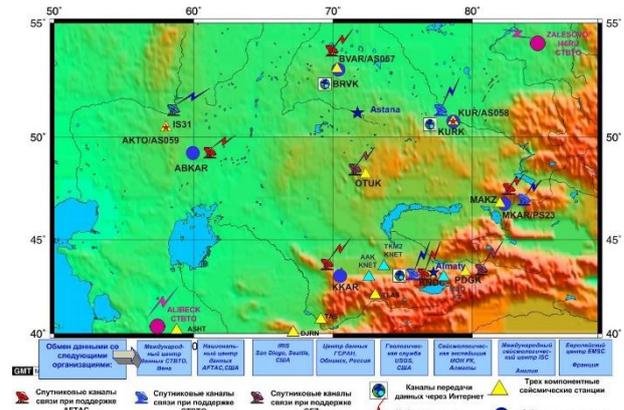


Рисунок 1. Расположение сейсмических и инфразвуковых станций, работающих под оперативным управлением Института геофизических исследований

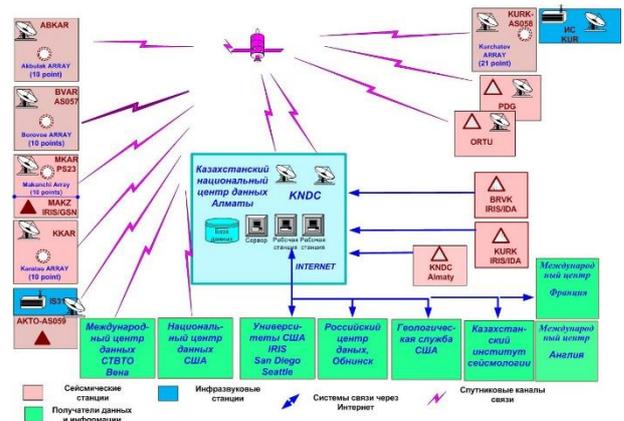


Рисунок 2. Коммуникационная схема передачи данных сети станций, работающих под оперативным управлением Института геофизических исследований

По запросу данными Центра пользуются специалисты разных стран. В то же время специалистам Центра данных в Казахстане доступна любая информация, имеющаяся в Международных центрах данных, как исходная, так и информация с результатами обработки.

#### СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ДАННЫХ И МОНИТОРИНГ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Объем данных, передаваемых коммуникационной системой, по современным меркам, невелик и составляет порядка 800 Мб принятых и 600 Мб отправленных данных в сутки. Однако к большинству данных предъявляются высокие требования по качеству и своевременности получения. Наиболее высокими являются требования к качеству данных первичных станций мониторинга, входящих в МСМ, таким как сейсмическая группа PS23-Маканчи (МКАР) [3] и инфразвуковая станция IS31-Актюбинск (I31KZ) [4]. Согласно требованиям МСМ объем полученных и передаваемых данным по этим станциям должен составлять более 98 процентов от максимально возможного.

На рисунке 3 приведена типовая схема маршрутизации данных для отдельно взятого пункта наблюдения, из которого видно, что данные на пути от сейсмической станции до системы хранения проделывают путь, включающий кольцевые буферы, преобразование форматов, маршрутизацию по локальным сетям, пересылку по каналам связи, копирование, архивирование и, в конечном итоге, обработку и хранение.

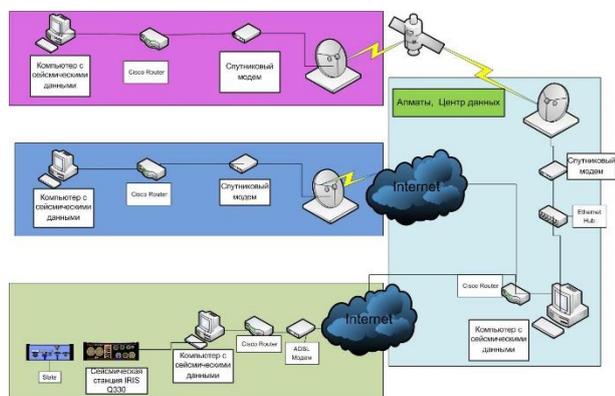


Рисунок 3. Типовая схема маршрутизации данных

На каждом из этих этапов возможны сбои, влекущие потери данных или задержку их поступления. Для контроля за поступлением данных создана автоматическая система, обеспечивающая расчет и статистический анализ качества и объемов поступающих данных [5]. Все результаты заносятся в специальную базу данных, доступ к которой возможен через веб-сайт Центра данных. Однако система не дает исчерпывающей информации о типе, локализации и не имеет возможности сигнализировать о случившейся внештатной ситуации. В мировой практике, начиная со второй половины нулевых годов XXI столетия,

для решения подобных проблем стали активно внедряться универсальные системы мониторинга, обеспечивающие контроль за состоянием объектов информационной инфраструктуры и обработку исключительных ситуаций [6]. С учетом этой практики в Центре данных на первом этапе проведено сравнение существующих в мире систем мониторинга и выбрана одна из наиболее перспективных и функциональных систем – ZABBIX [7], которая распространяется по лицензии GNU GPL2. ZABBIX имеет богатое сообщество пользователей, хорошую поддержку и расширенный программный интерфейс (API), что делает возможным интеграцию данной системы с другими программными сервисами Центра данных и его действующим веб-сайтом. С учетом возможностей ZABBIX, применительно к задачам Центра данных, планируется осуществить мониторинг следующих типов элементов информационной инфраструктуры:

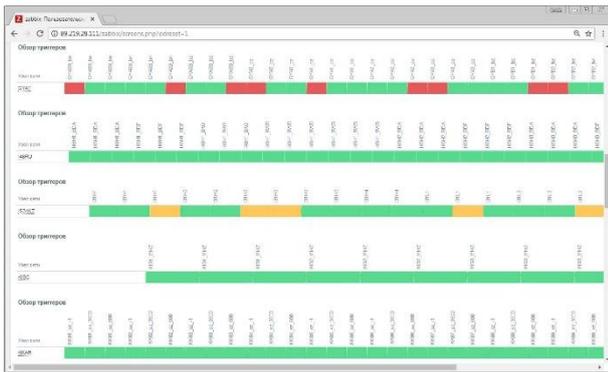
- мониторинг приложений, скриптов, сервисов;
- мониторинг почтового сервера, веб-сервера, сервера базы данных и др.;
- мониторинг журнальных файлов (файлов логирования и аудита);
- мониторинг сервера виртуализации, виртуальных машин и контейнеров;
- мониторинг элементов коммуникации (маршрутизаторы, коммутаторы);
- мониторинг периферийного оборудования (принтеры, сканеры, телефонные станции);
- мониторинг состояния элементов аппаратного обеспечения (жесткие диски, память, процессоры);
- мониторинг систем питания.

Процесс мониторинга основывается на том, что создается некий набор элементов, соответствующий набору наблюдаемых параметров. Каждый элемент, в свою очередь, связан с набором триггеров, настроенных на различные уровни входных параметров. Данные триггерам передают, так называемые агенты, получающие информацию от определенного источника. Получая и интерпретируя информацию о состоянии триггеров, ZABBIX выполняет предписанные ему действия.

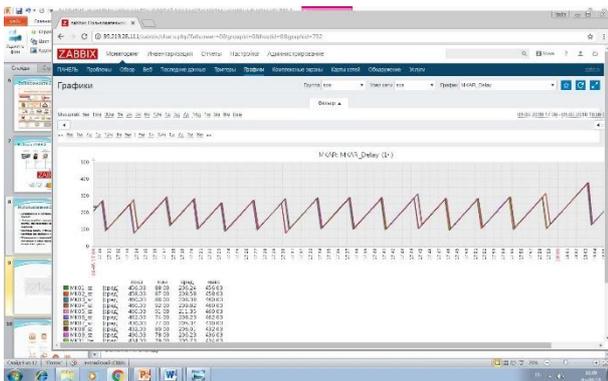
Из перечисленных возможностей ZABBIX в Центре данных реализован механизм, позволяющий системе мониторинга получать информацию о состоянии процессов поступления данных, об их задержках и статусе. Вся информация, проанализированная системой мониторинга, доступна в веб-интерфейсе ZABBIX, где можно выбрать наиболее подходящее ее представление: в зависимости от состояния триггеров (рисунок 4-а), в виде текущих значений, поступающих от агентов (рисунок 4-б).

Описанные сущности (элементы, агенты, триггеры и др.) системы мониторинга могут создаваться и настраиваться либо через веб-интерфейс, либо автоматически с помощью приложений, взаимодействующих через API ZABBIX. Ниже показан набор триг-

геров с различными пороговыми значениями (рисунок 5) и набор элементов (рисунок 6), где каждому элементу соответствует определенная сейсмическая станция, для каждой из которых создан набор триггеров, срабатывающих при определенных задержках поступления данных. В приводимом примере описывается ситуация, при которой задержка поступления данных менее 10 минут считается нормальной, но заслуживающей внимания; задержка от 10 минут до часа считается важной, требующей внимания, а задержка более часа считается чрезвычайной, при которой необходимо принимать меры.



а) представление информации о состоянии триггеров



б) представление информации в виде текущих значений наблюдаемой величины

Рисунок 4. Представление наблюдаемой информации в Веб интерфейсе системы ZABBIX

Важность	Имя	Выражения
Чрезвычайная	AAK_be	{AAK:db.odbc.select[AAK_be.Delay].last()}=-1
Предупреждение	AAK_be	{AAK:db.odbc.select[AAK_be.Delay].last()}>600
Средняя	AAK_be	{AAK:db.odbc.select[AAK_be.Delay].last()}>3600
Чрезвычайная	AAK_bn	{AAK:db.odbc.select[AAK_bn.Delay].last()}=-1
Предупреждение	AAK_bn	{AAK:db.odbc.select[AAK_bn.Delay].last()}>600
Средняя	AAK_bn	{AAK:db.odbc.select[AAK_bn.Delay].last()}>3600
Чрезвычайная	AAK_bz	{AAK:db.odbc.select[AAK_bz.Delay].last()}=-1
Предупреждение	AAK_bz	{AAK:db.odbc.select[AAK_bz.Delay].last()}>600
Средняя	AAK_bz	{AAK:db.odbc.select[AAK_bz.Delay].last()}>3600

Рисунок 5. Набор триггеров системы мониторинга Zabbix для контроля поступающих данных

Имя	Группы элементов данных	Элементы данных	Триггеры	Графики
AAK	Группы элементов данных 1	Элементы данных 3	Триггеры 9	Графики 1
ABKAR	Группы элементов данных 1	Элементы данных 12	Триггеры 36	Графики 1
AKTO	Группы элементов данных 1	Элементы данных 3	Триггеры 9	Графики 1
ASHT	Группы элементов данных 1	Элементы данных 6	Триггеры 18	Графики 1
BRVK	Группы элементов данных 1	Элементы данных 3	Триггеры 9	Графики 1
BVAR	Группы элементов данных 1	Элементы данных 12	Триггеры 36	Графики 1
DJRN	Группы элементов данных 1	Элементы данных 3	Триггеры 9	Графики 1
DZET	Группы элементов данных 1	Элементы данных 3	Триггеры 9	Графики 1
GYAT	Группы элементов данных 1	Элементы данных 12	Триггеры 36	Графики 1

Рисунок 6. Набор подконтрольных элементов, соответствующий списку станций

Представление информации и способ визуализации может изменяться в зависимости от задачи, возможна также группировка отдельных графиков и представлений в одну область просмотра.

На рисунке 7 показан сводный лист, где отображается состояние подконтрольных элементов и значений задержек поступающих данных по всей сети сейсмического мониторинга.

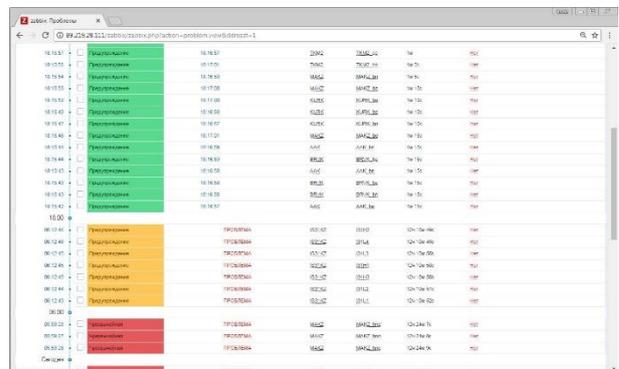


Рисунок 7. Сводный лист с информацией о задержках поступающих данных для всей сети сейсмического мониторинга

Кроме визуализации состояния элементов мониторинга через веб-интерфейс ZABBIX возможны и другие способы получения информации. Например, ZABBIX может отправлять сообщение по электронной почте, используя gsm-модем, возможна отправка sms-сообщения или же сообщения через электронный мессенджер, но крайне важной способностью ZABBIX является то, что он может сам предпринять попытки к устранению возникших проблем. Например, в некоторых случаях может быть перезагружен компьютер, перезапущена определенная программа или сервис, выполнена очистка жесткого диска и др.

**СИСТЕМА ВИРТУАЛИЗАЦИИ**

Следующим направлением развития информационных систем в Центре данных является внедрение и использование системы виртуализации. Актуальность данной задачи обусловлена несколькими причинами. Во-первых, начиная со времени создания Центра данных для задач сейсмической обработки основным парком компьютерной техники являлись рабочие станции SUN, работающие на платформе SPARC и операционной системе Unix, которые в настоящее время морально и физически устарели. В настоящее время происходит плановый переход на новое программное обеспечение, работающее на платформе x86 под операционной системой Linux. Следуя мировой тенденции, использование систем виртуализации позволяет значительно сократить экономические издержки на приобретение нового оборудования, когда вместо одного-двух десятков физических серверов используется один корпоративный сервер начального уровня. Во-вторых, благодаря множеству механизмов и технологий, применяемых в системах виртуализации как на программном, так и аппаратном уровне, повышается общая отказоустойчивость системы. В-третьих, система мониторинга ZABBIX имеет встроенные механизмы взаимодействия с системами виртуализации, что облегчает внедрение обеих систем.

Как и в случае выбора системы мониторинга, на первом этапе был проведен анализ существующих систем виртуализации, изучены существующие типы и способы их построения и выработано технически обоснованное решение. В качестве аппаратной платформы для построения системы виртуализации выбран сервер Supermicro CSE-825TQC. Благодаря использованию двух процессоров Xeon E5 и жестких дисков, подключенных через внешний RAID контроллер интерфейсом SAS2, сервер обладает высокими показателями производительности. Наличие двух блоков питания с функцией горячей замены обеспечивает отличные показатели отказоустойчивости. Сервер может использоваться для широкого спектра задач на предприятиях среднего масштаба. В качестве системы виртуализации выбрана система Proxmox

Virtual Environment (Proxmox VE) – система виртуализации с открытым исходным кодом, основанная на Debian GNU/Linux [8]. Proxmox в качестве гипервизоров использует KVM (Kernel-based Virtual Machine) и LXC (Linux Containers) и способна выполнять любые поддерживаемые KVM операционные системы (Linux, BSD, Windows и другие) с минимальными потерями производительности. KVM— программное решение, обеспечивающее виртуализацию в среде Linux на платформе x86, которая поддерживает аппаратную виртуализацию, а LXC – система виртуализации на уровне операционной системы для запуска нескольких изолированных экземпляров операционной системы Linux на одном узле. LXC не использует виртуальные машины, а создаёт виртуальное окружение с собственным пространством процессов и сетевым стеком. Все экземпляры LXC используют один экземпляр ядра операционной системы.

На рисунке 8 показаны различия в подходе использования двух видов виртуализации – виртуальных машин и контейнеров.

Система виртуализации Proxmox обладает функциями и возможностями, основными из которых являются:

- простое управление через веб-интерфейс;
- мониторинг нагрузки в реальном времени;
- статистика и информативные графики нагрузки сервера виртуализации и каждой виртуальной машины в отдельности – по оперативной памяти, сru, hdd, сети в разрезе последний час/день/неделя/месяц/год;
- библиотека установочных образов (в локальном или удаленном хранилище);
- подключение к «физической» консоли гостевых систем непосредственно из браузера;
- объединение серверов в кластер с возможностью живой миграции виртуальных машин (без остановки гостевой системы);
- быстрое развертывание гостевых систем из шаблонов;

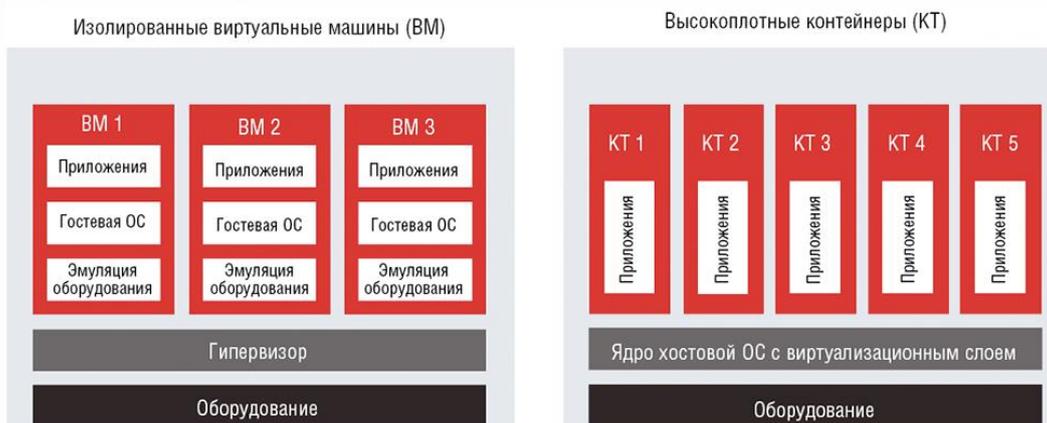


Рисунок 8. Принцип организации двух систем виртуализации – виртуальных машин и контейнеров

- сохранение образа состояния виртуальной машины (snapshot), формирование дерева состояний и возможность отката на любую из точек;

- автоматическое резервное копирование виртуальных машин.

Управление виртуальными машинами и администрирование самого сервера Proxmox проводятся через веб-интерфейс, либо через стандартный интерфейс командной строки Linux (рисунок 9). Для создаваемых виртуальных машин доступно множество опций: используемый гипервизор, тип хранилища (файл образа или LVM), тип эмулируемой дисковой подсистемы (IDE, SCSI или VirtIO), тип эмулируемой сетевой карты, количество доступных процессоров и другие. С сайта разработчиков можно загрузить готовые шаблоны (как дистрибутивы общего назначения, так и настроенные под конкретную задачу, например MySQL сервер, веб сервер, сервер контроля версионности Git и др.). Также можно создавать и собственные шаблоны, либо конвертировать настроенные операционные системы в шаблон.

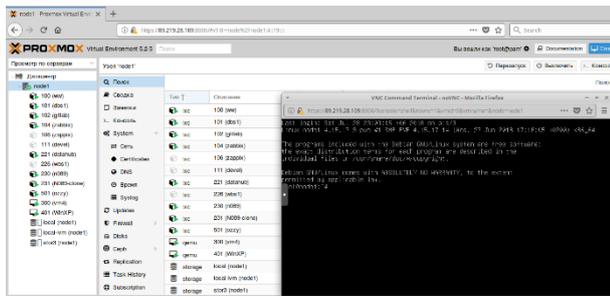


Рисунок 9. Веб интерфейс системы виртуализации Proxmox

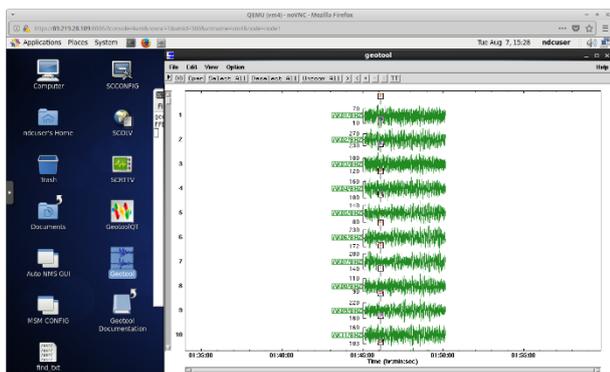


Рисунок 10. Пример работающего программного обеспечения NDC-in-a-Box на виртуальной машине с доступом через веб-браузер

Построенная система уже включена в повседневную эксплуатацию и на ее платформе работает несколько серверов и рабочих станций под управлением Linux и Windows. Так, например, созданы виртуальные машины с установленными pop3/smtp/imap4, dns, proxy и др. серверами. В среде виртуальных контейнеров работает веб сервер Центра данных, сервер баз данных, сервер мониторинга ZABBIX, программ-

ное обеспечение для получения данных от отдельных сейсмических станций. На рисунке 10 показано, как на виртуальной машине Linux функционирует пакет программного обеспечения для получения и анализа сейсмических, гидроакустических, инфразвуковых и радионуклидных данных – NDC-in-a-Box, предоставляемый национальным центрам данных для работ в поддержку ДВЗЯИ [9].

Для повышения надежности организовано автоматическое резервное копирование снимков операционных систем по расписанию. Существует также резервный сервер Proxmox, на котором при необходимости можно развернуть любой из созданных архивов. В перспективе планируется приобретение и установка еще нескольких серверов для системы виртуализации Proxmox, что позволит создать кластер серверов, обеспечивающий более высокую надежность и производительность.

### РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ НОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ЗАДАЧ СЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Для создания целостной рабочей системы и в рамках перехода на операционные системы Linux необходимо написание большого количества собственных программ или адаптация существующих. Первой из приоритетных задач является установка и настройка новой версии программы для автоматического детектирования и локализации сейсмических событий DP/EP (Data Processor/Evaluation Plan), представленной на безвозмездной основе Норвежским национальным центром данных – NORSAR [10]. Новое программное обеспечение позволяет повысить точность локализации сейсмических событий для ряда районов Казахстана и Центральной Азии в автоматическом режиме, а также увеличить количество детектируемых событий. Второй приоритетной задачей является создание комплекса программ для загрузки и хранения данных в формате CSS3.0 (Center for Seismic Studies v.3.0) в базах данных MySQL, а также манипуляций с ними. Разработка выполнена на языке Python3. Для решения некоторых задач использовался дополнительный фреймворк ObsPy - проект с открытым исходным кодом, предназначенный для обработки сейсмических данных. Созданы и продолжают разрабатываться программы для расчета азимутов сейсмических событий, расчета магнитуд и энергетического класса, преобразования форматов, копирования и верификации данных и др.

Для повышения эффективности программного обеспечения изучен и внедрен еще один программный продукт – система контроля версий Git [11] – набор консольных утилит, отслеживающих изменения в файлах (исходных файлах программ, но не ограниченных ими). Использование Git позволяет вести корпоративную разработку, фиксировать и отслеживать изменения проектов и файлов, анализировать и проводить тестирование различных версий. Git является распределенным, не зависит от одного централь-

ного сервера, на котором хранятся файлы и работает полностью локально, сохраняя данные в папках на жестком диске - репозитории. Тем не менее, существует возможность сохранения репозитория онлайн, что сильно облегчает совместную работу над проектом команды разработчиков. Для этой цели в виртуальном пространстве Центра данных создан веб-сервер Git – GitLab (рисунок 11).

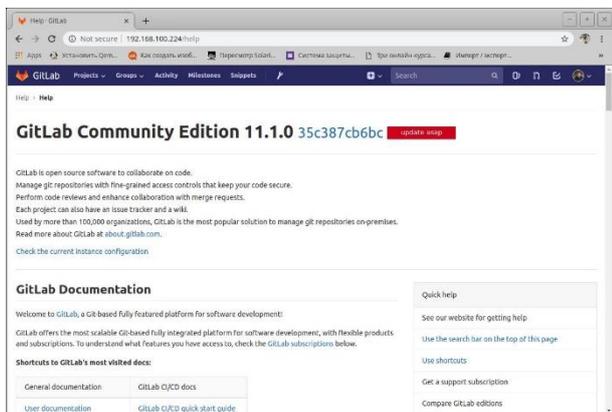


Рисунок 11. Веб-интерфейс виртуального Git-сервера GitLab

Git значительно облегчает работу на каждом из этапов разработки программного обеспечения (написание программного кода, тестирование, отладка, ввод в эксплуатацию), благодаря встроенным механизмам ветвления, фиксации изменений, контроля версионности, сервер GitLab позволяет обмениваться исходным кодом, вести независимое выполнение некоторых этапов, а встроенная в GitLab база знаний wiki позволяет хранить справочную информацию и вести документацию по каждому из проектов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основной задачей модернизации, проводимой в Казахском национальном центре данных, является создание новой функциональной, масштабируемой и высокотехнологичной информационной системы с использованием современных программно-технических решений, основанных, главным образом, на свободно распространяемом и открытом программном обеспечении. Модернизация затрагивает многие значимые элементы информационной системы, построенной в Казахском национальном центре данных, и непосредственно влияет на качество решения задач, возложенных на Центр данных в рамках выполнения международных договоров и соглашений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Тухватулин, Ш.Т. Система геофизического мониторинга, созданная в Национальном ядерном центре Республики Казахстан, и ее возможности / Ш.Т. Тухватулин, Л.Н Тихомиров, Н.Н. Беляшова, Н.Н. Михайлова, В.Н. Демин, В.Г. Марченко, И.И. Комаров // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2. – С. 5–8.
2. Михайлова, Н.Н. Казахский центр сбора и обработки специальной сейсмической информации: функции, задачи, система телекоммуникаций, базы данных / Н.Н. Михайлова, И.И. Комаров, З.И. Синева, И.Н Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2001. – Вып. 2. – С. 21–26.
3. Михайлова, Н.Н. Оценка эффективности сейсмической группы PS23-Маканчи при регистрации региональных и телсейсмических событий / Н.Н. Михайлова, З.И. Синева // Вестник НЯЦ РК. – 2004. – Вып. 2. – С. 13–19.
4. Демин, В.Н. Новая инфразвуковая станция международной системы мониторинга в Казахстане IS31 «Актюбинск» / В.Н. Демин, В.Г. Кунаков, А.А. Смирнов // Вестник НЯЦ РК. – 2002. – Вып. 2. – С. 14–18.
5. Гордиенко, Д.Д. Система контроля качества данных в Центре сбора и обработки специальной сейсмической информации / Д.Д. Гордиенко, Н.А. Сейнасинов // Вестник НЯЦ РК. – 2009. – Вып. 2. – С. 113–118.
6. [Электронный ресурс]: <https://haydenjames.io/20-top-server-monitoring-application-performance-monitoring-apm-solutions>.
7. Olups R. Zabbix: Enterprise Network Monitoring Made Easy / A. Vacche, P. Uytterhoeven // Packt Publishing Ltd, 2017
8. [Электронный ресурс]: <https://www.proxmox.com/en/proxmox-ve>
9. [Электронный ресурс]: [https://www.ctbto.org/fileadmin/user\\_upload/legal/treaty\\_text\\_Russian.pdf](https://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/legal/treaty_text_Russian.pdf)
10. Fyen, J. Event processor program package. In: NORSAR Semiannual Technical Summary. 1 Oct 1988 – 31 Mar 1989. Scientific Report 2-88/89, Kjeller, Norway.
11. [Электронный ресурс]: <https://git-scm.com/>

### ҰЛТТЫҚ ҚАЗАҚСТАНДЫҚ ДЕРЕКТЕР ОРТАЛЫҒЫНДА (KNDC) АҚПАРАТТЫҚ ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫ ДАМУ

Д.Д. Гордиенко, И.И. Комаров, Ю.А. Смирнов

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Ақпараттық технологияларды дамытудың заманауи талаптары мен үрдістеріне сәйкес деректерді жинаудың, өңдеудің және сақтаудың сапасын жоғарлату мақсатымен Ұлттық қазақстандық деректер орталығында жаңа бағдарламалық-техникалық құралдарды жетілдіру, жаңғырту және енгізу бойынша жоспарды іске асыру мәселесі қарастырылды.

**DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGIES  
AT THE KAZAKHSTAN NATIONAL DATA CENTER (KNDC)**

**D.D. Gordiyenko, I.I. Komarov, U.A. Smirnov**

*Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan*

The paper presents an implementation of a plan on improvement, upgrade and introduction of new software and technical means in Kazakhstan National Data Center for the purposes of improving the quality of data acquisition, processing and storage in accordance with modern requirements and trends of information technologies' development.

УДК 621.039.75

**СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**

Гвишиани А.Д., Татаринов В.Н.

*Геофизический центр РАН, Москва, Россия*

Рассмотрены методологические аспекты системного подхода к решению проблемы прогноза геодинамической устойчивости геологической среды при подземной изоляции радиоактивных отходов в геологических формациях. Системный подход выступает как способ организации научных исследований и является не только методом решения проблемы, но и методом постановки задач. Он особенно важен на первом этапе сбора и систематизации разноплановых геолого-геофизических данных. Системный подход помогает сосредоточить усилия на выявлении фундаментальных закономерностей в тектоническом строении и геодинамическом режиме развития региона, которые определяют сохранность изоляционных свойств геологической среды на весь срок радиобиологической опасности радиоактивных отходов.

Обоснование пригодности геологической среды для подземной изоляции высокоактивных радиоактивных отходов (РАО) – важнейшая экологическая проблема, стоящая перед Россией и другими развитыми странами, использующими ядерные технологии. За период интенсивного развития атомной промышленности в России накоплен огромный объем радиоактивных отходов РАО активностью более  $5,9 \times 10$  млрд. Кюри. Для их удаления из среды обитания человека было принято решение о создании пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов (ПГЗРО) в Красноярском крае (Нижнеканский массив). В 2019 г. начинается строительство подземной исследовательской лаборатории (ПИЛ) для подтверждения безопасности подземной изоляции радиоактивных отходов 1 и 2 классов.

Главный принцип геоэкологической безопасности ПГЗРО – обеспечение сохранности изоляционных свойств пород структурно-тектонического блока (СТБ), вмещающего ПГЗРО, на весь срок радиобиологической опасности РАО, который превышает 10 тыс. лет. Изоляционные свойства СТБ определяются комплексом тектонических, гравитационных и техногенных полей напряжений, которые в зависимости от прочностных свойств массива горных пород влияют на структурную нарушенность среды.

Для описания взаимодействия геологической среды и инженерных объектов широко применяется понятие «устойчивость геологической среды». В приложении к проблеме подземной изоляции высокоактивных РАО нами введен термин – «устойчивость структурно-тектонического блока» [3, 4] под которым понимается его способность при природных и техногенных воздействиях сохранять или изменять свои свойства и состояние в таком диапазоне, который не приведет к потере изоляционных свойств породного массива и выходу радионуклидов за его пределы на весь период радиобиологической опасности РАО.

Под научно-методическим руководством ИБРАЭ РАН в 2018 г. был подготовлен «Стратегический ма-

стер-план исследований в обоснование безопасности сооружения...» [5] и утверждена «Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов» [12]. Разработка документов и Программы исследований в ПИЛ выявили целый ряд существенных пробелов и неопределенностей в информации о геологической среде, которая необходима, согласно существующим нормативным документам. Например, глубокие скважины на участке Енисейский были пройдены за пределами структурного тектонического блока, в котором запланировано размещение ПГЗРО. Отсутствует описание керна скважин, нет достоверной геологической карты земной поверхности масштаба 1:2000. Кроме этого, часть экспериментального материала, в частности, данных геофизического изучения участка Енисейский, была утеряна и т.д. Для ликвидации этих пробелов необходимы дополнительные финансовые ресурсы и время.

Системная оценка факторов, определяющих длительную устойчивость геологической среды, помогает избежать подобных ошибок как на начальной стадии сбора данных, так и на последующих этапах, включая обоснование комплекса инструментальных наблюдений в выработках ПИЛ. В связи с этим для системного анализа информации был разработан холистический подход (оценка свойств системы в целом с последующим изучением при необходимости ее частей), определяющей пригодность структурного тектонического блока для захоронения высокоактивных РАО.

Этот подход основан на изучении геологической среды как системы, учитывающей составляющие любого материального объекта – элемент, связь, взаимодействие, а также влияние внешней среды (рисунок 1) [9, 15].

При оценке устойчивости необходимо учитывать состояние и взаимодействие двух систем – сам объект и вмещающую его среду. В соответствии с главным принципом системного подхода – иерархичностью (под которой понимается наличие множества элементов, расположенных на основе подчинения

элементов низшего уровня элементам высшего уровня), тип объекта, время эксплуатации и геометрические размеры определяют пространственно-временные параметры среды, которые должны быть исследованы [9].



Рисунок 1. Схема компонентов системы «Геологическая среда»

В соответствии с другим методологическим принципом – поиском «слабого звена», мы рассматриваем только те параметры, которые оказывают решающее влияние на геодинамическую устойчивость структурного блока, интегрируя в себе различные виды воздействий [10]. Например, для ПГЗРО наиболее важными факторами являются современные движения земной коры, скорости деформаций и напряжения, структурная нарушенность и упруго-прочностные свойства горных пород.

При этом возникает вопрос о возможности или невозможности прогнозирования траекторий развития нелинейных геодинамических систем. В основе представлений о нелинейных системах лежат положения [11] о нестабильности процессов, протекающих в открытых для энерго- и массообмена системах. Существенный вклад в понимание нелинейности процессов в геологической среде внес академик М.А. Садовский. Главная идея, изложенная в его трудах, заключается в том, что нелинейность — это фундаментальное свойство горных пород. Модель «геофизической среды», используемая при математическом моделировании, базируется на следующих положениях:

- 1) среда состоит из иерархической последовательности блоков, прочность которых значительно больше разделяющих их прослоек;
- 2) структурные блоки в различной степени «насыщены» энергией, поступающей из внешних сис-

тем. Достигнув неустойчивого состояния, некоторые блоки «сбрасывают» энергию, вызывая деформирование среды в асейсмичных районах или ее разрушение в сейсмических областях;

3) деформирование сопровождается образованием в геологической среде пространственных структур, которые можно рассматривать как самоорганизацию среды, служащую для трансформации энергии;

4) накапливаемая потенциальная энергия в структурных объемах среды диссипируется, в основном, на иерархической системе поверхностей (границы блоков, земная поверхность, обнажения горных выработок и др.).

Общая методология прогноза устойчивости районов подземной изоляции РАО основана на двух фундаментальных тезисах:

1 – геологическая среда – это *динамическая активная система*, имеющая внутренние и внешние геодинамические источники дестабилизации;

2 – геологическая среда *иерархически устроена и пространственно структурирована*; накапливаемая в среде потенциальная энергия диссипируется в основном на иерархической системе трещин.

Исходя из этого, представляется необходимым на начальной стадии выбора района для захоронения РАО с позиций определения его устойчивости решить 3 основные задачи:

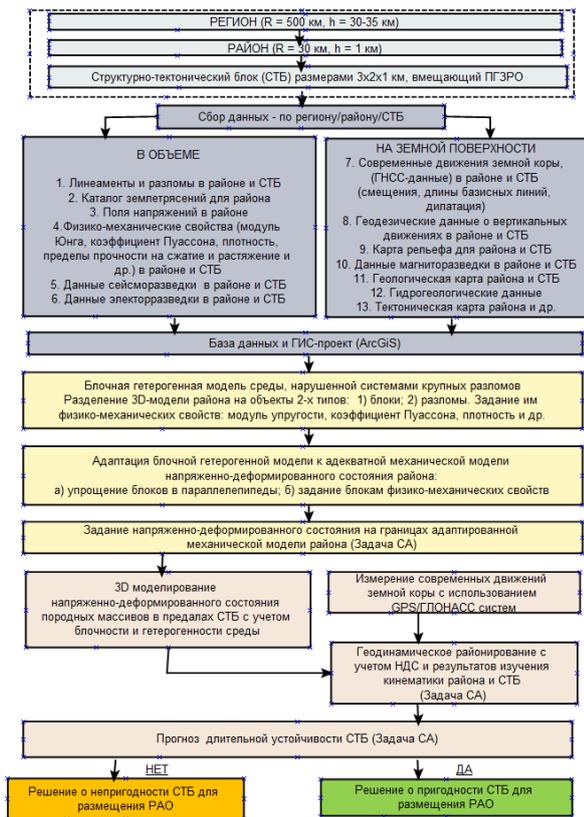
- а) изучить структурную нарушенность, блочность, анизотропию, дислоцированность и упругие свойства породного массива;
- б) исследовать закономерности распределения и изменения во времени полей напряжений;
- в) дифференцировать территории по степени кинематической подвижности структурно-тектонических блоков на основе методов космической геодезии.

Методология системного подхода к анализу информации, например, по Квейду [7], включает в себя составляющие, которые, по сути, представляют собой последовательные этапы НИР при выборе мест захоронения РАО:

1. Задачи – определение проблемы, выявление целей и определение границ решения.
2. Поиск – создание баз данных и определение средств достижения целей.
3. Толкование – построение моделей, их использование и анализ.
4. Реализация – агрегирование наиболее вероятной альтернативы или курса действий.
5. Подтверждение – экспериментальная проверка решений.

На рисунке 2 представлена схема, которая детально описывает системно-аналитический подход, разработанный в рамках проекта РФ № 18-17-00241 и представляющий собой упорядоченный по времени пошаговый анализ устойчивости структурного блока, вмещающего ПГЗРО.

**СИСТЕМНАЯ ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ  
ПРИ ЗАХОРОНЕНИИ ВЫСОКОАКТИВНЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ОТХОДОВ**



*Рисунок 2. Схема системного анализа (СА) геолого-геофизических данных в приложении к прогнозу устойчивости структурно-тектонического блока на основе холистического подхода*

В основе прогноза лежит многокомпонентная *структурно-тектоническая модель* объекта исследования, основное назначение которой – выделение структурных элементов среды и прогноз их эволюции под воздействием меняющихся во времени полей напряжений. Структурно-тектоническая модель создается на основе использования существующих геологических, геофизических и геоморфологических методов выделения структур и изучения современных движений земной коры (СДЗК), картографический метод, включая дешифрирование аэро- и космоснимков, тектонофизический, орографический, морфометрический, изучение поверхностей выравнивания и другой информации.

Модель реконструкции тектонического режима территории необходима для задания граничных напряжений в математических моделях. Поле тектонических напряжений изменяется в пространстве и времени, часто сохраняя унаследованные тенденции предшествующего периода развития, индикатором которых являются структурно-тектоническая нарушенность и геоморфологические характеристики. Из теории анализа временных рядов известно, что при решении задач подобного рода длина временного ряда, на основе которого проводится экстраполяция, должна в 3...5 раз превышать временной интервал прогноза.

При идентификации разновозрастных геодинамических режимов принимается во внимание вся совокупность тектонических элементов и структурных парагенезисов в структурных блоках, возникавших в разные этапы проявления тектонических деформаций. Наиболее стабильную тектонофизическую обстановку имеют те блоки, где современное поле тектонических напряжений характеризуется низкими абсолютными значениями главных нормальных и касательных (скальвающих) напряжений при минимальных скоростях вертикальных движений поверхности.

На основе структурных моделей и моделей тектонического режима задаются граничные условия для расчетов напряженно-деформированного состояния среды, которые позволяют выделить участки с максимальными значениями интенсивности напряжений  $\sigma_i$  и их сдвиговой компоненты  $\tau_{xy}$  как вероятных мест разрушения породных массивов. Оценка устойчивости структурных блоков основана на сопоставлении вычисленных значений  $\sigma_i$  и  $\tau_{xy}$  с прочностными критериями. Критериями выделения потенциально неустойчивых геодинамических зон могут быть превышения интенсивности напряжений прочностных пределов пород и участки максимальных градиентов интенсивности напряжений. В качестве прочностного критерия для структурного блока может использоваться энергетическое предположение: разрушение структурных блоков происходит тогда, когда их потенциальная энергия формоизменения (деформирования) достигает определенного предела. Отсюда, оценивать потенциальную энергию среды можно по величине  $\sigma_i$  как меры устойчивости [1].

Источником проверки прогнозных моделей являются инструментальные методы. В ряде случаев только методы космической геодезии, основанные на применении спутниковых систем GPS/ГЛОНАСС, позволяют выявить закономерности в пространственно-временном изменении деформационных полей на локальных геодинамических полигонах размера от 10 до 100 км [6, 13, 14].

Не имея возможности в рамках данной статьи проиллюстрировать все этапы работ, представленные на рисунке 2, остановимся на одном примере – поиске структурных неоднородностей по данным анализа карты аэромагнитной съемки масштаба 1:200 000 [1, 3]. Аномальная составляющая магнитного поля Земли, полученная как разность наблюдаемой напряженности магнитного поля  $T_{набл}$  и напряженности нормального магнитного поля Земли  $T_{МПЗ}$ :  $\Delta T = T_{набл} - T_{МПЗ}$ , отражает ряд глубинных неоднородностей (литологические границы, магматические структуры, дайки, разломную тектонику и др.). Получение сведений о гранитном массиве связано с жилами роговообманковых порфириров, содержащими до 3 % магнетита и ильменита, а также с гиперстеновыми гнейсами. Перекрывающие осадочные породы практически немагнитны, поэтому положение верх-

них кромок аномалеобразующих объектов является маркером поверхности пород кристаллического основания.

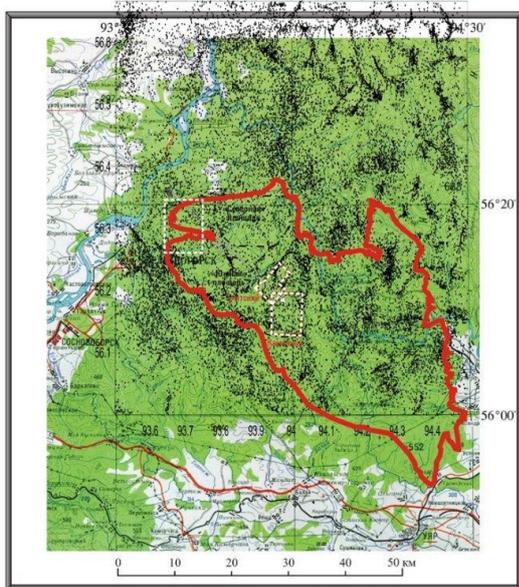


Рисунок 3. Результаты интерпретации аномального магнитного поля: множество эквивалентных дипольных источников, полученное на основе метода деконволюции Эйлера для Нижнеканского массива

Помимо положения особых точек, маркирующих кровлю, во многих случаях может быть установлено положение особых точек, связанных с центрами магнитных масс локализованных объектов. Такие точки трассируют объекты, которые могут быть физически отождествлены с жилами порфириров или высокомагнитными гнейсами в составе кристаллического основания. Для определения положения особых точек использованы методы, основанные на кластерном анализе положения эквивалентных источников, получаемых из локальной линейной псевдоинверсии (метод деконволюции Эйлера). Для анализа использованы алгоритмы кластерного анализа *RODIN* и *КРИСТАЛЛ*, разработанные в ГЦ РАН под руководством акад. А.Д. Гвишиани на основе принципов нечеткой логики [2].

Интерпретация ведется в три этапа. Сначала вычисляются значения аномалий  $\Delta T$  и их производных в узлах регулярной сетки. Для этого применяется специальная модификация метода истокообразных аппроксимаций, адаптированная к особенностям аномальных магнитных полей. Дальнейшая интерпретация основана на предположении о гармоничности поля аномалий  $\Delta T$ , что верно лишь приближенно в случае малых амплитуд аномалий. Поэтому на первом этапе также выполняется соответствующая коррекция, которая позволяет восстановить "гармонический компонент"  $\Delta T_0$ , равный величине проекции вектора аномального поля на направление нормального поля. Затем определяются положения множества эк-

вивалентных дипольных источников, каждый из которых аппроксимирует наблюдаемое поле в окне, перемещаемом последовательно по профилям. На рисунке 3 приведено положение множества эквивалентных источников, полученное на основе метода деконволюции Эйлера.

На следующем этапе проводится кластеризация множества источников с целью выделения плотных скоплений, отвечающих центрам магнитных масс. Для этого использован метод разбраковки множества эквивалентных источников, основанный на принципах искусственного интеллекта. Использовано представление о том, что эквивалентные источники, происходящие из скользящих окон, в которых доминирует влияние одной и той же особой точки поля объектов (для эквивалентных диполей - центра магнитных масс), должны формировать плотные скопления вблизи положения соответствующих особых точек. Те же решения, которые происходят из скользящих окон, где аномальное поле не может быть описано посредством простейшей модели поля точечного источника, случайным образом рассеяны в пространстве.

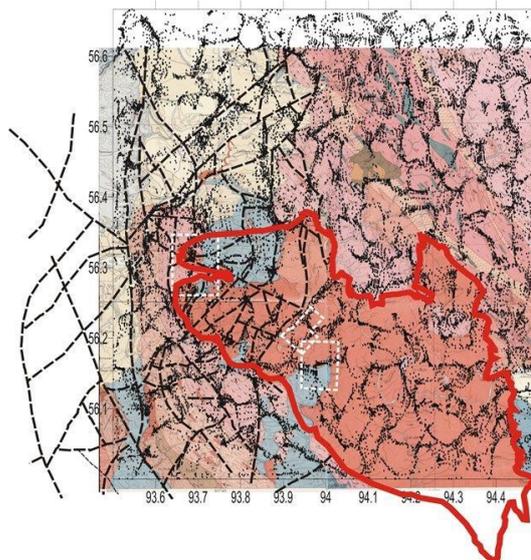
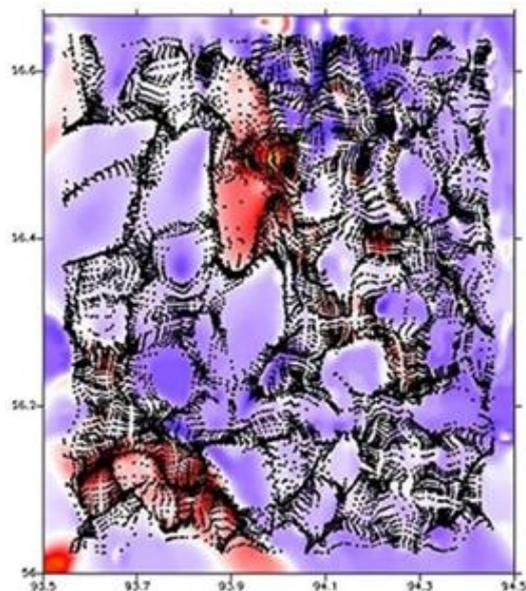


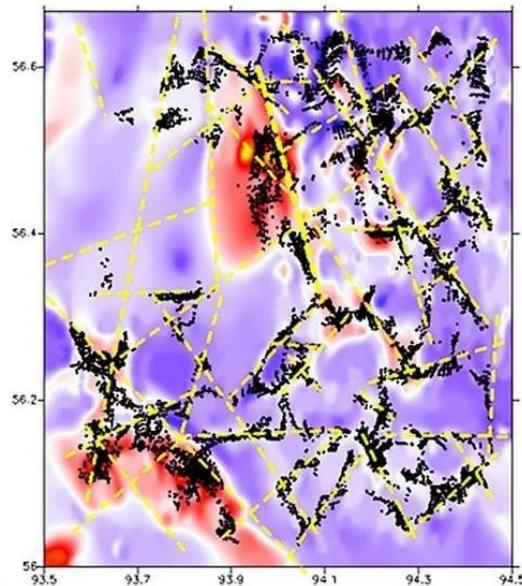
Рисунок 4. Результаты интерпретации аномального магнитного поля: положения особых точек, полученные методом линейной псевдоинверсии после применения алгоритмов *RODIN* и *КРИСТАЛЛ* для  $n = 0,5$  и палетки 7 с геологической основой и разломами (показано пунктиром) по данным Лобацкой Р.М. [8]

Для определения глубины верхних кромок аномалий использована величина структурного индекса  $n = 0,5$ . Методом линейной псевдоинверсии получено 25371 оценок положения особых точек. После кластерного анализа выделено 16183 точки, образующие плотные скопления. Глубины этих точек были интерполированы с использованием метода оптимальной интерполяции («крайгинга») на равномерную сетку с шагом 1 км. Получившаяся карта оценки глубины кровли кристаллических пород основания показана на рисунке 4 [1, 2]. Для определения положения цен-

тров магнитных масс аномалообразующих объектов использовалось положение особых точек при значении структурного индекса  $n = 3,0$ . Из общего количества решений – 24903 в результате кластерного анализа было отобрано 15864 точки, образующих плотные скопления.



а) аномалии связаны с кровлей аномалообразующих масс



б) аномалии связаны с центром аномалообразующих масс

Красный цвет – прогнозируемое положение зоны глубинной аномалии;  
желтый пунктир – возможная линейная геодинамическая зона

Рисунок 5. Расположение всех аномалообразующих источников, связанных с кровлей и с центром аномалообразующих масс, и прогнозная схема положения зон глубинных аномалий и возможных линейных геодинамических зон [1]

На рисунке 5 красным цветом выделены зоны глубинных аномалообразующих объектов, которые могут быть связаны с глубинными зонами нарушений фундамента. Выделяются две крупные зоны по северному и южному контуру массива. Южная зона связана с сочленением Муратовского и 1-го и 2-го Красноярских разломов. Положение линейных геодинамических зон на рисунке 5-б получено по двум признакам. Во-первых, они являются кромками намагнитченных блоков пород основания, а потому связаны с положением особых точек аномального поля  $\Delta T$ , и их простирание можно определить, трассируя положение особых точек, маркирующих верхние кромки. Во-вторых, если эти зоны разломов, по которым в прошлом происходили движения сбросового и взбросового типов, выражаются в резком изменении глубины поверхности кристаллических пород, их положение может быть дешифрировано по градиентам глубин поверхности фундамента.

Отмечается хорошая согласованность генерального направления линейных геодинамических зон (рисунок 5-б) трех направлений – запад-восток, северо-запад – юго-восток и северо-восток – юго-запад. Это коррелирует с директивными направлениями изгибов русла р. Енисей. Необходимо отметить, что около 30 % линейных зон не связано с геологическими данными. Поэтому это могут быть: а) зоны сильномагнитных пород, возникшие при образовании НКМ; б) залеченные зоны трещиноватости, разломов и контактов с интрузивными телами; в) тектонические нарушения, не обнаруженные ранее. Потому, при выборе участка для захоронения РАО необходима проверка полученных аномалий детальными геолого-геофизическими работами.

Было также установлено, что в строении массива преобладают изометричные структурные блоки с размерами в диапазоне 5–10 км. На рисунке 6 показана гистограмма распределения их размеров, полученных из анализа результатов интерпретации данных аэромагнитной съемки.

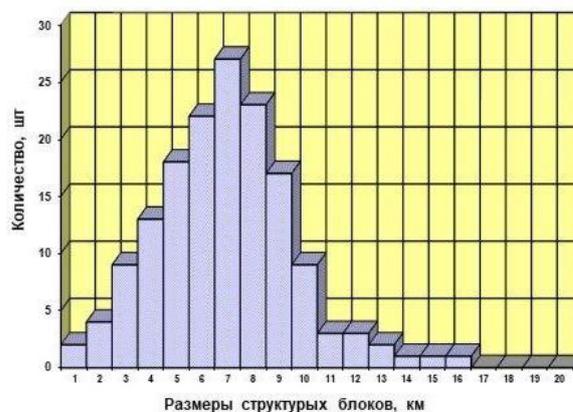
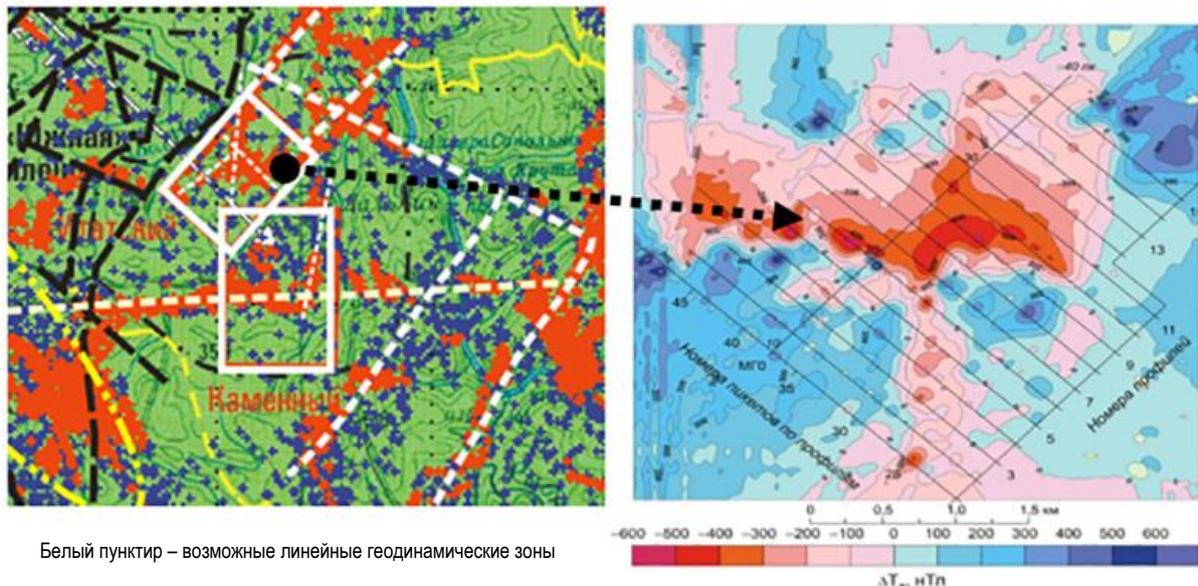


Рисунок 6. Гистограмма размеров структурных блоков НКМ по результатам обработки аномального магнитного поля в пределах района исследования [1]



Белый пунктир – возможные линейные геодинамические зоны

а) аэромагнитная съемка, участки Итатский и Каменный

б) наземная магнитная съемка, участок Итатский

Рисунок 7. Укрупненный фрагмент интерпретации данных аэромагнитной съемки (участки Итатский и Каменный) и результаты наземной магнитной съемки масштаба 1:25 000 (участок Итатский)

Как следует из рисунка 6, средний размер блоков составляет 7 км, около 80 % структурных блоков имеют размеры в диапазоне от 4 до 10 км. Этот результат можно использовать в тектонофизических построениях при прогнозе сейсмической опасности района. На рисунке 7 приведены укрупненный фрагмент интерпретации данных аэромагнитной съемки (участки Итатский и Каменный) и данные наземной магнитной съемки масштаба 1:25 000 (участок Итатский). Видно совпадение простираения аномалий, что подтверждает достоверность выполненной обработки карты аэромагнитной съемки масштаба 1: 200 000.

Таким образом, системный подход помогает получить дополнительные знания о геологической среде, его качественной определенности, закономерностях существования, механизмах взаимодействия элементов, характере и содержании их связей и отно-

шений. При исследовании конкретных процессов и явлений он собирает в себя методологические уровни и соединяет в себе понятийно-категориальный аппарат целого ряда научных дисциплин в области наук о Земле. Только таким образом можно решить сложнейшую задачу обеспечения геозекологической безопасности подземной изоляции РАО в условиях объективно существующей неопределенности исходной информации.

**Благодарность.** Авторы благодарны своим коллегам С.М. Агаяну, Ш.Р. Богоутдинову, В.Н. Морозову, результаты исследований которых использованы в статье.

*Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 18-17-00241).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Андерсон, Е.Б. Подземная изоляция радиоактивных отходов / Е.Б. Андерсон, С.В. Белов, Е.Н. Камне, И.Ю. Колесников, Н.Ф. Лобанов, В.Н. Морозов, В.Н. Татаринов. – М.: Издательство «Горная книга», 2011. – 592 с.
2. Гвишиани, А.Д. Алгоритмы искусственного интеллекта для кластеризации магнитных аномалий / А.Д. Гвишиани, М. Диаман, В.О. Михайлов, А. Гальдеано, С.М. Агаян, Ш. Р. Богоутдинов, Е.М. Граева // Физика Земли. – 2002. – № 7. – С. 13–28.
3. Гвишиани, А.Д., Методы искусственного интеллекта при оценке тектонической стабильности Нижнеканского массива / А.Д. Гвишиани, С.В. Белов, С.М. Агаян, М.В. Родкин, В.Н. Морозов, В.Н. Татаринов, Ш.Р. Богоутдинов // Инженерная экология. – 2008. – № 2. – С. 3–14.
4. Гвишиани, А.Д. Системный анализ в горных науках и уменьшении природного ущерба / А.Д. Гвишиани, Л.А. Вайсберг, В.Н. Татаринов, А.И. Маневич // Системный анализ: моделирование и управление: Материалы международной конференции, посвященной памяти академика А.В. Кряжмского. – М.: Математический институт им. В.А. Стеклова РАН. – 2018. – С. 43–45.
5. Дорофеев, А.Н. Стратегический мастер-план исследований в обоснование безопасности сооружения, эксплуатации и закрытия пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов / А.Н. Дорофеев, Л.А. Большов, И.И. Линге, С.С. Уткин, Е.А. Савельева // Радиоактивные отходы. – 2017. – №1. – С. 33–42.

6. Кафтан, В.И. Методика и результаты определения движений и деформаций земной коры по данным ГНСС на геодинамическом полигоне в районе захоронения радиоактивных отходов / В.И. Кафтан, А.Д. Гвишиани, В.Н. Морозов, В.Н. Татаринцов // Современные проблемы дистанционного зондирования из космоса. – 2019. – №1. – С.83–94. – С. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-83-94.
7. Квейд, Э. Анализ сложных систем / Под ред. И. И. Андреева, И. М. Верещагина. – М.: Советское радио. – 1969. – 520 с.
8. Лобацкая, Р.М. Неотектоническая разломно-блоковая структура зоны сочленения Сибирской платформы и Западно-Сибирской плиты / Р.М. Лобацкая // Геология и геофизика. - 2005. – т. 46, № 2. – С. 141–150.
9. Морозов, В.Н. Методика выбора участков земной коры для размещения экологически опасных отходов / В.Н. Морозов, В.Н. Татаринцов // Геоэкология. - 1996. – № 6. – С. 109–120.
10. Морозов, В.Н. Прогнозирование устойчивости геологической среды при выборе мест размещения и эксплуатации объектов ядерного топливного цикла / В.Н. Морозов, В.Н. Татаринцов // Инженерная экология. - 2008. – №5. – С. 10–16.
11. Пригожин, И. Введение в термодинамику необратимых процессов / И. Пригожин // М.: ИЛ. - 1960. – 150 с.
12. Стратегия создания пункта глубинного захоронения радиоактивных отходов // Радиоактивные отходы. - 2018. – № 2 (3). – С. 114–120.
13. Татаринцов, В.Н. Геодинамическая безопасность на объектах ядерного топливного цикла / В.Н. Татаринцов // Использование и охрана природных ресурсов в России // Бюллетень. - 2006. – № 1 (85). – С. 46–51.
14. Татаринцов, В.Н. Современная геодинамика южной части Енисейского кряжа по данным ГНСС наблюдений / В.Н. Татаринцов, В.Н. Морозов, В.И. Кафтан, А.И. Маневич // Геофизические исследования. - 2018. – том 19, № 4. – С. 64–79. – [электронный ресурс], режим доступа: <https://doi.org/10.21455/gr2018.4-5>.
15. Чернышев, В.Н. Теория систем и системный анализ / В.Н. Чернышев, А.В. Чернышев. – Тамбов: Из-во ТГТУ, 2008. – 96 с.

## **АСА БЕЛСЕНДІ РАДИОАКТИВТІ ҚАЛДЫҚТАРДЫ КӨМУ КЕЗІНДЕ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫН АНЫҚТАЙТЫН ФАКТОРЛАРДЫ ЖҮЙЕЛІК БАҒАЛАУ**

**А.Д. Гвишиани, В.Н. Татаринцов**

*РФА Геофизикалық орталығы, Мәскеу, Ресей*

*РФА О.Ю. Шмидт атындағы Жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей*

Геологиялық формациялардағы радиоактивті қалдықтарды жесасты окшаула кезінде геологиялық ортаның геодинамикалық тұрақтылығын болжау проблемасын шешу жүйелік тәсілдеменің әдіснамалық негіздері қарастырылды. Жүйелік тәсілдеме ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру тәсілі ретінде қолданылады және де тек қана проблеманы шешу әдісі болып қана қоймай сондай-ақ міндеттерді қою әдісі де болып табылады. Ол аралас-құралас геологиялық-геофизикалық деректерді жинау және жүйелендірудің бірінші кезеңінде аса маңызды. Жүйелік тәсілдеме аймақтың дамуының геодинамикалық режимінде және радиоактивті қалдықтардың радиобиологиялық қауіпінің барлық мерзіміне геологиялық ортаның окшаулағыш қасиеттерін сақтауды белгілейтін және тектоникалық құрылымдағы іргелі заңдылықтарды анықтауға күшті жинақтап жұмылдыруға көмектеседі.

## **SYSTEM ESTIMATION OF FACTORS DETERMINING THE STABILITY OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT WHEN DISPOSAL HIGH-LEVEL RADIOACTIVE WASTES**

**D. Gvishiani, V.N. Tatarinov**

*Geophysical Center RAS, Moscow, Russia*

The methodological aspects of a systematic approach to solving the problem of predicting the long-term geodynamic stability of the geological environment during underground isolation of radioactive waste in geological formations are discussed. The system approach acts as a way of organizing scientific research and is not so much a method of solving, as a method of setting tasks. It is especially important at the first stage of collecting and systematizing data on the study area. It also helps to focus efforts on identifying the fundamental laws of geodynamic development of the region, which determine the preservation of the insulating properties of rocks for a long time.

The methodological aspects of a systematic approach to solving the problem of predicting the geodynamic stability of the geological environment during underground isolation of height-level radioactive waste in geological formations are considered. The systems approach acts as a way of organizing scientific research and is not only a method for solving a problem, but also a method of setting tasks. It is especially important at the first stage of collecting and systematizing diverse geological and geophysical data. The systems approach helps to focus efforts on identifying the fundamental patterns in the tectonic structure and geodynamic patterns of development of the region, which determine the preservation of the insulating properties of the geological environment for the entire radiobiological hazard of height-level radioactive waste.

УДК 550.34:621.039

## УЧЁТ ГРАВИТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРИ ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ УСТАНОВОК НА ТЕРРИТОРИИ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА

Великанов А.Е., Аристова И.Л.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Анализируется сейсмичность территории Казахстана в местах расположения основных объектов атомной отрасли и её взаимосвязь с аномалиями силы тяжести в свободном воздухе, совпадающими с природными объектами избыточной массы геологической среды. На примере Семипалатинского испытательного полигона (СИП) рассматриваются гравитационные факторы избыточных масс геологической среды с повышенной сейсмичностью, определяющие наличие основных и второстепенных активных разломов, способных повлиять на сейсмическую безопасность объектов атомной отрасли.

Для понимания природы сейсмичности территории СИП с учётом гравитационных факторов геологической среды необходим пространственный охват и анализ сейсмичности всей территории Казахстана. При повседневной работе по комплексному анализу сейсмических событий с имеющимися картографическими и гравиметрическими картами территории Казахстана была замечена приуроченность многих эпицентров средних и сильных землетрясений тектонического характера к локальным аномалиям и аномальным зонам силы тяжести. Эта приуроченность стала особенно заметной при анализе гравиметрических карт в редукции Фая и близким к ним по содержанию карт аномалий силы тяжести в свободном воздухе [1], при создании которых не учитывается промежуточный слой геологической среды, но учитываются все формы положительного рельефа возвышенной и горной местности. Гравиметрические карты в редукции Буге (Bouguer gravity anomaly) дают возможность выявить аномалии силы тяжести, связанные с геологической средой повышенной плотности независимо от форм рельефа, как в равнинной, так и в горной местности. Гравиметрические карты аномалий силы тяжести в свободном воздухе (free-air gravity anomaly) и в редукции Фая (Faye gravity anomaly) позволяют выявить общие локализованные аномалии с избыточной массой, связанные как с участками пород повышенной плотности, так и с возвышенными формами рельефа, которые даже при нормальной или пониженной плотности пород выявляют *возмущающую избыточную массу* в данном месте. Термин «*гравитационные аномалии*» (т.е. аномалии силы тяжести) как *Gravity Disturbances* в дословном переводе означает «*гравитационные возмущения*». Следует понимать, что гравитационные возмущения локализованных избыточных масс геологической среды вызываются преимущественно действием *лунно-солнечных приливных сил*, которые, по всей видимости, часто способствуют генерации сейсмотектонических напряжений на глубине. Таким образом, можно говорить о *связи сейсмичности с избыточной массой геологической среды, выраженной в наличии*

*неоднородности пород с повышенной плотностью даже в относительно равнинных местах или в виде увеличенного объёма горной массы в горной местности*. Термин *избыточная масса* геологической среды давно используется в гравиметрических исследованиях изостазии при определении изостатических аномалий силы тяжести и изостатического слоя в земной коре и верхней мантии, а также при решении прямых и обратных задач гравиразведки.

Для исследования сейсмичности территории в её связи с аномалиями силы тяжести в местах расположения объектов атомной отрасли в Казахстане использованы: 1) общедоступные данные средств массовой информации о расположении основных объектов атомной отрасли; 2) доступные через интернет в международных центрах геоинформации данные спутниковых гравиметрических съёмок [2]; 3) табличные данные о сейсмичности территории Центральной Азии, начиная с исторических времён по 2017 г. [3, 4]. В таблице приведены основные объекты атомной отрасли в Казахстане, к которым отнесены действующие исследовательские ядерные реакторы, хранилище ядерного топлива, планируемое строительство АЭС.

*Таблица. Основные объекты атомной отрасли в Казахстане*

Код объекта	Название объекта	Примечание
КТМ	Казахстанский материаловедческий токамак (тороидальная камера с магнитными катушками), Курчатов	работает
Байкал-1	КИР (комплекс исследовательских реакторов) «Байкал-1», СИП	работает
ИГР	Импульсный графитовый реактор, СИП	работает
ИВГ.1М	Исследовательский водоохлаждаемый реактор, СИП	работает
ВВР-К	Водо-водяной реактор - кипящий, ИЯФ, пос. Алатау Алматинской обл.	работает
БНОУ	Банк низкообогащённого урана МАГАТЭ, Усть-Каменогорск, ВКО	работает
Улькен	АЭС Улькен, Алматинская обл.	планируется

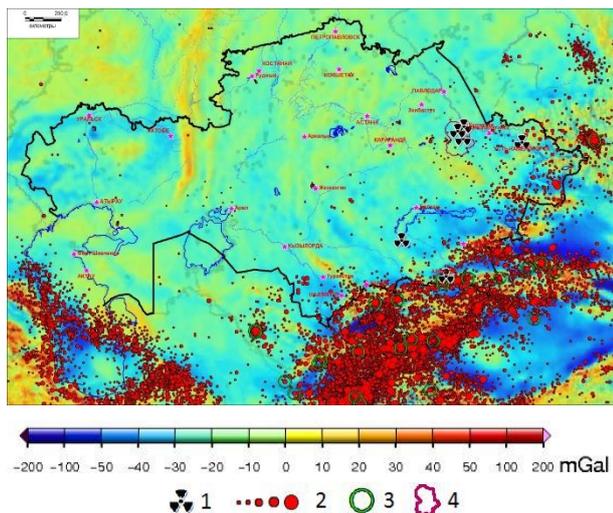


Рисунок 1. Карта аномалий силы тяжести в свободном воздухе территории Казахстана [2] с местоположением основных объектов атомной отрасли и эпицентрами сейсмических событий с исторических времён по 2017 г.

Местоположение основных объектов атомной отрасли на территории Казахстана показано на карте аномалий силы тяжести в свободном воздухе [1] с эпицентрами сейсмических событий с исторических времён по 2017 г. (рисунок 1).

Из рисунка 1 просматривается связь сейсмичности территории Казахстана и прилегающих площадей с аномалиями силы тяжести в свободном воздухе: высокий уровень сейсмичности по количеству и интенсивности землетрясений связан с краевой градиентной частью зоны аномалий силы тяжести в свободном воздухе. В этой зоне на фоне ближайших соседних пониженных значений гравиметрического поля краевая часть избыточной массы геологической среды, отображаемая быстро возрастающими градиентными значениями гравиметрического поля и высот рельефа, испытывает наибольшее действие лунно-солнечных приливных сил. Здесь, как правило, и находятся (или возникают) активные тектонические разломы, по которым происходят подвижки блоков земной коры, вызывающие землетрясения. Масштабность и интенсивность наблюдаемой сейсмичности прямо зависит от интенсивности гравиметрического градиента, а также от размеров градиентных зон по периферии участков, занимаемых локализованными объёмами избыточных масс. Так, например, на карте аномалий силы тяжести в свободном воздухе хорошо видна Тянь-Шанская структура аномалий силы тяжести СВ простирания, где по периферии с северной и южной стороны в зонах контрастного краевого градиента быстро изменяющихся значений поля группируются эпицентры сильных и катастрофических землетрясений.

Из основных объектов атомной отрасли в наиболее опасной близости к зонам сильной сейсмичности в районе аномалий силы тяжести, связанных с избыточными массами геологической среды, находятся исследовательский реактор ВВР-К, ИЯФ и, в меньшей степени, хранилище ядерного топлива БНОУ МАГАТЭ в Усть-Каменогорске. Рассматриваемая площадка под строительство АЭС Улькен отличается более благоприятной сейсмической обстановкой. Исследовательские ядерные реакторы на территории СИП расположены в районе с относительно слабой сейсмичностью, зависящей в основном от воздействия далёких сильных землетрясений, эпицентры которых расположены в горной местности Восточного Казахстана и в соседней России. В тоже время, на территории СИП и площади, прилегающей с юго-запада, отмечаются зоны аномалий силы тяжести, в пределах которых располагаются эпицентры довольно ощутимых землетрясений (рисунок 2).

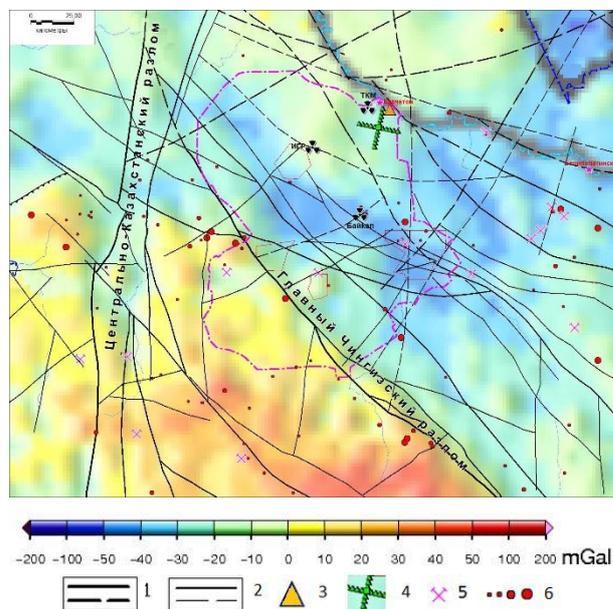


Рисунок 2. Карта аномалий силы тяжести в свободном воздухе территории СИП и прилегающих площадей с местоположением объектов атомной отрасли и эпицентрами сейсмических событий с исторических времён по 2017 г.

Расположенная с юго-западной стороны СИП площадная зона аномалий силы тяжести в свободном воздухе с повышенной интенсивностью до 25 мГал имеет внушительные размеры – 350×150 км, и вытянутость в СЗ направлении. В западной части она разделяется меридиональной линейной зоной Центрально-Казахстанского разлома, а с северо-восточной стороны ограничена по периферии сейсмоактивным Главным Чингизским разломом. Здесь и отмечается

линейная краевая градиентная часть зоны аномалий силы тяжести, к которой приурочены группы эпицентров ощутимых землетрясений, приуроченных в плане к небольшим горным хребтам. В северной части одна такая группа землетрясений с магнитудой до 5,8 (энергетический класс  $K=14,7$ ) совпадает с хребтом Муржик, а в юго-восточной части вторая группа землетрясений магнитудой до 5,3 ( $K=12,2$ ) совпадает с Чингизским хребтом. Возвышенные формы рельефа этих хребтов с относительной высотой до 200 м создают локализованные избыточные массы геологической среды, сложенной типичными вулканогенно-осадочными породами.

При использовании более детальных гравиметрических карт и данных сети специального сейсмического мониторинга полевыми сейсмическими станциями можно более детально выделить слабые второстепенные участки и зоны аномалий силы тяжести, а также второстепенные сейсмоактивные тектонические разломы по их периферии. По линейным зонам

этих разломов могут осуществляться микроподвижки пород, влияющие на устойчивость геологической среды.

Таким образом, при оценке сейсмической опасности исследуемых территорий следует использовать гравитационные поля для описания геологической среды с избыточной массой, непосредственно влияющей на природную тектоническую сейсмичность. Элементы гравитационного поля исследуемой территории Семипалатинского испытательного полигона, характеризующие интенсивность аномалий силы тяжести, размеры этих аномалий и зон аномалий силы тяжести, наличие и протяжённость краевых градиентных частей по периферии зон аномалий силы тяжести являются теми гравитационными факторами геологической среды, которые помогут выявить сейсмоактивные тектонические разломы на территории СИП, в том числе представляющие опасность для ядерных установок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Аномалии и редукции силы тяжести [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://helpiks.org/3-96694.html>
2. Гравиметрическая база данных WGM2012 Международного бюро гравиметрии (BGI) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bgi.omp.obs-mip.fr/data-products/Grids-and-models/wgm2012>.
3. Mikhailova, N.N. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009 / N.N. Mikhailova, A.S. Mukambayev, I.L. Aristova, G. Kulikova, S. Ullah, M. Pilz, D. Bindi // *Annals of Geophysics*, 2015. – Vol 58. – No 1. – S102 (P. 1–9). – doi:10.4401/ag-6681.
4. Каталог землетрясений KNDC [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskiyebulleteni/automatic-bulletin>.

### СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫ АУМАҒЫНДАҒЫ ЯДРОЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАР ҮШІН СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУІПТІ БАҒАЛАУЫНДА ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАНЫҢ ГРАВИТАЦИЯЛЫҚ ФАКТОРЛАРЫН ЕСЕПКЕ АЛУ

А.Е. Великанов, И.Л. Аристова

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Негізгі атомдық объектілері орналасқан жерлерінде Қазақстан аумағының сейсмикалылығы және, геологиялық ортаның артық массаның табиғи объектілерімен қатар келетін бос аудағы ауырлық күшінің аномалияларымен оның байланысы талданылады. Семей сынау полигоны (ССП) үлгісінде, ядролық қондырғылардың сейсмоқауіпсіздігіне ықпал етуге мүмкіндігі бар негізгі және екінші дәрежелі белсенді жарылымдар бар болуын анықтайтын, жоғары сейсмикалылығымен геологиялық ортаның артық массаларының гравитациялық факторлары қарастырылады.

### CONSIDERATION OF GRAVITATION FACTORS OF GEOLOGIC MEDIUM AT ASSESSMENT OF SEISMIC HAZARD FOR NUCLEAR FACILITIES ON THE TERRITORY OF SEMIPALATINSK TEST SITE

A.Ye. Velikanov, I.L. Aristova

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The article considers seismicity of Kazakhstan territory at the location places of main nuclear facilities and its interrelation with gravity anomalies in free air coinciding with natural sites of excessive mass of geological environment. By example of Semipalatinsk Test Site territory (STS) we investigate the gravitational factors of excessive mass of geological environment with high seismicity showing the availability of main and secondary active faults able to influence on seismic safety on nuclear facilities.

УДК 550.83:621.039.9

## ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ ИНСПЕКЦИИ НА МЕСТЕ ЯДЕРНЫХ ИСПЫТАНИЙ

Ботов А.А., Романов А.М.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Для развития методов геофизического контроля в целях инспекции на месте, особенно на площадках с ограниченным доступом, вызывающих подозрения в проведении ядерного испытания, предлагается использовать новое представление о взаимодействии горных пород и вод. Согласно этому представлению можно установить зоны выщелачивания, миграции и отложения веществ (в том числе и радиоактивных) в реальных геологических условиях дистанционно электроразведочными методами. Для выявления гидродинамических структур, проходящих через очаги ПЯВ, используются замеры эксхалляции трития – основного маркера распространения радиоактивного загрязнения из очагов ПЯВ. Правомерность этих представлений доказана теоретически, экспериментально и геофизическими съемками в реальных условиях Семипалатинского испытательного полигона

Инспекция на месте является инструментом выявления и доказательства возможного нарушения государством обязательств по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) [1]. Ядерное испытание может быть замаскировано или иметь маломощный заряд, что затрудняет, а иногда делает невозможным, получение свидетельств, необходимых для подтверждения нарушения ДВЗЯИ. Проведение ядерных взрывов под землей существенно ослабляет проявление радиоактивного загрязнения на дневной поверхности – мощный слой горных пород, перекрывающий очаг ПЯВ, препятствует поступлению продуктов ядерного взрыва на дневную поверхность. В этих условиях Организация по ДВЗЯИ рекомендует проводить оценку территории, где могло произойти испытание, комплексированием методов, включающим сейсморазведку, магниторазведку, гравиразведку, георадиолокацию, электроразведку и др. [1]. Эти методы, выявляющие вещественно-структурные изменения недр при проведении ПЯВ, имеют существенно большую глубинность исследования по сравнению с радиометрическими методами, но не устанавливают непосредственно наличие радиоактивного загрязнения и могут быть недостаточно эффективными. Поэтому актуальным является совершенствование и развитие методик геофизического контроля применительно к задачам инспекции на месте. Особую актуальность развитие таких исследований имеет при ограниченном доступе к площадкам, вызывающим подозрения в проведении на них ядерных испытаний.

Предлагается использовать новое представление о взаимодействии горных пород и вод, согласно которому можно установить зоны выщелачивания, миграции и отложения веществ (в том числе и радиоактивных) в реальных геологических условиях с привлечением электроразведочных методов [2, 3]. При этом, изучение структурных элементов недр основывается преимущественно на данных электроразведки по кажущемуся электрическому сопротивлению;

изучение потоков подземных вод – на данных электроразведки методом естественного электрического поля. Установления связи структур загрязненных вод с очагами подземных ядерных взрывов, основывается на замерах эксхалляции газового трития – основного маркера распространения радиоактивного загрязнения.

Правомерность предлагаемого подхода рассмотрена на примере исследований по 16 произвольно выбранным скважинам площадки Балапан СИП, где производились подземные ядерные взрывы [2].

На первом этапе проведено изучение дневной поверхности в районе устья испытательных скважин с использованием космических снимков (рисунок 1).

Спутниковые съемки в ~80 % случаев выявляют участки, которые можно отнести к местам проведения ПЯВ. Однако, несмотря на этот достаточно высокий уровень обнаружения, в случае использования особой маскировки, вполне возможен пропуск места проведения ПЯВ. Так, например, при проведении учений «Интегрированный полевой эксперимент-2008» (ИПЭ-2008) на СИП [4, 5] благодаря специальной маскировке, выполненной в рамках подготовки сценария учений, место проведенного квазиядерного (тротилового) взрыва командой инспекторов не было обнаружено.

Для доказательства связи локальных особенностей, выделенных по результатам дешифрирования космоснимков участков с ПЯВ, на следующем, 2 этапе, проведена площадная гамма-съемка на 13 участках (рисунок 2). Аномальные повышения радиоактивности выявлены на 3 участках из 13 обследованных. Вблизи оголовков двух скважин: № 1053 и № 1058, – локализованы точечные аномалии (локальное загрязнение, не представляющее существенной радиационной опасности); вблизи скважины № 1301 локализован мощный радиометрический ореол, отходящий в южном направлении (результат нештатной ситуации – выброса при взрыве материалов закладки и обсадки на поверхность).

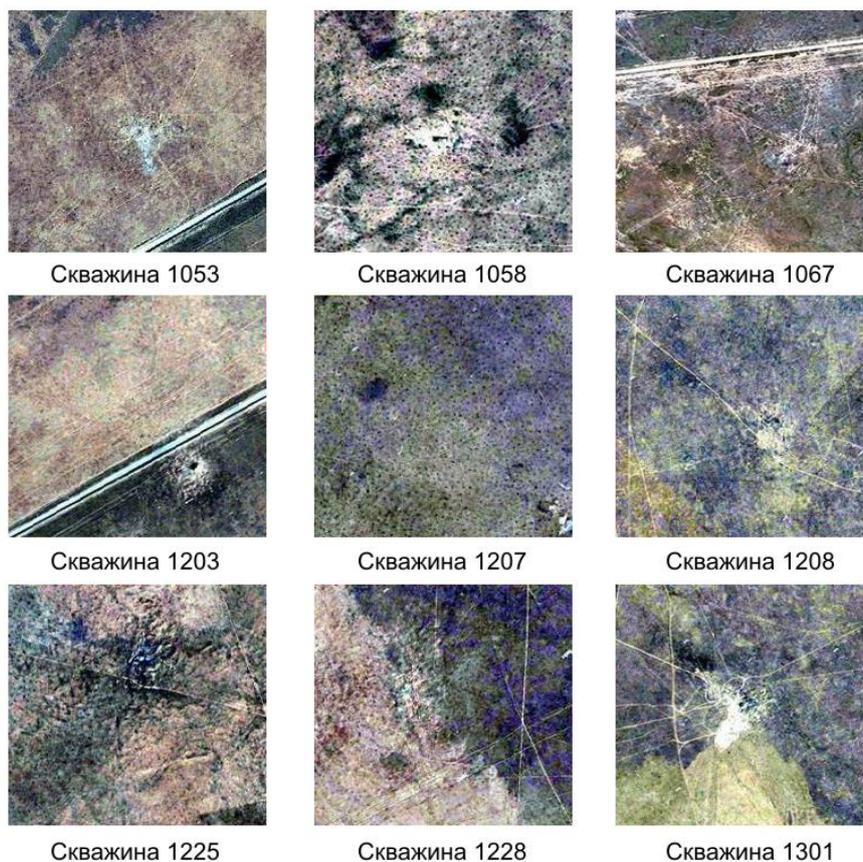


Рисунок 1. Примеры проявленности ПЯВ на космоснимках. Площадка Балапан СИП

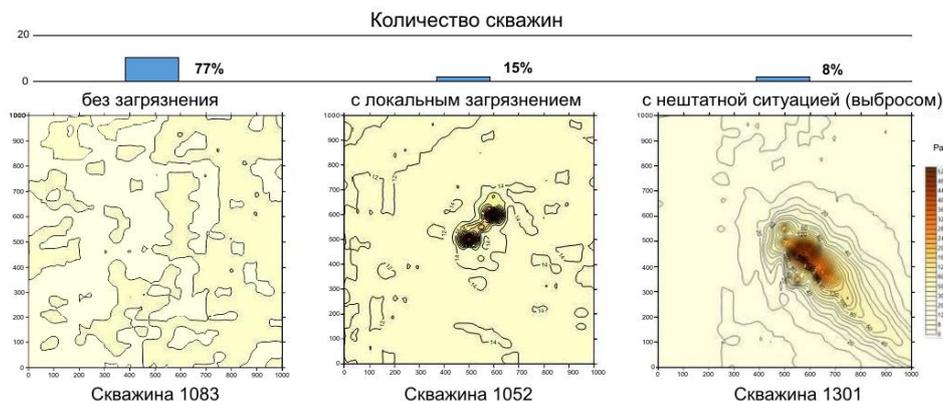


Рисунок 2. Результаты гамма-съемки на приустьевых участках скважин ПЯВ. Площадка Балапан СИП

Приведенный пример позволяет ориентировочно считать, что в 3 случаях из 4, на дневной поверхности аномальные повышения радиоактивности, вызванные выбросом техногенных радионуклидов, не проявляются. Этот же вывод может быть отнесен и к данным радиохимического и радиогидрогеохимического опробования [3].

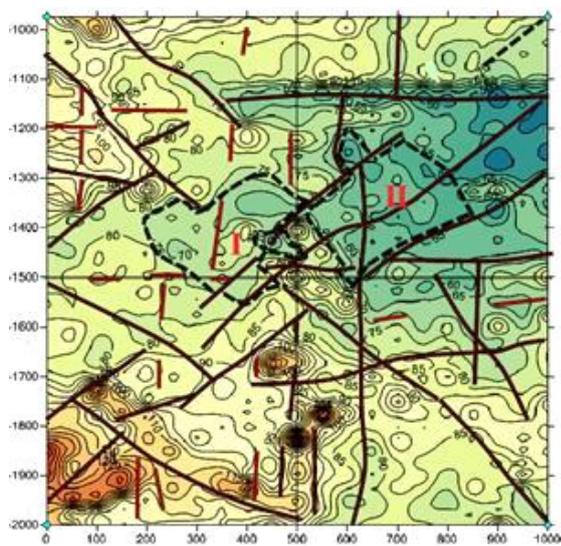
На следующем этапе работ использованы методы электроразведки для выявления путей миграции техногенных радионуклидов в недрах на участках ПЯВ

[3]. В качестве примера приводятся результаты исследований по скважине № 1058 (рисунок 3).

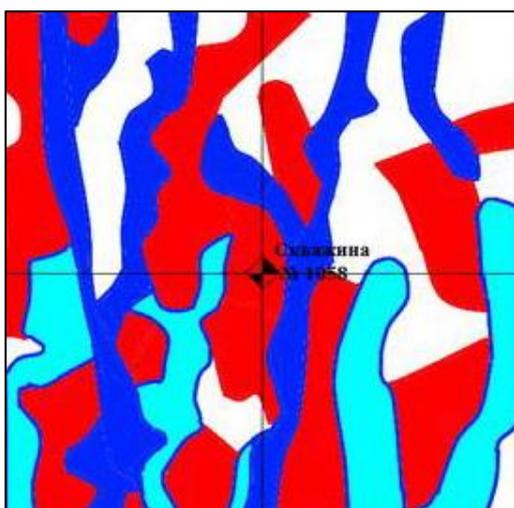
Как следует из рисунка 3, на приустевом участке скв. 1058, отчетливо проявлены техногенные изменения дневной поверхности, специфичные для ПЯВ в скважинах. Наиболее отчетливо эти особенности проявлены в распределениях кажущегося электрического сопротивления (КС) и потенциала естественного поля (ЕП), полученных при съемках методами срединного градиента и естественного электрического поля (рисунок 4).



Рисунок 3. Приустевой участок скважины №1058. Площадка Балапан СИП



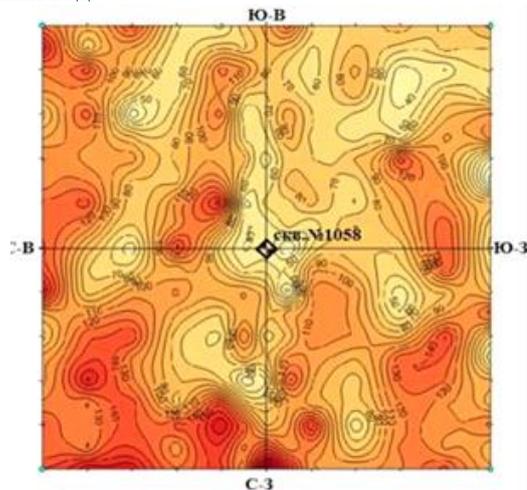
а) КС



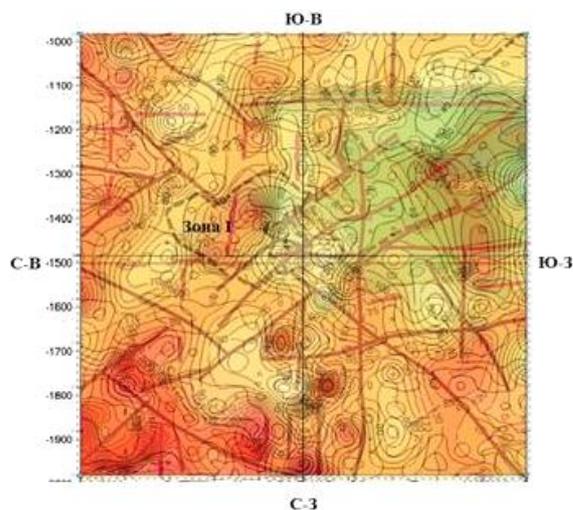
б) ЕП

Рисунок 4. Результаты электроразведочных методов на участке боевой скважины № 1058

По данным электроразведки методом срединного градиента (рисунок 4-а) в центре участка выделяется зона пониженных значений КС (темно зеленый цвет), на периферии участка – крупные зоны повышенных значений КС (желтый, коричневый цвет). Таким образом в центре участка проявлена зона дезинтеграции коренных пород, сформированная в результате взрыва. Отчетливо проявлены линейные структуры, интерпретируемые как природные тектонические нарушения, подновленные взрывом (рисунок 4-а). Эти зоны могут быть возможными путями движения подземных вод.



а) карта эксхалации газового трития



б) совмещение карт КС и эксхалации газового трития

Рисунок 5. Результаты съемки эксхалации газового трития на участке боевой скважины № 1058

На рисунке 4-б приведена схема интерпретации результатов электроразведки методом ЕП, устанавливающая наличие подземных водных потоков: темно синим цветом выделены зоны наиболее интенсивного движения вод, красным – зоны застоя [2, 3]. Для установления наличие радионуклидов в выделенных зонах приведены результаты съемки эксхалации газового трития (рисунок 5). Проявлены линейно

вытянутые зоны аномалий активности трития, коррелирующие с зонами экстремумов ЕП (потенциала течения).

Согласно исследованиям ИРБиЭ НЯЦ РК, тритий является наиболее распространенным маркером потоков вод, загрязненных радионуклидами. Особенное различие: данные ИРБиЭ НЯЦ РК относятся к водному тритию, а данные РГП ИГИ – к газовому тритию. Газовая фаза имеет преимущественное значение при выделении подземных зон загрязнения, т.к. уверенно обнаруживается на дневной поверхности в отличие от водной фазы [3].

#### Выводы

Представленные результаты позволяют утверждать, что методы структурной геофизики в сочетании со съемкой эксхалации газового трития могут

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инспекция на месте // Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний. – Вена, Австрия: ПК ОДВЗЯИ: – 2001. – С.33–43. Электронный ресурс: [https://www.ctbto.org/fileadmin/user\\_upload/legal/treaty\\_text\\_Russian.pdf](https://www.ctbto.org/fileadmin/user_upload/legal/treaty_text_Russian.pdf)
2. Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов на Семипалатинском испытательном полигоне: отчет о НИР (заключительный)/ Институт геофизических исследований (РГП ИГИ); рук. А.М. Романов. – Курчатов, 2017. – 270 с. – НЦНТИ; № ГР 0115РК02350. – Инв. № 0217РК01358.
3. Физико-геологическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов. – Курчатов: РГП ИГИ. – 2017 – 110 с.
4. Haupt, K. Looking for the nuclear needle in the haystack: the integrated Field exercise 08 in Kazakhstan / K.Haupt, T. Mützelburg // Spectrum. – Viena: СТВТО. – 2008. – is. 11. – P. 14–16.
5. Testing the Treaty's on-site inspection capabilities: The Integrated Field Exercise 08 by Oliver Meier and Andreas Persbo Spectrum.- Viena: СТВТО. – 2009. – is. 12. – P. 21–23.

дистанционно выявлять зоны загрязнения недр техногенными радионуклидами. В том числе, образованными при подземных ядерных взрывах. Помимо установления наличия взрывов возможно также определение наиболее вероятного эпицентра ПЯВ.

Полагается, что комплекс методов, представленный электроразведкой КС и ЕП в сочетании со съемкой эксхалации газового трития может использоваться при инспекции на местах предполагаемых подземных ядерных взрывов.

*Исследования выполнены в рамках гранта МОН РК №1758/ГФ4 «Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов Семипалатинском испытательном полигоне» (2015–2017 гг.).*

*Научный руководитель Романов А.М., к.г.-м.н.*

### ЯДРОЛЫҚ СЫНАҚТАР ОРЫНДАРЫНДАҒЫ ИНСПЕКЦИЯ ҮШІН КЕШЕНДІ ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРДІ ПАЙДАЛАНУ

А.А. Ботов, А.М. Романов

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Орындағы инспекция мақсатында геофизикалық бақылау әдістерін дамыту және жетілдіру үшін, әсіресе ядролық сынақтарды өткізуге күдік тудыратын, рұқсаты шектелген алаңдарда тау жыныстары мен сулардың өзара әрекеттестігінің жаңа көрінісін пайдалану ұсынылады. Осы көрініске сәйкес электрмен барлау әдістері арқылы қашықтан нақты геологиялық жағдайда сілтісіздендіру зоналарын, заттардың жылыстауы және шөгінділерін (оның ішінде радиоактивтілерінде) белгілеуге болады. ЖЯЖ ошақтары арқылы өтетін гидродинамикалық құрылымдарды айқындау үшін тритий эксхалациясының өлшеулері пайдаланылады – ЖЯЖ ошақтарынан радиоактивті ластанудың таралуының негізгі маркері. Осы ұсынымдардың орындылығы Семей сынау полигонының нақты жағдайында теория жүзінде, эксперимент ретінде және геофизикалық түсірімдермен дәлелденген.

### APPLICATION OF INTEGRATED GEOPHYSICAL RESEARCH FOR ON-SITE INSPECTION OF NUCLEAR TESTS

A.A. Botov, A.M. Romanov

*Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan*

In order to improve and develop methods of geophysical control for the purposes of on-site inspection, especially at the sites with limited access, that are suspicious in implementation of a nuclear test, it is proposed to use a new view on interaction of rocks and water. According to this view, one can establish leached zones, migration zones and deposits of matter (including radioactive one) in real geological conditions remotely by using electrical survey methods. In order to detect hydrodynamic structures that pass via UNE foci, tritium exhalation measurements are used – the main marker of distribution of radioactive contamination from UNE foci. The eligibility of these views has been proved theoretically, experimentally and by geophysical surveys in real conditions of Semipalatinsk Test Site.

УДК 550.37:551.3

## ПРИМЕНИМОСТЬ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУР ПЕРЕНОСА РАДИОНУКЛИДОВ

Романов А.М.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Рассмотрены вопросы картирования гидродинамических структур как природных, так и техногенных, в том числе переноса радионуклидов, дистанционно с использованием электроразведочных методов кажущегося электрического сопротивления (КС) и естественного электрического поля (ЕП). При этом учтено, что современное распространение радионуклидов из очагов подземных ядерных взрывов (ПЯВ) происходит преимущественно с подземными водами. Методы КС и ЕП позволяют выделить природные и техногенные зоны дробления, а также установить наличие в них потоков подземных вод. Наличие и положение потоков вод с радиоактивным загрязнением устанавливается путем замеров эксхалляции трития по методике, разработанной в Институте геофизических исследований. Приведены примеры совместной интерпретации данных методов КС, ЕП и эксхалляции трития, доказывающие применимость методики для выявления гидродинамических структур, в том числе переноса радионуклидов.

В результате подземных ядерных взрывов в недрах формируется сложная структурная обстановка:

- происходит подновление существующих природных разломов с увеличением мощности плоскостных зон трещиноватости и возрастанием их водопроницаемости. В плане эти зоны выражены как линейные структуры;

- образуются новые техногенные нарушения, имеющие преимущественно форму сферических слоев, концентричных очагам подземных ядерных взрывов (ПЯВ). В плане эти зоны выражены как кольцевые структуры;

- на участках ПЯВ подновленные и техногенные нарушения проявляются совместно и образуют сложную структуру.

Движение потоков вод в этих структурах происходит, преимущественно, за счет силы тяжести. Потоки вод переносят вещества, в том числе и радионуклиды. Определение конфигурации таких структур является одним из необходимых условий выделения путей миграции продуктов ПЯВ. При этом устанавливаются местоположение водопроницаемых гидродинамических структур и наличие в них потоков вод. Недостаточность связана с тем, что не все выявленные водные потоки могут содержать избыточные количества радионуклидов, т.к. не все они проходят через очаги ПЯВ и выносят продукты взрывов. Необходимо среди множества других выявить потоки вод, прошедших через очаги ПЯВ. До настоящего времени для решения этой проблемы использовался метод радиогидрогеохимического опробования, которое возможно только на основе бурения.

Бурение характеризуется высокой стоимостью, а также высокой вероятностью промаха при выявлении линейных объектов. Кроме того, высока погрешность опробования дробленых пород. Техническим осложнением является высокая аварийность при проходке скважин в зонах дробления, широко развитых на участках ПЯВ. Стоимость такого способа опробования

безусловно высока. Следовательно, выявление гидродинамических структур, переноса радионуклидов из очагов ПЯВ, должно проводиться косвенно, с использованием более детальных и надежных (при меньшей стоимости) дистанционных способов, а именно – геофизических методов. Вопрос решается на основе выявления физических характеристик гидродинамических структур, характерных для участков ПЯВ.

Практика применения геофизических методов показывает:

- изменения магнитной восприимчивости горных пород происходят на расстояниях от ПЯВ не более первых метров. Как правило, при взрывах температура пород резко возрастает, а магнитная восприимчивость снижается и в слабомангнитных и магнитных породах. Полезный сигнал на дневной поверхности при этом сопоставим с уровнем помех. Изменения магнитной восприимчивости массивов горных пород на расстояниях первые десятки – сотни метров не происходят. Таким образом, на фоне природных распределений магнитного поля магниторазведка не может оказать существенную помощь в картировании гидродинамических структур, образованных техногенным воздействием ядерного взрыва;

- изменения плотности пород при дроблении взрывом весьма существенны и эффект, позволяющий обнаружить полость ПЯВ, может быть значительным. Однако выявление техногенно нарушенных зон на периферии очага ПЯВ и далее – крайне проблематично. Так, по данным Всесоюзного института минерального сырья, еще в середине прошлого века установлено, что участки крупных зон дробления горных пород даже в горных выработках гравирозведочными методами не выявляются;

- изменение сейсмических скоростей (сейсморазведка методом рефрагированных волн) позволяет выделить вокруг очагов ПЯВ локальные участки пониженных значений, интерпретируемых как зоны

техногенной трещиноватости. В разрезе эти зоны формируют кольцевые структуры, в объеме - сферические образования. Таким образом, на основе сейсморазведочных данных могут быть выявлены техногенные нарушения, окружающие очаги ПЯВ. Осложняющим фактором является неоднозначность и высокая степень субъективности интерпретации из-за мешающего влияния блоков горных пород с различными скоростями прохождения волн, особенно в случаях субвертикальных границ, а также высокая стоимость при низкой детальности.

С учетом вышеизложенного основное внимание уделено электроразведочным методам, позволяющим характеризовать не только блоки пород, но и зоны трещиноватости, формирующие водопроводящие структуры, а также потоки подземных вод в них. Электрические характеристики трещиноватых структур (удельное электрическое сопротивление и естественные электрические поля) существенно отличаются от аналогичных характеристик монолитных пород.

Обычно зоны разломов представлены сериями субпараллельных, близрасположенных трещин, частота встречи которых максимальна в центре разлома и убывает по мере удаления от него. Часть природных разломов образовалась миллионы-сотни миллионов лет назад и относится к древним образованиям. Регионы древних разломов, сохранившиеся до настоящего времени, как правило, являются крупными зонами аккумуляции. В них трещинное пространство разломов заполняется вторичными минералами, в основном кварцем и карбонатами. Водопроницаемость резко снижается, а удельное электрическое сопротивление зон возрастает и может существенно превысить сопротивление окружающих пород [1].

Молодые разломы (современные или образовавшиеся несколько тысяч лет тому назад) характеризуются открытой трещиноватостью, не залеченной кварцем и карбонатами, отмечаются высокой водопроницаемостью и низким удельным электрическим сопротивлением. Особенно это относится к современным техногенным разломам на участках ПЯВ. Разломы, подновленные взрывами, а также вновь образованные, характеризуются повышенной мощностью и высокой разрушенностью пород. Такие зоны разломов непосредственно выделяются методами кажущегося сопротивления. Именно они могут являться путями миграции радионуклидов в настоящее время. меньшая удельная стоимость площадных электроразведочных работ по сравнению с сейсморазведкой при сходных результатах позволяют отдать предпочтение электрометрическим исследованиям.

Электроразведка методами кажущегося сопротивления позволяет обнаружить зоны повышенной разрушенности (трещиноватости) горных пород, а привлечение метода естественного электрического поля (ЕП) – дистанционно определить наличия потоков вод в этих зонах. Участки сужения потока отмечают-

ся понижениями ЕП. В их пределах происходит преимущественно выщелачивание и последующее удаление веществ твердой фазы. Участки расширения потока отмечаются повышениями ЕП. В их пределах происходит переход веществ из жидкой фазы в твердую с последовательным накоплением (отложением) [1]. Таким образом, выявляются гидродинамические структуры, часть которых может переносить и перетлагать техногенные радионуклиды (продукты ПЯВ). Для получения завершающего результата необходимо доказательство наличия радионуклидов в таких гидродинамических структурах.

Согласно данным радиогидрогеохимического опробования ручьев, вытекающих из боевых штолен, установлено, что все повышения активности главных продуктов ядерных взрывов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ) сопровождаются повышениями активности трития. Обратное утверждение недействительно [2]. Поэтому нельзя не согласиться с утверждением специалистов ИР-БиЭ о том, что наиболее миграционноспособным техногенным радионуклидом является тритий. Это связано с тем, что перенос трития происходит преимущественно в газовой форме. Так, натурные определения активности по реке Шаган позволяют предположить, что соотношение активности газового и водного трития составляет 5:2 [2]. Миграционная способность газового трития в недрах земли на несколько порядков выше миграционной способности водного трития (в том числе и паров тритиевой воды). Для определения скорости миграции газового трития в недрах автором предложена формула:

$$V = (k/\mu) \cdot (\rho_{\text{возд}} - \rho_{\text{тр}}) \cdot g$$

где  $V$  – скорость подъема трития,  $k$  – поверхность площади пор поперечного сечения элементарного объема горных пород, по которым движется тритий;  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости трития;  $g$  – ускорение свободного падения;  $\rho_{\text{возд}}$  – плотность воздуха;  $\rho_{\text{тр}}$  – плотность трития.

Причиной вертикального подъема трития из недр к поверхности земли является его меньшая плотность по сравнению с плотностью воздуха (почвенного и атмосферного). Скорость подъема трития на 2–3 порядка превышает скорость диффузии. Поэтому ореолы трития на поверхности земли будут сопоставимы с размерами источников трития в недрах. Интенсивность ореолов трития на поверхности меньше, чем на глубине, но остается достаточной для уверенного получения полезного сигнала.

Комплекс электроразведки методами КС и ЕП, дополненный съемкой эксхалацией трития, необходим и достаточен для картирования гидродинамических структур, по которым происходит миграция продуктов ядерных взрывов. Практически применимость комплекса доказывалась результатами полевых исследований на площадке Балапан СИП. Всего на площадке проведены исследования на 16 участках. Из них, 13 – на участках боевых скважин; 2 – на

структурных скважинах, 1 – на участке без скважин, но в районе воздействия боевой скважины № 1004. Размеры изученных участков 1×1 км, сеть съемок КС и ЕП 50×25 м, а эксхалции трития 50×50 м. Направление профилей – северо-восточное, вкrest линейной структуры погружения погребенного рельефа, т.е. по направлению потоков грунтовых вод.

На рисунке 1 приведен пример результатов площадной съемки методом срединного градиента на участке скважины № 1067 площадки Балапан СИП. В этой скважине 25.12.1975 г. был проведен ПЯВ мощностью 59 кт на глубине порядка 350 м. Подземный взрыв был полного внутреннего действия, сопровождавшийся образованием подземной полости с соответствующим уплотнением, дроблением и расстрескиванием горных пород вокруг полости, без истечения газообразных продуктов в атмосферу.

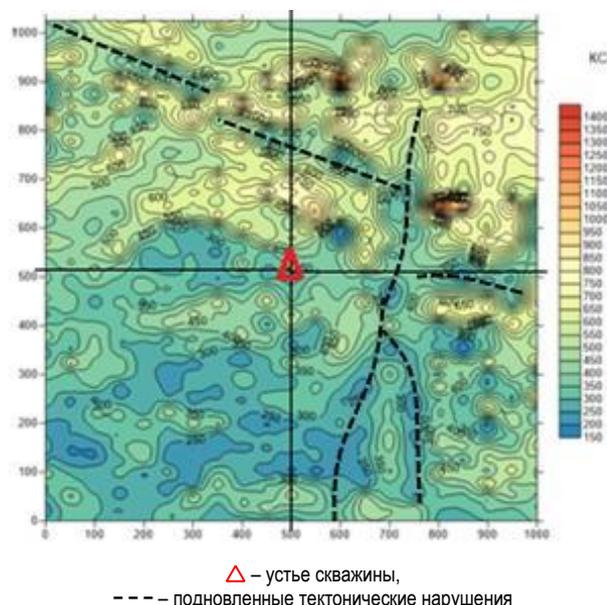


Рисунок 1. Результаты площадной съемки КС на участке скважины № 1067 площадки Балапан СИП

Как следует из рисунка 1, на дневной поверхности проявляется серия линейно вытянутых понижений КС, протяженность которых достигает 600–700 м, а ширина 20–50 м. Такие понижения интерпретируются как зоны интенсивного «подновления» имеющих геологических разломов различных направлений. Подобные формы распределений КС на участках без интенсивного техногенного воздействия встречаются редко. Исключением являются участки интенсивной гидротермальной проработки горных пород с наличием массивных сульфидных руд в зонах окисления. На этом же рисунке 1 видно, что вблизи устья скважины № 1067 проявлены локальные понижения КС, форма которых близка к изометричной, что, по-видимому, отражает разрушение пород вокруг очага ПЯВ.

Протяженные и узкие распределения минимумов ЕП имеют кольцевой, а также линейный вид, и отра-

жают наиболее крупные потоки подземных вод на участке скважины № 1067 (рисунок 2).

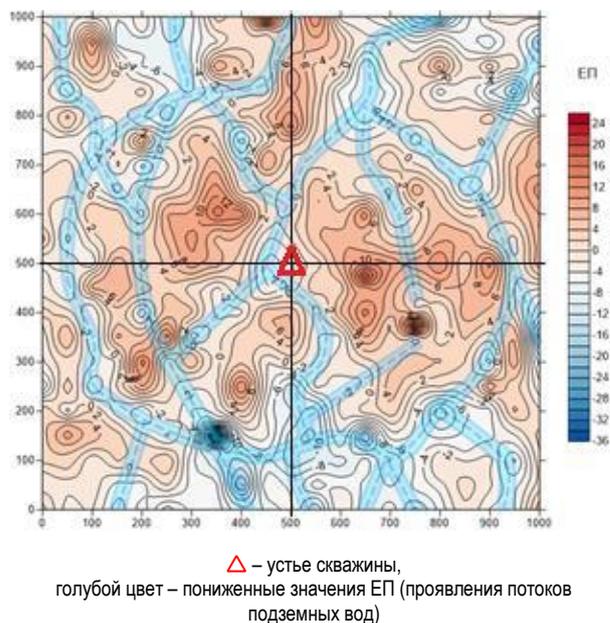


Рисунок 2. Результаты площадной съемки ЕП на участке скважины № 1067 площадки Балапан СИП

Совместная интерпретация результатов съемок КС и ЕП представлена на рисунке 3. Коричневыми линиями выделены разрывные нарушения по данным КС, голубыми линиями – потоки подземных вод по данным ЕП. Отмечается пространственное совпадение большей части потоков с разрывными нарушениями. В то же время явно выраженная приуроченность потоков вод к разломам одного направления не отмечена. В целом распределения КС и выделяемые по ним разломы, характеризуются большей детальностью в сравнении с распределением ЕП.

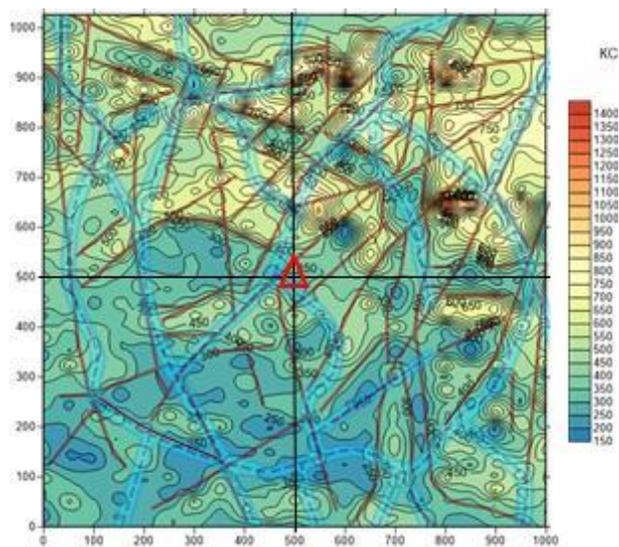


Рисунок 3. Результаты совместной интерпретации площадных съемок КС и ЕП на участке скважины № 1067 площадки Балапан СИП

Статистический анализ результатов интерпретации по всем 16 исследованным участкам показал, что наиболее проявлены разрывные нарушения северо-восточного направления. Вдвое слабее проявлены разрывные нарушения ортогональной системы (меридиональные и широтные). Наименьшей проявленностью характеризуются северо-западные нарушения. Совпадение участков экстремумов ЕП и КС имеет место в 75 % случаев.

Результаты совместной интерпретации данных КС и ЕП заметно сужают площади предполагаемого загрязнения, однако они не позволяют однозначно выделить местоположение потоков вод с продуктами ПЯВ. Автором разработано физическое представление о взаимодействии горных пород и вод, позволяющее установить связь межфазного перехода веществ в литосфере с участками повышенный потенциала течения. Переход происходит под действием напряженности естественного электрического поля [1] и это позволяет выделить места наиболее вероятных скоплений вторичных веществ, в том числе и радионуклидов. Следует подчеркнуть, что скопления  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  являются следствием перехода этих элементов из жидкой фазы (потоков вод) в твердую фазу (горные породы). В твердой фазе цезий и стронций становятся неподвижными. В условиях литосферы под действием электрического поля тритий из жидкой фазы переходит в газовую и становится высокоподвижным [3].

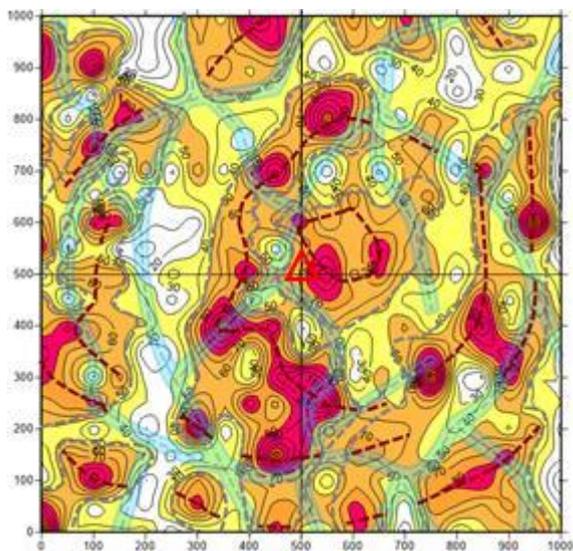


Рисунок 4. Результаты совместной интерпретации съемок ЕП и эксхалации трития на участке скважины № 1067 площадки Балапан СИП

Наличие радионуклидов в потоках подземных вод устанавливалось на основе данных съемок эксхалации трития. На рисунке 4 показано, что максимумы активности трития связаны с краевыми частями потоков вод в техногенных кольцевых и линейных структурах. Значительно реже аномальные повышения активности трития непосредственно совмещают-

ся с вытянутыми зонами минимумов ЕП. Эта особенность проявлена по участкам и других боевых скважин [3]. Для большей наглядности выполнено зонирование по уровням ЕП (рисунок 5).

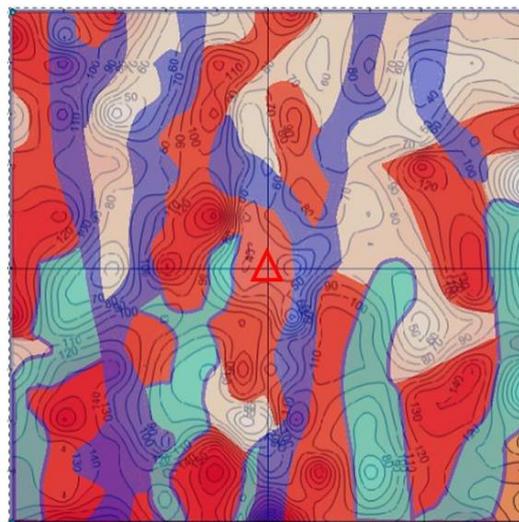


Рисунок 5. Совмещение карт активности трития (изолинии) и зонированных распределений ЕП на участке скважины № 1067 площадки Балапан СИП

Всего выделено 4 типа зон:

- интенсивные отрицательные значения потенциала (фиолетовый цвет) – наиболее интенсивные потоки подземных вод;
- низкоамплитудные отрицательные значения потенциала (голубой цвет) – воды со слабоинтенсивным движением;
- низкоамплитудные положительные значения потенциала (розовый цвет) – движение вод замедленное или отсутствует;
- интенсивные положительные значения потенциала (красный цвет) – непосредственно примыкают к зонам интенсивных отрицательных значений потенциала и вместе с последними являются электрическими диполями. По геологическим и физическим характеристикам относятся к аналогам болот, примыкающим к рекам и ручьям. Именно в них и происходит переход веществ из водной фазы в твердую с осаждением радионуклидов, а также переход трития из водной фазы в газовую.

На рисунке 5 отчетливо проявлено совпадение максимумов активности трития с положительными аномалиями ЕП, непосредственно примыкающими к местам интенсивных отрицательных аномалий ЕП.

В целом, по всем 16 участкам отмечено следующее: 1) приуроченность максимумов активности трития к краевым частям линейных минимумов ЕП (100 %); 2) существенная связь повышенной активности трития с участками повышенный потенциала течения (81 %); 3) слабая связь повышенной активности трития с участками понижения КС (50 % случаев).

### Выводы

1. Приведенные представления выстраиваются в следующую логическую последовательность:

- на участках подземных ядерных взрывов происходит разрушение массивов горных пород;
- наряду с подновлением природных нарушений происходит образование техногенных нарушений;
- нарушения проявляются в виде понижений кажущегося электрического сопротивления и дистанционно регистрируются электроразведкой методами КС;
- нарушения представляют собой линейные и/или кольцевые зоны повышенной водопроницаемости;
- зоны повышенной проницаемости в недрах за-

полняются водой и формируется единая гидродинамическая структура;

- потоки подземных вод проявлены в виде специфических распределений потенциала течения, которые дистанционно регистрируются электроразведкой методом ЕП.

2. Представленные результаты использованы для составления методики картирования потоков вод с радионуклидами и могут применяться при оценке радиационной безопасности недр.

*Исследования выполнены в рамках гранта МОН РК № 1758/ГФ4 «Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов Семипалатинском испытательном полигоне» (2015–2017 гг.).*

*Научный руководитель Романов А.М., к.г.-м.н.*

### ЛИТЕРАТУРА

1. Романов, А.М. Взаимодействие вод с горными породами / А.М.Романов. – Алматы: НАК Казатомпром, 2003. – 247 с.
2. Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов на Семипалатинском испытательном полигоне: отчет о НИР (заключительный) / Республиканское государственное предприятие «Институт геофизических исследований» (РГП ИГИ); рук. А.М. Романов. – Курчатов, 2017. – 270 с. – НЦНТИ; № ГР 0115РК02350. – Инв. № 0217РК01358.
3. Романов, А.М. Физико-геологическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов. – Семей: Издательский дом «Интеллект», 2017–110 с.

## РАДИОНУКЛИДТТЕРДІ ТАСЫМАЛДАУДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДАРЫН АЙҚЫНДАУ ҮШІН ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ӘДІСТЕРДІҢ ЖАРАМДЫЛЫҒЫ

А.М. Романов

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Гидродинамикалық құрылымдарды, табиғи және техногенді, электрбарлаудың көрінімдік электрлік кедергі (КК) және табиғи электр өрісі (ТӨ) әдістерін қашықтық қолданумен, карталау мәселелері қарастырылған. Мұнысында, жерасты ядролық жарылыстардың (ЖЯЖ) ошақтарынан радионуклидтердің қазіргі кездегі таралуы көбінесе жерасты суларымен өтетіні есепке алынған. КК және ТӨ әдістері уатылудың табиғи және техногенді зоналарын бөліп алуға және олардың ішінде жерасты сулардың ағымдары бар болуын анықтауға мүмкіншілік береді. Радиоактивті ластануымен су ағымдары бар болуы мен жатысы, Геофизикалық зерттеулер институтында әзірленген әдісімен тритий экскаляциясын өлшеу жолымен анықталады. Гидродинамикалық құрылымдарды, соның ішінде радионуклидтерді тасымалдайтындары, бөліп алу үшін әдістеменің жарамдылығын дәлелдейтін, КК, ТӨ және тритий экскаляциясы әдістердің деректерін бірлестіріп пайымдаудың үлгілері келтірілген.

## APPLICABILITY OF GEOPHYSICAL METHODS FOR DETECTION OF RADIONUCLIDES TRANSFER STRUCTURES

A.M. Romanov

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper studies the issues of mapping of hydrodynamic structures, both natural and technogenic ones, including the ones transferring radionuclides remotely by using electrical survey methods of apparent electrical resistivity (AR) and self-potential (SP). At that it has been taken into account that modern distribution of radionuclides from the foci of underground nuclear explosions (UNE) takes place mostly with underground waters. AR and SP methods allow to detect natural and technogenic crushed zones as well as establish the presence of underground water flows in them. The presence and location of water flows with radioactive contamination is established by measuring the tritium exhalation based on a methodology developed at the Institute of Geophysical Research. Examples are presented for the joined interpretation of AR, SP and tritium exhalation methods data that prove the applicability of the technique to detect hydrodynamic structures, including the ones transferring radionuclides.

УДК 550.34:621.39.9(24)

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ СТРУКТУР НА УЧАСТКАХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ**

Ларина Т.Г., Романов А.М., Сергеев Н.Н., Шайторов В.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Показаны возможности сейсморазведки методами преломленных и рефрагированных волн (КМПВ – МРВ) и метода дифрагированно-рассеянных волн (МДРВ), – при изучении техногенных структур на примере одной из боевых скважин Семипалатинского испытательного полигона. По данным сейсморазведки выявляются центральная зона трещиноватости (очаг ПЯВ), где проявляется чередование уплотненных и разуплотненных горных пород, а также примыкающие мощные зоны трещиноватости. На удалении 200–300 м от очага ПЯВ прослеживаются дополнительные зоны трещиноватости.

В результате ядерных испытаний в недрах Семипалатинского испытательного полигона (СИП) накопилось значительное количество радионуклидов. Потоки подземных вод выщелачивают радионуклиды из очаговых зон ПЯВ и переносят их по гидродинамическим структурам. Эти структуры представлены зонами разрушения горных пород как природных, так и техногенных. В районе «боевых» скважин наибольшие разрушения являются техногенными, сформированные взрывами. Выявление этих структур может обеспечить качественное определение каналов распространения загрязнения и дать надежную оценку радиационной опасности [1, 2]. Зоны измененных трещиноватых горных пород характеризуются пониженными значениями сейсмической скорости, что позволяет успешно использовать на участках проведения подземных ядерных взрывов методы сейсморазведки: КМПВ-МРВ (корреляционный метод преломленных волн – метод рефрагированных волн) – для уточнения строения верхней части геологического разреза до глубины порядка 150 м и МДРВ (метод дифрагированно-рассеянных волн) – для уточнения поствзрывной структурно-тектонической обстановки в области, непосредственно прилегающей к гипоцентру ПЯВ, в блоках пород, размерами порядка 1×1 км по горизонтали и от 50–80 м до 800–900 м по глубине [3–5].

На площадке Балапан СИП при изучении современного состояния мест проведения ПЯВ наблюдения МРВ выполнялись вдоль двух ортогональных профилей длиной по 1,8 км. Каждый профиль отработан по системе встречных и нагоняющих годографов, шаг наблюдений 10 м, расстояние между пунктами возбуждения сейсмических волн – 100 м. Каждая стоянка отработана из 8–10 пунктов возбуждения с максимальным расстоянием «пункт возбуждения – пункт приема» не менее 1000 м, что обеспечило глубину зондирования рефрагированными волнами не менее 150 м. Источник возбуждения – падающий груз массой 300 кг с энергией воздействия порядка 12 кДж. Прием упругих колебаний осуществлялся линейной расстановкой 48 вертикальных сейсмоприемников типа DF-8. В качестве регистратора исполь-

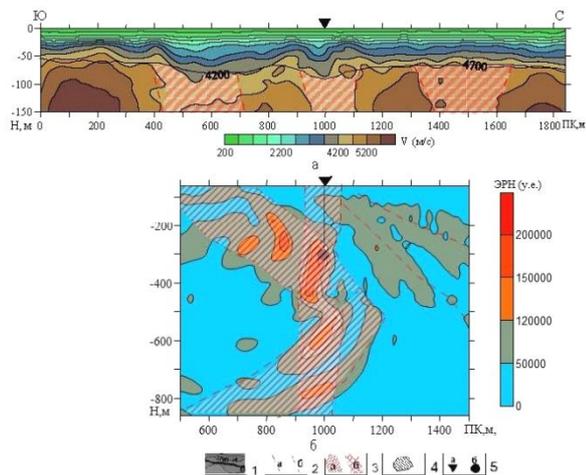
зована 48-канальная цифровая сейсмостанция SGD-SEL (РФ) с накоплением воздействий, при шаге квантования сигнала 1 мс и частоте среза цифрового фильтра низких частот 396 Гц. Обработка данных выполнялась по стандартной методике для КМПВ с расчетом граничных скоростей и положения преломляющей границы, так и по методике для рефрагированных волн с построением скоростных разрезов с использованием пакета X-TOMO

Система наблюдений при работах по МДРВ – центрально-симметричная относительно устья скважины, состоящая из четырех парных сегментов: линия приема – линия возбуждения. Для возбуждения, приема и регистрации упругих колебаний использованы те же технические средства, что и для КМПВ-МРВ. Прием упругих колебаний осуществлялся линейной расстановкой из 48 вертикальных сейсмоприемников типа DF-8 с шагом между ними 10 м. Обработка данных включала повышение соотношения сигнал-помеха для снижения интенсивности регулярных помех (поверхностных, отраженно-рефрагированных различной кратности продольных и обменных волн) и фокусирующее преобразование волнового поля по общей точке рассеяния (дифракции), что обеспечивало выделение в поле энергии рассеянных волн областей интенсивной трещиноватости. В результате фокусирующего преобразования построены вертикальные разрезы поля энергии рассеянных волн в ортогональных плоскостях для приустьевых площадок.

На рисунках 1 и 2 приведен пример результатов сейсморазведки на одном из участков – блоке геологической среды, включающем скважину № 1235, – площадки Балапан Семипалатинского испытательного полигона [3]. Два ПЯВ в этой скважине (с забоем 535 м) были произведены 20.11.1983 г. на глубине 305 м в интересах совершенствования ядерного оружия. Мощность зарядов – до 20 кт тротилового эквивалента. Взрыв был полного внутреннего действия без выхода или истечения газообразных продуктов в атмосферу.

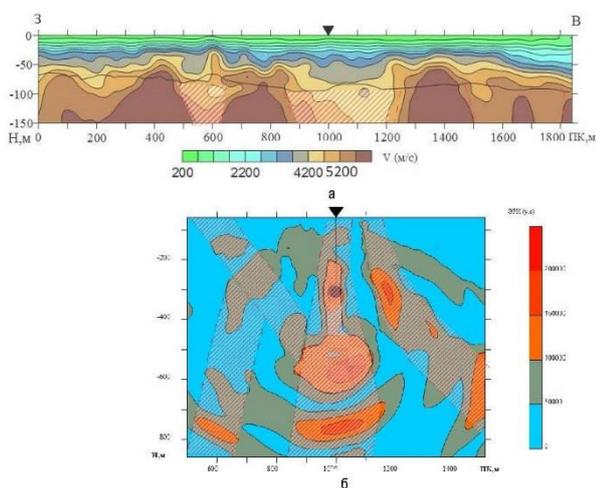
Геологический разрез на исследованном участке сложен (сверху вниз) неогеновыми глинами и песча-

ми общей мощностью порядка 20 м и кристалло-литокластическими туфами андезитовых порфиров мощностью порядка 500 м. Верхняя часть туфов является корой выветривания. Подземные воды приурочены к зоне экзогенной трещиноватости, развитой до глубины 65 м, уровень подземных вод – порядка 24 м. Скважина расположена на равнинной местности.



1 – границная скорость; 2 – изолинии скорости (а) и преломляющая граница по кровле фундамента (б); 3 – разрывное нарушение по геофизическим данным: а – установленное, б – предполагаемое; 4 – зона трещиноватости: (а) по сейсмическим данным; (б) по данным электроразведки; 5 – зона интенсивного изменения по данным МДРВ; 6 – эпицентр (а) и гипоцентр (б) ПЯВ

Рисунок 1. Площадка Балапан. Скв. № 1235. Разрез Ю–С: (а) скоростной разрез по данным КМПВ-МРВ; (б) разрез в параметре энергии рассеянных волн по данным МДРВ



Условные обозначения на рисунке 1

Рисунок 2. Площадка Балапан. Скв. № 1235. Разрез 3–В: (а) скоростной разрез по данным КМПВ-МРВ; (б) разрез в параметре энергии рассеянных волн по данным МДРВ

Два ортогональных профиля, по которым проведены работы методом МРВ, имеют ориентировку С–Ю (рисунок 1) и 3–В (рисунок 2). Размер площадки

МДРВ с центром на устье скважины 1000×1000 м. Как следует из рисунков 1-а, 2-а, наиболее значимое снижение скорости упругих волн в скальном фундаменте, прослеживаемое практически на всю глубину зондирования рефрагированными волнами, отмечается в районе эпицентра ПЯВ. В меридиональном сечении (рисунок 1) снижение скорости продольных волн прослежено в интервале ПК 400–1600.

В широтном сечении (рисунок 2) снижение скорости продольных волн прослежено в интервале ПК 480–1250. Аномальное снижение скорости упругих волн проинтерпретировано как связанное с образованной поствзрывной зоной деструкции. Такие же зоны, симметричные относительно эпицентральной части, хотя и менее контрастные, проявились на удалении от эпицентра ПЯВ на 400–500 м.

Гипоцентральная область ПЯВ характеризуется по энергии рассеянных волн МДРВ (рисунки 1-б, 2-б). Зона максимального дробления и трещиноватости выделена по максимальным значениям энергии рассеянных волн. В широтном сечении – это субвертикальная неоднородность неправильной формы в интервале глубин 250–650 м, имеющая горизонтальную мощность порядка 100–200 м. Сопряжённая с ней область повышенной трещиноватости имеет диаметр порядка 650 м и прослеживается практически от кровли фундамента на всю глубину зондирования, представляя совокупность крутопадающих в восточном и северном направлениях структур мощностью до 200 м. Выходы как субвертикальной, так и наклонных трещинных структур удовлетворительно согласуются с зонами аномального понижения скорости упругих волн в фундаменте по данным сейсморазведки КМПВ-МРВ.

В целом по сейсмическим данным блок горных пород, вмещающий скважину № 1235, характеризуется широким развитием поствзрывных деструктивных эффектов, проявленных как природно-техногенная трещиноватость в горных породах. Деструктивное действие ПЯВ в скважине № 1235 распространяется на глубину, значительно превышающую глубину ПЯВ.

## Выводы

Практика применения на СИП сейсморазведки методами рефрагированных и дифрагированно-рассеянных волн показала возможность выявлять, изучать и оценивать размеры и пространственное положение зон деструкции в геологической среде, прилегающей к гипоцентру ПЯВ в радиусе до 500 м, а также зоны разуплотнения горных пород по кровле фундамента в радиусе до 1 км. Выявляемые зоны природных и техногенных нарушений могут быть прослежены на глубину ниже гипоцентра (до 2–3 раз больше, чем глубина заложения заряда).

Данные, полученные по сейсморазведке, составляют хорошую информационную основу для изучения гидродинамической обстановки в недрах участков ПЯВ. Из характера и размеров зон деструкции

следует, что гидрогеохимические исследования по принятой редкой сети наблюдательных скважин глубиной 50–70 м (реже до 100–120 м) недостаточны

для надежного картирования путей миграции радионуклидов из очагов ПЯВ с потоками вод [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романов, А.М. Преимущественная форма распространения веществ в литосфере и атмосфере / А.М. Романов // Вестник НЯЦ РК, 2015. – Вып.4. – С. 107–110.
2. Романов, А.М. Физико-механическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов. – Семей: Издательский дом «Интеллект» – 110 с.
3. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» в составе государственной бюджетной программы БП-038 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан»: отчет (промежуточный) / Институт геофизических исследований (ИГИ): рук. Л.В. Бахтин. – Курчатов, 2011. – 73 с.
4. Шайторов, В.Н. Применение сейсморазведки при выделении динамического воздействия подземного ядерного взрыва в геологической среде на примере участка Балапан / Б.И. Кислый, А.К. Жолдыбаев [и др.] // Вестник НЯЦ РК. – 2006. – Вып. 1. – С. 67–74.
5. Беляшов, А.В. Мукушева М.К. Использование сейсморазведки для изучения влияния подземных ядерных взрывов на окружающую геологическую среду / А.В. Беляшов, М.К. Мукушева // Геофизика. – 2011. – № 6. – С. 36–41.

### ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР УЧАСКЕЛЕРІНДЕГІ ТЕХНОГЕНДІ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ ЗЕРДЕЛЕУ КЕЗІНДЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ БАРЛАУ ДЕРЕКТЕРІН ПАЙДАЛАНУ

Т.Г. Ларина, А.М. Романов, Н.Н. Сергеев

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Семей сынау полигонының ұрыс ұңғымаларының бірінің мысалында техногенді құрылымдарды зерделеу кезінде сейсмикалық барлау мүмкіндіктері көрсетілген – сыну толқындарының корреляциялық әдісі (СТКӨ), тойтарылмаған толқындар әдісі (ТТӨ), тойтарылған-шашыраған толқындар әдісі (ТШТӨ). Сейсмикалық барлау деректері бойынша жарықшақтылықтың орталық зонасы айқындалды (ЖЯЖ ошағы), онда тығыздалған және тығыздығы жойылған тау жыныстарының алмасуы, сондай-ақ жанасып жатқан жарықшақтылықтың үлкен зонасы байқалады. ЖЯЖ ошағынан 200–300 м қашықтықта жарықшақтылықтың қосымша зоналары көрінеді.

### THE USE OF SEISMIC SURVEY DATA WHEN STUDYING TECHNOGENIC STRUCTURES AT THE UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS SITES

T.G. Larina, A.M. Romanov, N.N. Sergeev

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The article shows opportunities of seismic survey – refraction correlation method, method of refracted waves, method of refracted scattered waves, – during the study of technogenic structures at the example of one of emplacement boreholes of the Semipalatinsk Test Site. According to the data of seismic survey, central fissure zone (UNE focus) is detected, where there is an alternation of compacted and decompressed rocks as well as adjacent strong fissure zones. At a distance of 200–300 m from the UNE focus there are additional fissure zones.

УДК 550.837.3.621.039.9 (24)

## ВЫЯВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ СТРУКТУР МЕТОДАМИ КАЖУЩЕГОСЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Апенько А.В., Пестов Е.Ю., Романов А.М.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Проведен анализ кольцевых и линейных зон пониженного электрического сопротивления (КС) на участках подземных ядерных взрывов (ПЯВ) Семипалатинского испытательного полигона, выявленных полевыми съемками, и установлено их отличие от распределений КС на участках, удаленных от мест проведения ПЯВ. Линейные зоны пониженных значений КС отнесены к проявлениям геологических разломов, подновленных ядерными взрывами, кольцевые зоны – к разрушениям, образованным в результате локального механического воздействия ПЯВ на вмещающие породы. Линейные и кольцевые зоны отнесены к техногенным структурам. Установлено, что техногенные зоны имеют существенно большую контрастность и ширину, по сравнению с проявлениями природных зон разломов, удаленных от очагов ПЯВ. Приведенная интерпретация геоэлектрических особенностей не противоречит имеющимся геологическим представлениям и может использоваться при изучении потоков вод и оценке радиационной опасности в недрах на участках ПЯВ.

Наличие вод, которое прямо зависит от пористости и трещиноватости пород, оказывает существенное влияние на удельное электрическое сопротивление горных пород. Чем больше содержание вод в горных породах, тем меньше их совместное значение электрического сопротивления. Так, например, наименьшим удельным электрическим сопротивлением (единицы – первые десятки Ом м) характеризуются обводненные пески и глины, пористость которых может достигать 30–40 %. Наибольшее сопротивление (десятки тысяч Ом м) свойственно скальным массивам, не затронутых трещиноватостью или с трещиноватостью, залеченной кварцем и карбонатами. Открытые трещины, заполненные водой, имеют существенно меньшее сопротивление по сравнению с массивной частью скальных образований. Это создает предпосылку для выявления разрывных нарушений электроразведкой методами кажущегося электрического сопротивления.

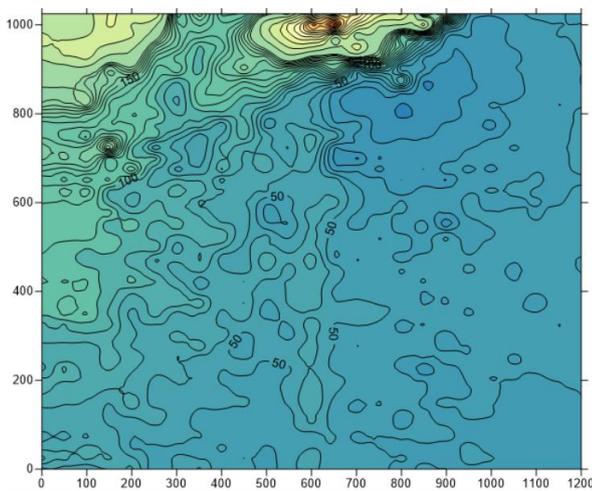


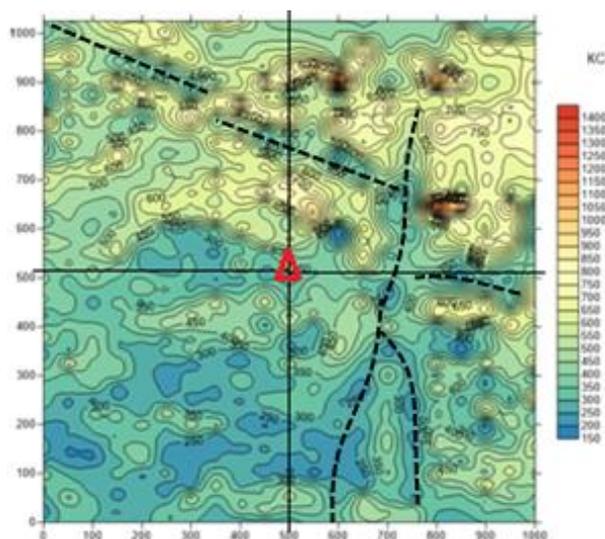
Рисунок 1. Пример распределения значений КС на участке с повышенной мощностью рыхлых отложений на удалении от ПЯВ

При наличии чехла рыхлых отложений мощностью более 0,5 м отдельные трещинные зоны в коренных породах электроразведочной съемкой на дневной поверхности практически не выделяются. Примером является распределение значений КС на участке (площадка Балапан), перекрытом мощным (до 50 м) слоем рыхлых отложений и удаленном от мест проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) на расстояние более 1 км (рисунок 1).

Как видно из рисунка 1, только на периферической части участка, где мощность рыхлых отложений уменьшена, выявляются линейные структуры по контактам высокоомных и низкоомных пород. Однако системы сближенных открытых трещин, свойственные зонам крупных разломов, могут быть выявлены по результатам электроразведочных работ методами КС даже при наличии чехла рыхлых отложений.

На участках проведения ПЯВ в результате интенсивного механического воздействия на массив горных пород, как показывает сейсморазведка методом дифрагированно рассеянных волн [1], формируются кольцевые структуры, подновляются природные разломы, возникают техногенные разломы. Для изучения возможностей, помимо сейсморазведки, других геофизических методов, на площадке Балапан Семипалатинского испытательного полигона проведены электроразведочные съемки методом срединного градиента по 16 участкам (до 830 точек замеров на каждом участке). На рисунке 2 приведен пример площадной электроразведочной съемки методом срединного градиента по участку скважины № 1067.

Как следует из рисунка 2, проявляется серия линейно вытянутых понижений КС. Протяженность их достигает 600–700 м, а ширина 20–50 м. Эти понижения интерпретируются как зоны интенсивного «подновления» имеющихся геологических разломов различных направлений. Подобные формы распределений КС на участках без интенсивного техногенного воздействия встречаются редко. На том же рисунке



△ – устье скважины № 1067;  
 - - - - подновленное тектоническое нарушение

Рисунок 2. Пример распределения значений КС на участке скважины 1067 площадки Балапан с явно выраженными линейными понижениями КС

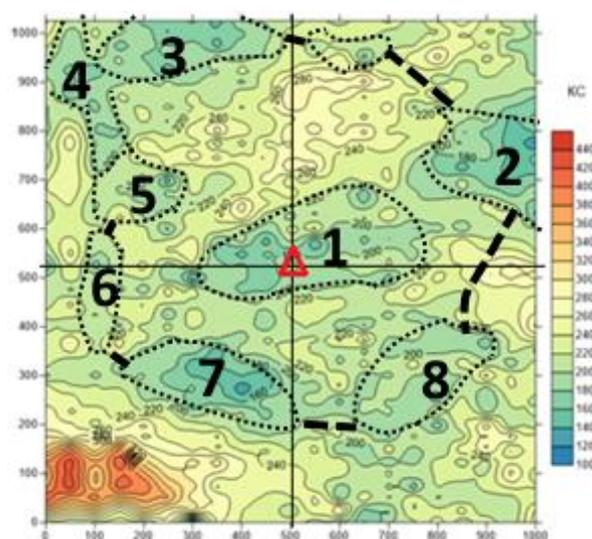
вблизи устья скважины, но со смещением от эпицентра взрыва, проявлены локальные понижения КС, форма которых близка к изометричной. Именно таким образом может проявляться разрушение пород в пределах и вокруг очага ПЯВ.

На рисунке 3 приведено распределение КС по участку скважины № 1225, иллюстрирующее характер проявления техногенной изометричной зоны, созданной ПЯВ.

В центре (аномалия 1) располагается явно выраженное локальное понижение КС. Наряду с ним выделяются еще семь аналогичных понижений (2–8). Центральная аномалия (1) характеризует интенсивную трещиноватость горных пород непосредственно над очагом ПЯВ; аномалии (2–8) окружают центральную зону, составляя кольцевую зону. В совокупности распределение значений КС отражает чередование зон разуплотнения и уплотнения горных пород, образованных в результате проведения ПЯВ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» в составе государственной бюджетной программы БП-038 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан»: отчет (промежуточный) / Институт геофизических исследований (ИГИ): рук. Л.В. Бахтин. – Курчатov, 2011. – 73 с.
2. Романов, А.М. Взаимодействие вод с горными породами / А.М. Романов // Алматы: ИВТ, НАК «Казатомпром», 2003. – 247 с.
3. Романов, А.М. Физико-геологическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов // Курчатov, 2017. – 110 с.



△ – устье скважины;  
 цифры (1–8) – локальные аномалии КС

Рисунок 3. Взаимное расположение локальных понижений КС на участке скважины № 1225 площадки Балапан

Приведенные примеры (рисунки 1–3) существенно различаются по условиям механического воздействия взрывов на целостность горных пород. В результате воздействия формируются зоны трещиноватости (разуплотнения) по которым движутся потоки подземных вод. Часть этих зон вскрывает очаги ПЯВ и движущиеся по ним воды распространяют радионуклиды в недрах. Радиоактивные загрязнения мигрируют по узким линейно вытянутым гидродинамическим структурам. Обнаружение таких структур, которые представляют собой смешение линейных и кольцевых форм, относится к сложным задачам [2, 3]. Снижение затрат на решение таких задач требует целенаправленного применения геологического картирования. Методика картирования с использованием электроразведки методом КС – одна из эффективных возможностей для прослеживания гидродинамических структур, в том числе переносящих радионуклиды из очагов ПЯВ.

**БОЛЫП КӨРІНЕТІН ЭЛЕКТР КЕДЕРГІ ӘДІСТЕРІМЕН ТЕХНОГЕНДІ  
ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ АЙҚЫНДАУ**

**А.В. Апенько, Е.Ю. Пестов, А.М. Романов**

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Семей сынау полигонындағы (ССП) жерасты ядролық жарылыстардың (ЖЯЖ) учаскелерінде далалық түсірулермен айқындалған электр кедергінің (ЭК) төмен мәндерінің сақиналық және сызықты зоналарын талдауы жүргізілген және ЖЯЖ жүргізілген жерлерден қашықтағы учаскелеріндегі ЭК таралудан олардың ерекшелігі анықталған. ЭК төмен мәндерінің сызықтық зоналары, ядролық жарылыстармен жаңартылған геологиялық жарылымдардың көріністеріне жатады, сақиналы зоналар – сыйыстырушы таужыныстарға ЖЯЖ-дің локаль механикалық ықпалы нәтижесінде пайда болған бұзылуларына жатады. Сызықтық және сақиналы зоналар техногенді құрылымдарына жатқызылған. Техногенді зоналарда, ЖЯЖ ошақтарынан қашықтағы жарылымдардың табиғи зоналарының көріністерімен салыстырғанда, елеулі кереғарлығы мен еңі болуы анықталған. Геоэлектрлік ерекшеліктерін келтірілген пайымдауы бұрынғы геологиялық көзғарастарына қайшы келмейді және оны су ағымдарын зерделеу мен ЖЯЖ учаскелерінде радиациялық қауіпті бағалауында пайдалануға болады.

**DETECTION OF TECHNOGENIC STRUCTURES USING METHODS  
OF APPARENT ELECTRICAL RESISTIVITY**

**A.V. Apenko, E.Yu. Pestov, A.M. Romanov**

*Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan*

An analysis of ring and linear zones of decreased electrical resistivity (AR) on the sites of underground nuclear explosions (UNE) of Semipalatinsk Test Site has been implemented; the zones were detected using field surveys and we established their difference from the AR distribution at the sites distanced from the UNE implementation places. Linear zones of decreased values of AR belong to the occurrences of geological faults renewed by nuclear explosions, whereas ring zones – to the faults occurred as a result of local mechanical impact of a UNE onto the background rocks. Linear and ring zones belong to the technogenic structures. It has been established that technogenic zones have significantly great contrast and width in comparison with the occurrences of natural zones of faults distanced from the UNEs epicenters. The presented interpretation of geo-electrical features does not contradict the existing geological views and can be used during the study of water flows and assessment of radiation safety in the interior of UNEs sites.

УДК 550.837.2:621.039.9(24)

## ПРОЯВЛЕННОСТЬ ТЕХНОГЕННЫХ СТРУКТУР В ЕСТЕСТВЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Бахтин Л.В., Романов А.М., Токаев Д.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Разработана методика естественного электрического поля (ЕП), позволяющая по контрастности, а также по интенсивности особенностей ЕП уверенно выделять участки движения подземных вод, в том числе вблизи очагов подземных ядерных взрывов (ПЯВ). Основными особенностями распределения являются понижение значений ЕП на участках истока и сужений потоков подземных вод и повышение значений ЕП на участках замедления и расширения этих потоков. На участках ПЯВ характер распределений ЕП сложный – линейно вытянутый по различным направлениям, зачастую – мозаичный. В ряде случаев отмечены кольцевые структуры, соконцентричные очагам ПЯВ.

При проведении подземных ядерных взрывов происходит подновление существующих (тектонических) и образование новых (техногенных) нарушений. Разрушенные породы становятся более водопроницаемыми, по ним движутся потоки подземных вод, образуя новые гидродинамические структуры, по которым происходит миграция радионуклидов из очагов подземных ядерных взрывов.

Движение вод в горных породах сопровождается формированием естественного электрического поля (ЕП). Чем больше скорость течения, тем выше уровень потенциала ЕП, которое прямо влияет на реакции обмена между твердой и жидкой фазами горных пород. Это относится и к процессам миграции радионуклидов. Форма потоков определяется преимущественно геологическими разломами и является линейной [1]. Типичное распределение потенциала течения в геологической среде, не затронутой техногенным воздействием, приведено на рисунке 1.

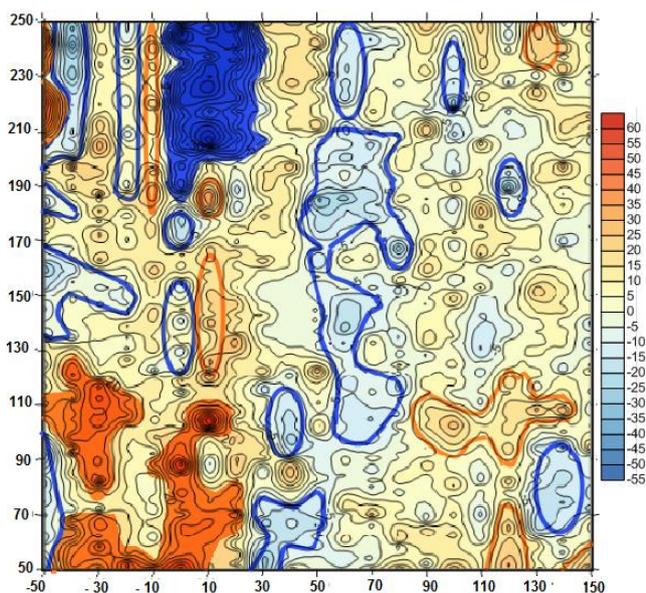


Рисунок 1. Карта изолиний потенциала естественного электрического поля с выделенными аномалиями. Участок Акбота-Западный, СИП

На участке Акбота-Западный (СИП) проявлены субмеридиональные аномалии ЕП положительного и отрицательного знака. Наиболее контрастной является отрицательная аномалия, расположенная на северо-западе участка (район вершины горы), которая интерпретируется как начало потока вод, направленного в сторону соленого озера, находящегося южнее исследованного участка. Параллельно этой аномалии, начиная от центра участка, прослеживается другая положительная аномалия ЕП, которая является зоной истока накопленных дождевых вод. Явной связи распределений потенциала ЕП с литологическим составом горных пород не было установлено.

Для изучения типичных распределений естественного электрического поля выполнены работы на СИП в районе рек Ащису и Шаган (рисунок 2). На участках протекания реки Ащису (рисунок 2) по рыхлым отложениям значения потенциала ЕП варьируют от +2 до +27 мВ. Участки расширения русла (плесы) характеризуются повышением уровня ЕП, а сужения (быстрины) – понижением уровня ЕП.

Сопоставление аномалий ЕП окислительно-восстановительной и фильтрационной природы выполнено по дамбе водохранилища рек Ащису и Шаган (рисунок 3). Аномалия потенциала течения (фильтрации) отмечается на выходе ручья из дамбы и достигает +42 мВ. Участки восточного и западного бортов тальвега возле краев дамбы характеризуются повышенными значениями ЕП. Аномалией окислительно-восстановительного потенциала, достигающая 95 мВ, отмечается армированная металлом наблюдательного люка шахты (рисунок 4).

На участках протекания реки Шаган по скальным отложениям (в том числе, и по скоплениям валунов и крупных обломков кристаллических пород) потенциал ЕП составляет до +50 мВ (рисунок 5).

Типичное распределение потенциала течения в гидродинамических структурах представлено на рисунке 6.

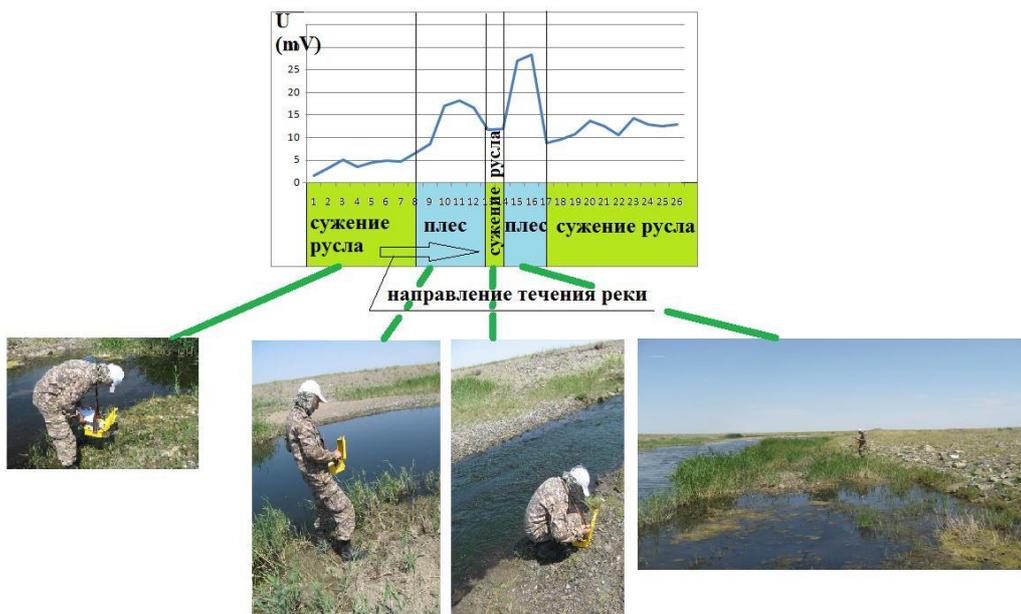


Рисунок 2. Сопоставление значений потенциала ЕП на участках изменения скорости потока реки Аицису, СИП



Рисунок 3. Северная сторона дамбы на реках Аицису – Шаган, СИП

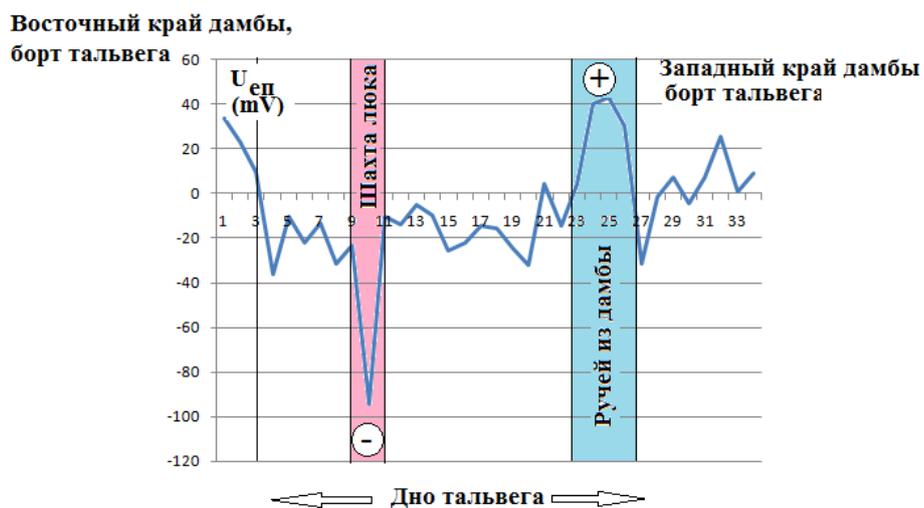


Рисунок 4. Сопоставление значений потенциала на участках интенсивного окисления и выхода потока вод дамбы

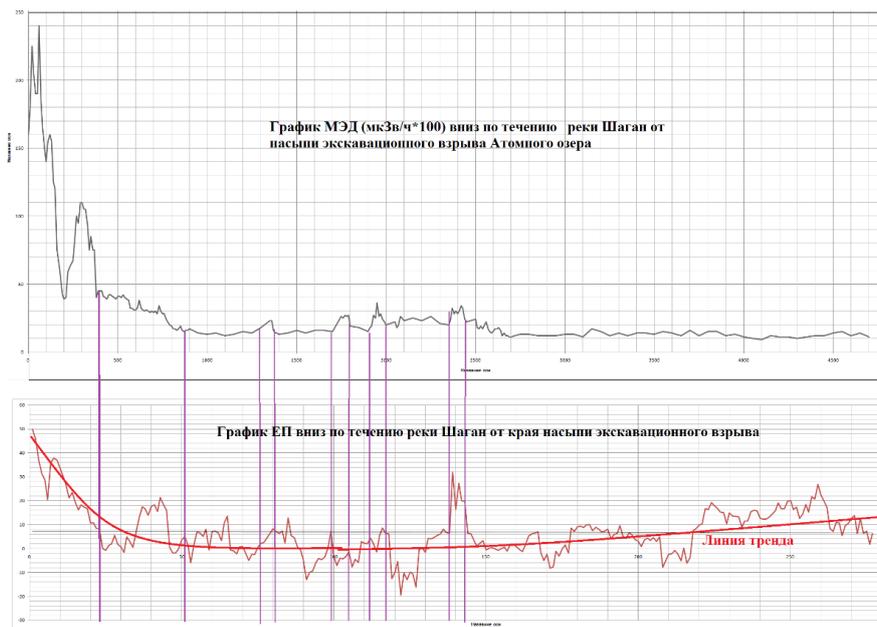


Рисунок 5. Сопоставление значений потенциала EP на скальных обломках и рыхлых отложениях реки Шаган, СИП

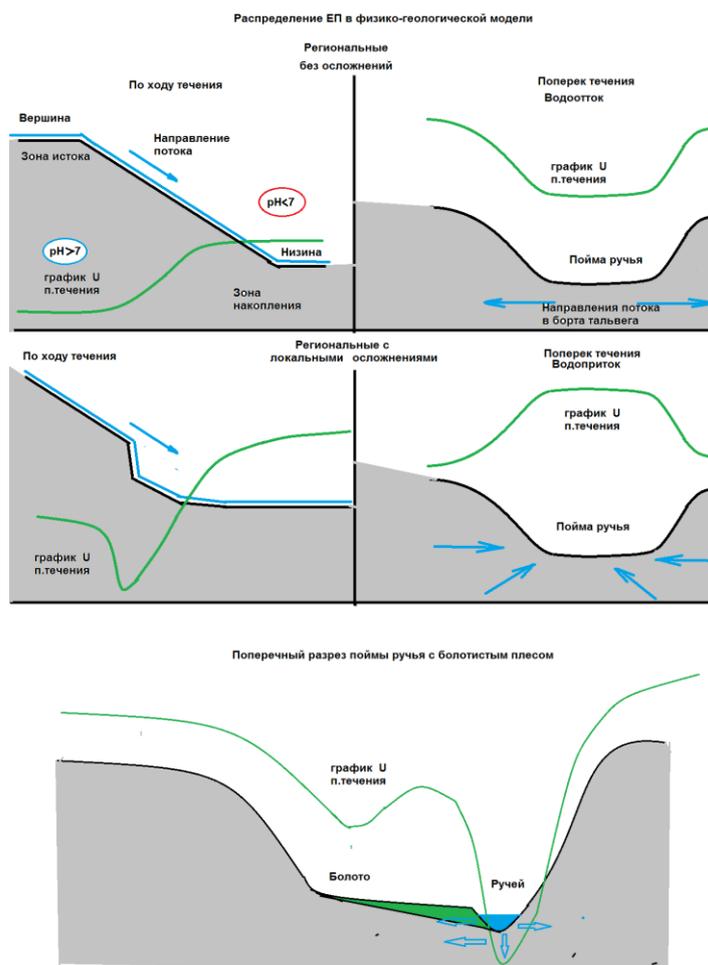
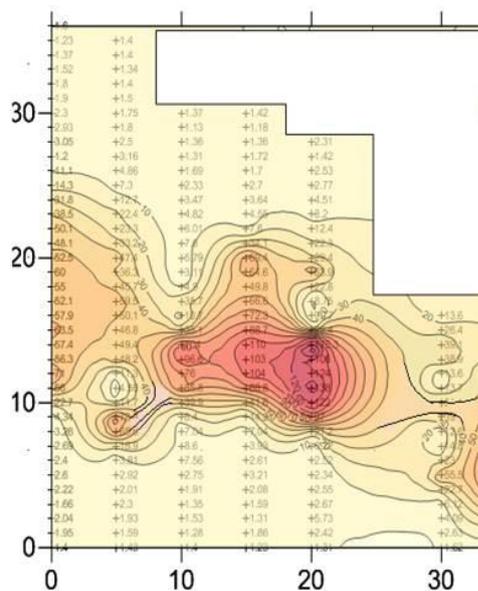


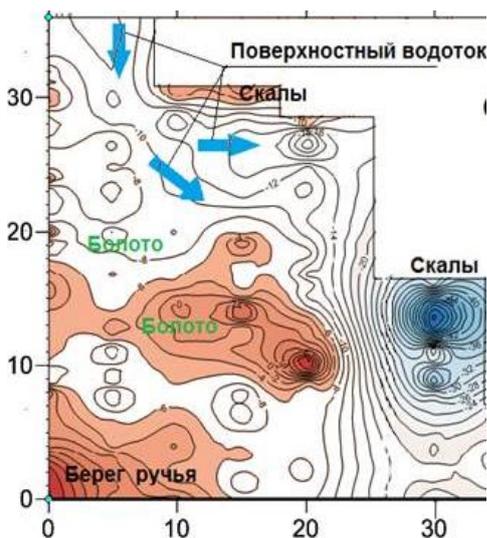
Рисунок 6. Типичные распределения потенциала течения на поверхностных гидродинамических системах (руслах ручьев)

Основные выводы, сделанные по результатам наблюдения ЕП на участке Шаган:

- при направлении профилей съемок поперек потока выходы вод из зон фильтрации на дневную поверхность, а также берега русел, поглощающие воду, характеризуются повышениями потенциала течения;
- при направлении профилей съемок вдоль потока места его расширения отмечаются положительными значениями ЕП, а сужения – отрицательными;
- при прочих равных условиях аномалии ЕП на участках высокоомных пород характеризуются большей интенсивностью по сравнению с участками низкоомных пород.



а) гамма-активность



б) естественное электрическое поле

Рисунок 7. Сопоставление распределений радионуклидов (гамма-активность) и потенциала течения электрического поля. Ручей Байтлес, СИП

Особое внимание следует обратить на то, что с участками повышения уровня потенциала течения связано повышение гамма-активности (рисунок 5). Это свидетельствует о влиянии ЕП на отложение радионуклидов из жидкой фазы в твердую. Аналогичные результаты получены при сопоставлении гамма-активности и потенциала течения на ручьях Байтлес (рисунок 7), Узынбулак (рисунок 8), вытекающих из боевых штолен площадки Дегелен [2].

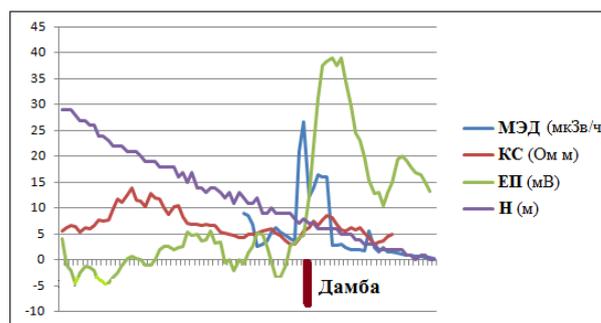


Рисунок 8. Сопоставление распределений радионуклидов (гамма-активности), потенциала течения электрического поля, кажущегося электрического сопротивления на участке дамбы, перегораживающей ручей Узынбулак, СИП

Миграция и межфазный переход радионуклидов возможны как в природных, так и в техногенных структурах, поскольку в структурах обоих видов происходит движение вод, возникает электрическое поле потенциала течения, влияющее на взаимодействие горных пород и вод, в том числе и на миграцию веществ. Однако форма зон водопроводимости природных и техногенных структур существенно различается. Выше (рисунок 1) было показано, что форма природных структур – преимущественно линейная, соответственно, подновление этих зон ядерными взрывами, имеет линейный вид. Даже на удалении 1–2 км от эпицентра подземного ядерного взрыва линейность явно выражена, как это следует из данных ЕП (рисунок 9-а).

В непосредственной близости от мест подземных ядерных взрывов воздействие на вмещающие массивы горных пород проявлено локально и, преимущественно в форме колец, концентрических эпицентру. На расстоянии до 400 м и более от скважин с ПЯВ распределения ЕП имеют специфическую форму, близкую к кольцевой (рисунок 9-б). Обычно на таких участках гидродинамические структуры характеризуются смешанными формами распределений ЕП [2, 3]. Несмотря на то, что подобные формы сложны в интерпретации, с помощью данных ЕП возможно определить не только местоположение подземных водотоков, но и их направление. Кроме того, по участкам с повышенными значениями потенциала течения устанавливается наличие предполагаемых расширенных потоков вод.

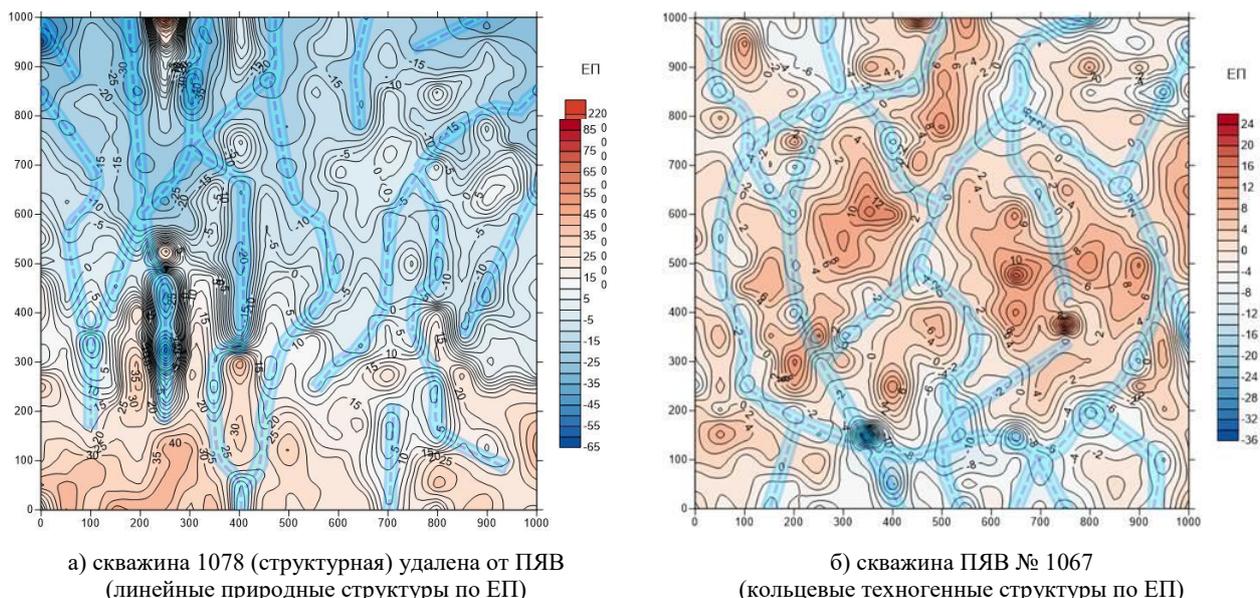


Рисунок 9. Сопоставление природных и техногенных распределений потенциала течения

Подобные участки являются потенциальными накопителями радионуклидов и поэтому характер ЕП может использоваться как индикатор при оценке радиационной опасности недр.

При определении путей миграции радионуклидов, наряду с картами ЕП, необходимо использовать как дополнительную информацию: 1) распределения кажущегося электрического сопротивления, позволяющие выделить линейные геологические нарушения, в том числе и подновленные ядерными взрывами; 2) распределения активности газового трития, определяемые эксхалационной съемкой участков. Они позволяют установить наличие непосредственной связи гидродинамических структур с очагами подземных ядерных взрывов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романов, А.М. Взаимодействие вод с горными породами / А.М.Романов // Алматы: НАК Казатомпром, 2003. – 247 с.
2. Романов, А.М. Физико-геологическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов. – Семей: Издательский дом «Интеллект», 2017 – 110 с.
3. Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов на Семипалатинском испытательном полигоне: отчет о НИР (заключительный) / Республиканское государственное предприятие «Институт геофизических исследований» (РГПИ ИГИ); рук. А.М. Романов. – Курчатов, 2017. – 270 с. – НЦНТИ; №ГР 0115РК02350. – Инв. № 0217РК01358.

Таким образом, можно утверждать, что метод естественного электрического поля должен быть неотъемлемой частью комплекса геофизических методов, предназначенных для определения путей распространения радиоактивного загрязнения из очагов подземных ядерных взрывов.

*Исследования выполнены в рамках гранта МОН РК № 1758/ГФ4 «Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов Семипалатинском испытательном полигоне» (2015–2017 гг.).*

*Научный руководитель Романов А.М., к.г.-м.н.*

## ТАБИҒИ ЭЛЕКТР ӨРІСТЕГІ ТЕХНОГЕНДІ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫҢ КӨРІНУІ

Л.В. Бахтин, А.М. Романов, Д.Н. Тоқаев

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Керегарлық, сондай-ақ электр өрісінің (ЭӨ) ерекшеліктерінің қарқындылығы бойынша жерасты суларының, оның ішінде жерасты ядролық жарылыстарының (ЖЯЖ) ошақтары маңындағы жерасты суларының қозғалыстарының учаскелерін сенімді бөлуге мүмкіндік беретін табиғи ЭӨ әдістемесі әзірленді. Жерасты суларының шығар жері мен ағынның тарылу учаскелерінде ЭӨ мәнінің төмендеуі және осы ағындардың баяулау мен кеңею учаскелерінде ЭӨ мәнінің жоғарлауы таралудың негізгі ерекшеліктері болып табылады. ЖЯЖ учаскелерінде ЭӨ-нің таралу сипаты күрделі – әртүрлі бағыттар бойынша сызықты ұзартылған, көбінесе – мозаикалық. Бірқатар жағдайда ЖЯЖ ошақтарына бірге концентратталған сақиналық құрылымдар белгіленеді.

## PRESENCE OF TECHNOGENIC STRUCTURES IN NATURAL ELECTRICAL FIELD

L.V. Bakhtin, A.M. Romanov, D.N. Tokaev

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

A methodology of self-potential that allows to confidently detect sites of underground water movements, including the ones near the foci of underground nuclear explosions (UNE), based on the contrast and intensity of self-potential features, has been developed. The main features of distribution are the decrease of self-potential values at the sites of the source and narrowing of the underground water flows and increase of self-potential values at the sites of slowness and widening of these flows. At the UNE sites the nature of self-potential is complicated – linearly stretched in different directions, often – mosaic one. In a number of cases ring structures co-concentric with the UNEs foci have been noted.

УДК 550.378:621.039.9(24)

**РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОГО ТРИТИЯ НА УЧАСТКАХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**

Апенько А.В., Романов А.М., Токаев Д.Н., Фролов З.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

По результатам площадной съемки эксхалляции трития на ряде участков Семипалатинского испытательного полигона установлены три основных типа распределений повышенной активности трития: 1 – линейно-мозаичные на участках со слабыми или практически отсутствующими нарушениями геологических структур (за пределами участков взрывов); 2 – преимущественно линейные, связанные с природными разломами, интенсивно подновленными взрывами на участках взрывов; 3 – кольцевые, связанные с техногенными (кольцевыми) структурами, образованными непосредственно взрывами. Обычно распределения трития второго и третьего типа проявляются совместно. Отмечены большая стабильность результатов и глубинность съемки эксхалляции трития по сравнению результатами замеров эксхалляции радона. Установлена пространственная связь аномальных повышений активности трития с гидродинамических структур, выявленных методами структурной геофизики. Показаны преимущества использования методики газовой съемки активности трития для подтверждения связи гидродинамических структур с очагами подземных ядерных взрывов.

В недрах Семипалатинского испытательного полигона (СИП) в результате тестирования ядерного оружия образовалось значительное количество продуктов ядерных взрывов. По различным оценкам это – от 67 до 96 % общей активности техногенных радионуклидов. Наибольшей активностью характеризуется  $^{137}\text{Cs}$  и, несколько меньшей –  $^{90}\text{Sr}$ . Еще одним важным продуктом ядерных взрывов является тритий. Фактически повышенные и высокие активности указанных радионуклидов наблюдаются в течение десятков лет, несмотря на вынос веществ поверхностными и грунтовыми водами, что указывает на медленное поступление радионуклидов из горных пород в газовую и водную фазы литосферы. Источники нейтронов в продуктах, образованных ядерными взрывами, характеризуются намного меньшей активностью по сравнению с источниками альфа-, бета- и гамма-излучений. Соответственно, они не могут обеспечить наработку трития и других продуктов (тем более длительную) в объемах, сопоставимую с поступающей в окружающую среду в настоящее время. С учетом этого, предполагается, что в реальных геологических условиях современное поступление трития и других радионуклидов из очагов подземных ядерных взрывов (ПЯВ) в окружающую среду происходит в результате его выщелачивания, – перехода веществ из твердой фазы в жидкую. Выщелачивание предполагает нахождение трития в жидкой форме – преимущественно в виде тритиевой воды. Тем не менее, на участках ядерных взрывов отмечается наличие трития и в газовой фазе. В частности, по реке Шаган, проходящей через площадку Балапан, где производились ПЯВ в скважинах, отмечено аномальное поведение трития. На расстоянии четырех километров ниже по течению от Атомного озера наблюдается повышение активности трития в виде пика. Активность резко возрастает на интервале около сотни метров, а затем быстро снижается на интервале около

600 м. Далее, вниз по течению, на интервале около 1 км интенсивность снижения существенно уменьшается и до места впадения реки Шаган в реку Иртыш происходит постепенное снижение активности трития. Подобное распределение активности можно объяснить только тем, что в речные воды поступают грунтовые и трещинные воды, загрязненные продуктами взрыва от скважины № 1004. Причем воды содержат тритий и в виде газа, и в виде тритиевой воды. Быстрое уменьшение активности связывается с барботажем, в результате которого газовый тритий улетучивается из воды в атмосферу. Соотношение активности газового и водного трития при этом составляет 5:2. Возможно, что именно дальнейшим переходом водного трития в газовый (а не разбавлением за счет водопритока) объясняется постепенное снижение его активности в водах реки Шаган.

Согласно термодинамическим представлениям самопроизвольное образование газового трития из тритиевой воды крайне маловероятно (энергия Гиббса реакции образования газового трития из воды положительна и существенно отлична от нуля). Температура горных пород и вод, а также давление в верхних слоях литосферы не могут обеспечить прохождения этой реакции. Путем последовательного исключения возможных физических причин единственно возможным путем образования газового трития остается внешнее воздействие на тритиевую воду электрического поля.

Электрическое поле образуется в обязательном порядке при движении вод относительно горных пород [1]. Его уровень определяется динамическим, структурным и вещественным факторами гидродинамической структуры, по которой движутся воды [2]:

- динамическим – скорости движения вод относительно горных пород;
- структурным – особенностями пространственных характеристик гидродинамических структур, оп-

ределяющих изменчивости поперечных сечений потоков вод;

– вещественным – минеральными особенностями, определяющими отношения удельных электрических сопротивлений твердой и жидкой фаз.

Эти факторы могут влиять на взаимодействие горных пород и вод только через посредство электрического поля. Значения напряженности электрического поля потенциалов течения могут обеспечивать прохождение электрохимических (точнее – электрофизических) реакций межфазного перехода веществ [2], в том числе происходящих в техногенных гидродинамических структурах.

Техногенные структуры на СИП представлены кольцевыми зонами трещиноватости, которые образуются при локальном интенсивном механическом воздействии ядерного взрыва и окружают его гипоцентр. Кроме того, взрывы подновляют существующие природные образования – разломы, существенно увеличивая их мощность и трещиноватость. Геологические разломы характеризуются преимущественно линейной формой.

На поствзрывной стадии вмещающая среда остывает, происходит заполнение полостей очагов ПЯВ, кольцевых и линейных зон разломов подземными водами. Спустя первые месяцы после взрыва в недрах формируется гидродинамический режим с преимущественным прохождением потоков вод через зоны максимально разрушенных горных пород. Движение вод и происходящее при этом выщелачивание обуславливают вынос продуктов взрывов по каналам техногенных и природных гидродинамических структур.

В состав продуктов взрыва входит тритий – самый миграционноспособный радионуклид. Период полураспада трития – 12,3 года, т.е. тритий в форме паров тритиевой воды может достичь поверхности земли в результате диффузии из недр. Результаты исследований, проведенных в ИРБиЭ НЯЦ РК на площадках ПЯВ показывают, что пары водного трития отмечаются в редких случаях и преимущественно на устьях боевых скважин. Амплитуда повышений в приземном слое атмосферы при этом не превышает  $60 \text{ Бк/м}^3$  [1]. Таким образом, способность дистанционного обнаружения подземных потоков вод с повышенными активностями радионуклидов на основе замеров водного трития вызывает сомнение. Поэтому основное внимание в данных исследованиях уделено замерам газового трития. Газовый тритий характеризуется высокой проникающей способностью в твердой, жидкой и газовой фазах, уступающей только проникающей способности водорода. Плотность сухого воздуха при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  и  $101,325 \text{ кПа}$  составляет  $1,2041 \text{ кг/м}^3$ . Плотность трития при нормальных условиях составляет  $6/29$  от плотности воздуха, или –  $0,2491 \text{ кг/м}^3$ . Тем самым определяется предпосылка подъема газового трития из недр на дневную поверхность.

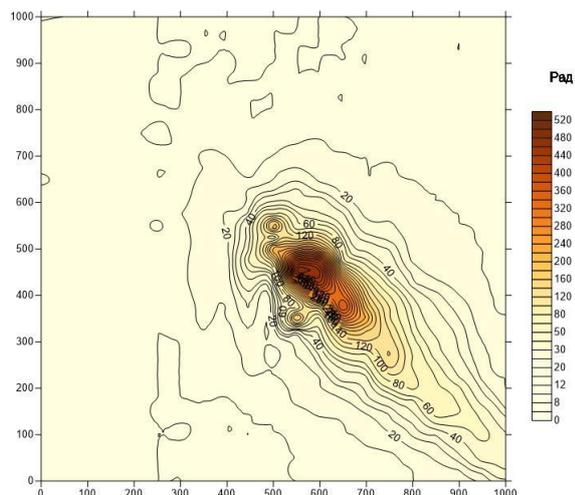
Движение трития наиболее вероятно и происходит с максимальной скоростью по газовой фазе пор и трещин горных пород. В [3] предложена формула, определяющая скорость движения трития в горных породах. Расчеты, проведенные по этой формуле, показали, что значения скорости движения трития в результате воздействия подъемной силы в интенсивно трещиноватых горных породах могут составлять  $\sim 3,7 \text{ м/сек}$  – для заполненного воздухом пространства трещин и  $\sim 30 \text{ м/сутки}$  – для заполненного водой пространства трещин. Скорость движения трития в монолитных породах на 3–5 порядков меньше, чем в зонах интенсивных пористости и трещиноватости. С учетом этих данных в самом неблагоприятном случае – заполнения водой пор и трещин на 100 %, – тритий достигнет дневной поверхности из зон образования газовой фазы за 10–20 суток. При этом активность его за счет распада уменьшается незначительно. Учитывая, что скорость диффузии трития на 2–3 порядка меньше скорости его подъема, она не скажется заметно на скорости подъема. Кроме того, расширение ореолов трития из-за диффузии по мере подъема из недр не превысит первых десятков метров.

Тритий является бета-излучателем, поэтому для измерений в полевых условиях использован альфа-бета радиометр с плоским кремниевым детектором. При этом было учтено, что: 1) в настоящее время бета-излучающие благородные газы на СИП отсутствуют; 2) при попадании в измерительную камеру твердофазных продуктов взрыва (пыль) фоновое излучение прибора должно возрастать (фактически увеличение бета-фона приборов за два месяца работы – не отмечено); 3) аномальные повышения альфа-активности за тот же период времени не выявлены (т.е. загрязнение детектора радоном и его дочерними продуктами распада при работах на СИП не происходило, что установлено многочисленными замерами на площадке Балапан).

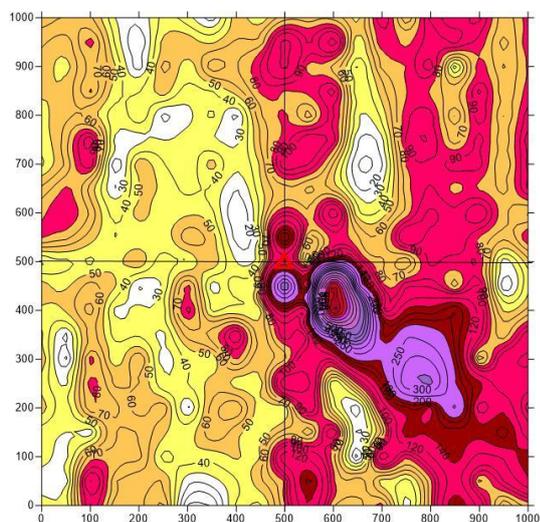
В подтверждение того, что в ходе замеров почвенного воздуха определяется именно тритий, на рисунке 1 сопоставлены данные гамма-съемки и эксхалации трития по скважине № 1301, где был проведен ПЯВ с нештатной ситуацией, в результате которой на дневной поверхности сформировался радиометрический ореол  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  (рисунок 1-а).

С этим ореолом связан также ореол аномальных значений эксхалации трития (до нескольких тысяч  $\text{Бк/м}^3$ ) (рисунок 1-б). Совпадение интенсивных ореолов гамма-активности и эксхалации трития указывают на то, что аномальные значения активности трития действительно связаны с ореолами повышенных концентраций радионуклидов, а наличие дополнительных ореолов трития свидетельствует о большей глубинности эксхалационной съемки по сравнению с гамма-съемкой.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОГО ТРИТИЯ НА УЧАСТКАХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ  
СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**



а) изолинии гамма-активности



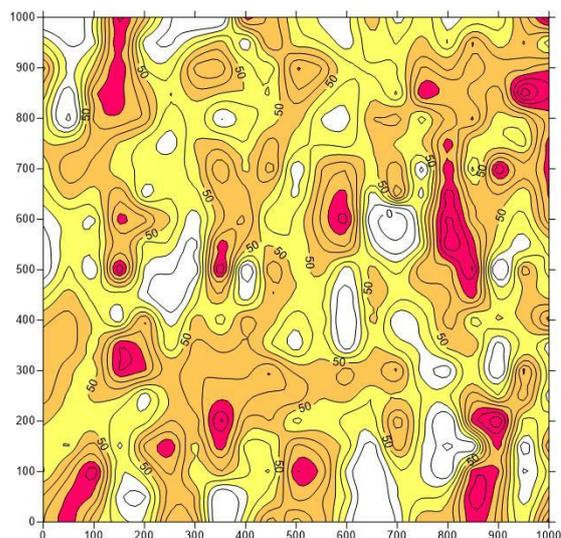
б) изолинии активности трития

*Рисунок 1. Сопоставление данных пешеходной гамма-съемки и эксхалации трития по участку скважины № 1301 с нештатной ситуацией ПЯВ*

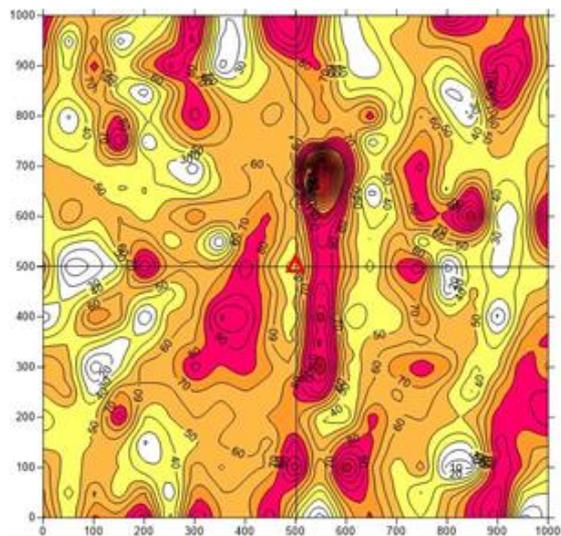
При проведении полевых съемок замер проб производился при непрерывной прокачке почвенного воздуха пробоотборником, устанавливаемым на дневной поверхности. Обеспечивались меры по ограничению возможности попадания в измерительную камеру атмосферного воздуха и пыли. Экспериментальным путем подбиралась длительность прокачки, обеспечивающая оптимальную статистику замеров. Для всех участков тритиевой съемки (за исключением участка скважины с нештатной ситуацией) тройное стандартное отклонение было близко к  $80 \text{ Бк/м}^3$ . Именно это значение принято для регистрации нижнего порога уверенной аномалии активности трития на площадке Балапан.

Анализом распределения активности трития на участках ПЯВ площадки Балапан установлены три основных типа распределений повышенной активности трития:

- 1 тип – линейно вытянутые ореолы, обычно расположенные вблизи устья скважин или на удалении от них. Вблизи боевых скважин ореолы более интенсивные и крупные, чем на участках, удаленных от эпицентров взрывов (рисунок 2-а);
- 2 тип – кольцевые ореолы, возникающие при локальном механическом воздействии большой мощности ядерного взрыва. Фактически они имеют форму чередующихся концентрических окружностей с эпицентром в очаге ПЯВ (рисунок 3);
- 3 тип – смешанные, представляющие комбинацию линейно-вытянутых и кольцевых форм (рисунок 4).



а) распределение активности на удалении от ПЯВ (участок скважины № 1208 на границе площадки Балапан)

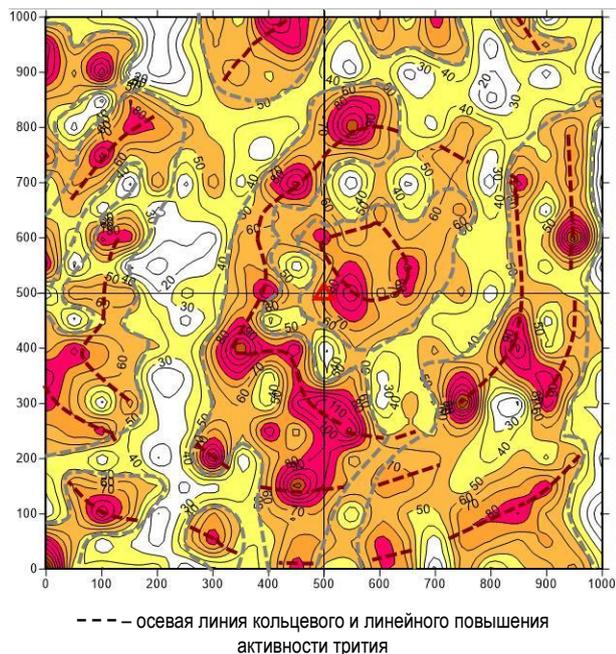


б) распределение активности на участке скважины с ПЯВ (№ 1414, площадка Балапан)

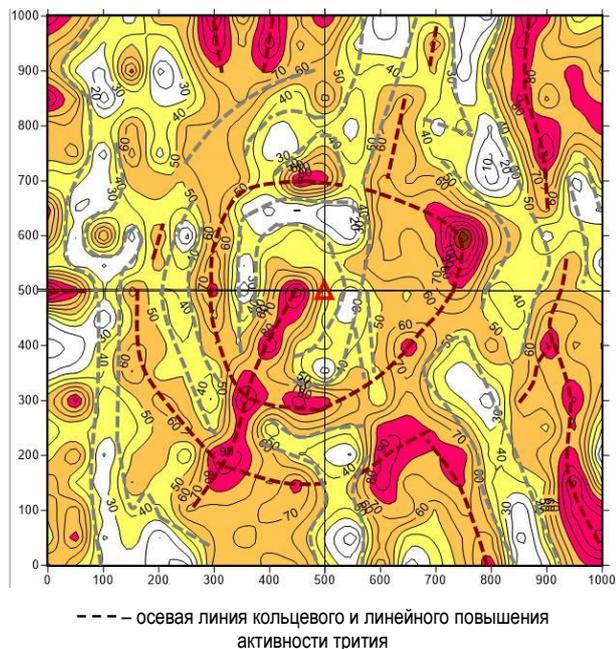
- - низкие, □ - средние, □ - повышенные;
- - anomalно высокие значения активности

*Рисунок 2. Линейно вытянутые ореолы эксхалации трития (1 тип)*

**РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГАЗОВОГО ТРИТИЯ НА УЧАСТКАХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ  
СЕМИПАЛАТИНСКОГО ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ПОЛИГОНА**



*Рисунок 3. Кольцевое распределение активности эксхалляции трития на участке скважины № 1067 (2 тип)*

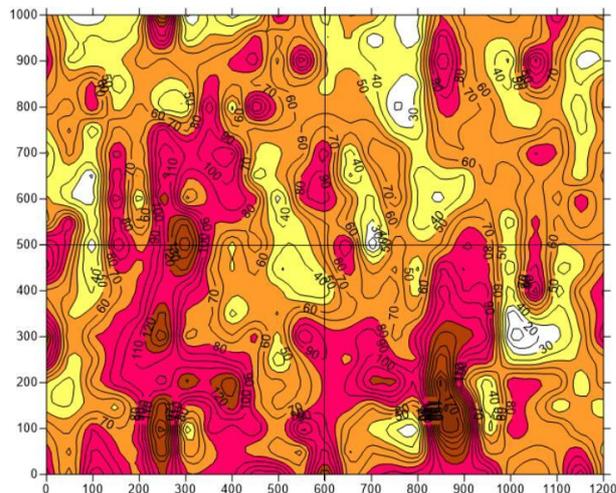


*Рисунок 4. Смешанное кольцевое и линейное распределение активности на участке скважины № 1083 (3 тип)*

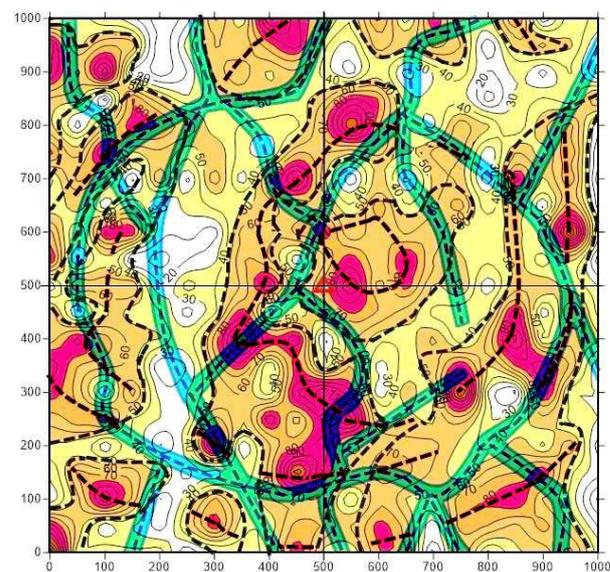
Кольцевые зоны, представленные сплошными и/или ограниченными по протяженности ореолами трития аномального уровня (рисунок 3). Эти зоны подразделяются на зоны низких и высоких значений активности. Комбинации линейных и кольцевых зон (подновленных техногенных и кольцевых структур) являются наиболее распространенным вариантом, наблюдаемым на практике (рисунок 4).

Наиболее протяженные и широкие ореолы трития проявлены на дополнительном участке (рисунок 5),

расположенном в 2 км северо-восточнее скважины № 1004. В скважине № 1004 произведен экспериментальный взрыв с целью создания экскавационной емкости для хранения поверхностных вод. Фактически это приповерхностный взрыв с выбросом загрязненных пород на поверхность. На данном участке радионуклиды мигрируют не только по дневной поверхности, но и в недрах - с грунтовыми, а также трещинными водами.



*Рисунок 5. Распределение активности трития на дополнительном участке без ПЯВ*



*Рисунок 6. Сопоставление совместной уточненной схемы интерпретации ЕП и эксхалляции трития на участке со скважиной ПЯВ*

Общий уровень аномалий активности трития на этом участке больше, чем на остальных участках. Исключением является участок скважины с нештатной ситуацией, где продукты взрыва выброшены на поверхность.

В большинстве случаев ПЯВ производились на глубинах 300–600 м. На обследованных участках боевых скважин физико-геологические условия не обуславливают возможность подъема загрязненных вод из очагов ПЯВ к дневной поверхности, поэтому можно считать, что на участках ПЯВ Семипалатинского полигона глубинность съемки эксхалиции трития превышает сотни метров. Приведенная глубинность на два порядка превышает глубинность радоновой съемки по причине того, что основным процессом переноса радона из недр на дневную поверхность является диффузия (обычно принимается, что предельная глубина обнаружения источника радона составляет 6 м). Возможность обнаружения источника трития в недрах на глубине нескольких сотен метров дополнительно указывает на то, что процесс подъема определяется не диффузией, а различием плотностей трития и атмосферного воздуха.

Представленные распределения трития являются типовыми для площадки Балапан и позволяют уточнять результаты интерпретации данных естественного электрического поля ЕП [4] с целью выделения гидродинамических структур миграции и накопления радионуклидов. Пример такой интерпретации, позволяющей уверенно выделить техногенные (кольцевые) и природные (линейные) пути миграции трития, приведен на рисунке 6.

Известно утверждение о том, что тритий является наилучшим маркером процесса миграции радионуклидов из очагов ПЯВ с потоками подземных вод. Характерной чертой процесса является наличие повы-

шенных и высоких активностей трития на всех участках загрязнения с повышенными концентрациями других, наиболее распространенных радионуклидов ( $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$ ). Обратное утверждение – недействительно, т.к. согласно практическим данным (ИРБиЭ, а также РГП ИГИ) на удалении от очагов взрывов в сотни метров, первые километры активность  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{90}\text{Sr}$  снижается до малых (близких к фоновым) значений, тогда как активность трития остается высокой, близкой к исходной на расстояниях свыше 10 км.

Следует обратить внимание на стабильность и сравнительно малую погрешность тритиевой съемки. В максимально жестких условиях (разница во времени замеров – 21 сутки, использование разных приборов, участие разных операторов) погрешность измерений составила <15 %, а при исключении «ураганых» измерений – 10–12 %. Таким образом, обеспечена точность измерений, сопоставимая с погрешностью полевых гамма-радиометров.

Замеры газового трития на поверхности земли в сочетании с методами структурной геофизики позволяют уверенно выявлять гидродинамические структуры, переносящие радионуклиды в недрах. На этой основе предложена новая методика оценки радиоактивного загрязнения недр [2].

*Исследования выполнены в рамках гранта МОН РК № 1758/ГФ4 «Обоснование применения геофизических методов для контроля миграции радионуклидов Семипалатинском испытательном полигоне» (2015–2017 гг.).*

*Научный руководитель Романов А.М., к.г.-м.н.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Романов, А.М. Взаимодействие вод с горными породами / А.М. Романов. – Алматы: НАК «Казатомпром», 2003. – 247 с.
2. Романов, А.М. Физико-геологическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов. – Семей: Издательский дом «Интеллект», 2017 – 110 с.
3. Романов, А.М. Применимость геофизических методов для выделения структур переноса радионуклидов / А.М. Романов // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – Вып. 2 (78).
4. Бахтин, Л.В. Проявленность техногенных структур в естественном электрическом поле / Л.В. Бахтин, А.М. Романов, Д.Н.Токаев // Вестник НЯЦ РК. – 2019. – Вып. 2 (78).

## СЕМЕЙ СЫНАУ ПОЛИГОНЫНЫҢ ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР УЧАСКЕЛЕРІНДЕ ГАЗ ТРИТИЙ ТАРАЛУЛАРЫ

А.В. Апенько, А.М. Романов, Д.Н. Токаев, З.Н. Фролов

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Семей сынау полигонының бір қатар учаскелерінде тритий эксхалициясын алаңдық түсірулерінің нәтижелері бойынша тритийдің жоғары белсенділігі таралудың үш негізгі типтері анықталған: 1 – жарылыстар учаскелерінен шегінде ядролық жарылыстармен геологиялық құрылымдардың нашар бұзылу немесе олар іс-жүзінде жоқ болу учаскелерінде сызықты-өрнекті; 2 – жарылыстар учаскелерінде жарылыстармен белсенді жаңартылған табиғи жарылымдармен байланысты, көбінесе сызықты; 3 – жарылыстармен тікелей жаратылған техногенды (сақиналы) құрылымдармен байланысты, сақиналы. Әдетте тритий таралудың екінші және үшінші типтері бірге көрінеді. Радон эксхалициясын өлшеу нәтижелерімен салыстырғанда тритий эксхалициясын түсіруінің нәтижелері мен тереңділігінің үлкен тұрақтылығы белгіленген. Тритийдің аномальды жоғары белсенділігінің құрылымды геофизика әдістерімен айқындалған гидродинамикалық құрылымдарымен кеңістік байланысы анықталған. Гидродинамикалық құрылымдардың жерасты ядролық жарылыстардың ошақтарымен байланысын растау үшін тритий белсенділігін газдық түсіру әдістерін қолданудың артықтығы дәлелденген.

**DISTRIBUTION OF GASEOUS TRITIUM AT UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSION SITES  
OF SEMIPALATINSK TEST SITE**

**A.V. Apenko, A.M. Romanov, D.N. Tokaev, Z.N. Frolov**

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

According to the results of an area survey of tritium exhalation in a number of sites at the Semipalatinsk Test Site, three main types of increased tritium activity distribution have been established: 1 – linear-mosaic at the sites of weak and virtually absent disturbances of geological structures by nuclear explosions outside the sites of explosions; 2 – mostly linear, connected with the natural faults, intensely renewed by the explosions at the sites of explosions; 3 – ring ones, connected with technogenic (ring) structures, occurred directly by the explosions. Usually the distributions of tritium of the second and the third types are detected together. A great stability of results and the depth of the survey of tritium exhalation has been noted in comparison with the results of radon exhalation measures. A spatial connection of abnormal increases of tritium activity with hydrodynamic structures detected by the structural geophysics methods has been established. The advantage of using the method of gaseous survey of tritium activity to confirm the connection of hydrodynamic structures with the foci of underground nuclear explosions has been proved.

УДК 550.34

## НОВЫЕ ДЕТАЛИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИСТОРИИ И СОВРЕМЕННОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ ДЖУНГАРИИ

Михайлова Н.Н., Мукамбаев А.С., Полешко Н.Н., Аристова И.Л.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Представлены новые данные о сейсмической истории Джунгарии. Дополненные каталоги сильных землетрясений создали основу для геодинамических построений и тектонических интерпретаций в Джунгарии. Выявленные очаги сильнейших землетрясений должны быть учтены при расчетах карт сейсмического зонирования нового поколения.

На территории Казахстана район Джунгарского Алатау является одним из наиболее сейсмически активных. На карте сейсмогенерирующих зон Казахстана [1] в этом районе выделены зоны с максимальной возможной магнитудой более 8, а ожидаемая сейсмическая интенсивность сотрясений может достигать 9 баллов

Известно, что оценки сейсмической опасности базируются на знании исторической сейсмичности региона, а также на детальной информации по тектонике. В статье рассматриваются новые данные по исторической сейсмичности, которые должны быть учтены на этапе уточнения оценок сейсмической опасности, а также современные данные по инструментальным наблюдениям в большом районе Джунгарии, которые помогают следить за тенденциями развития сейсмического процесса и делать заключения о среднесрочном и долгосрочном прогнозе сильных землетрясений.

### НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ ИСТОРИЧЕСКОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ ДЖУНГАРИИ

Для улучшения имеющихся исторических каталогов землетрясений в целях повышения достоверно-

сти оценки сейсмической опасности территории Джунгарии, а также обеспечения возможности лучше понять природу некоторых наблюдаемых геодинамических проявлений в этом регионе, использованы новые данные, полученные в последние годы различными исследователями, включая авторов статьи, о палеоземлетрясениях и результатах релокализации гипоцентров известных землетрясений.

Во-первых, использованы данные о неизвестных ранее Лепсинских землетрясениях на территории Казахстана (рисунки 2, 3). Очаги Лепсинских палеоземлетрясений выявлены и изучены комплексной международной экспедицией в рамках проекта «Землетрясения без границ» под руководством профессора Университета Оксфорд Р. Уолкера и профессора Института сейсмологии Национальной академии наук Кыргызстана К.Е. Абдрахматова. В полевых работах участвовал научный сотрудник Института геофизических исследований А. Мукамбаев. Наблюдения, анализ спутниковых снимков и полевые работы экспедиции [2, 3] показали, что в восточном Прибалхашье на Лепсинском разломе, простирающемся в направлении В-З на ~120 км от Джунгарского Алатау

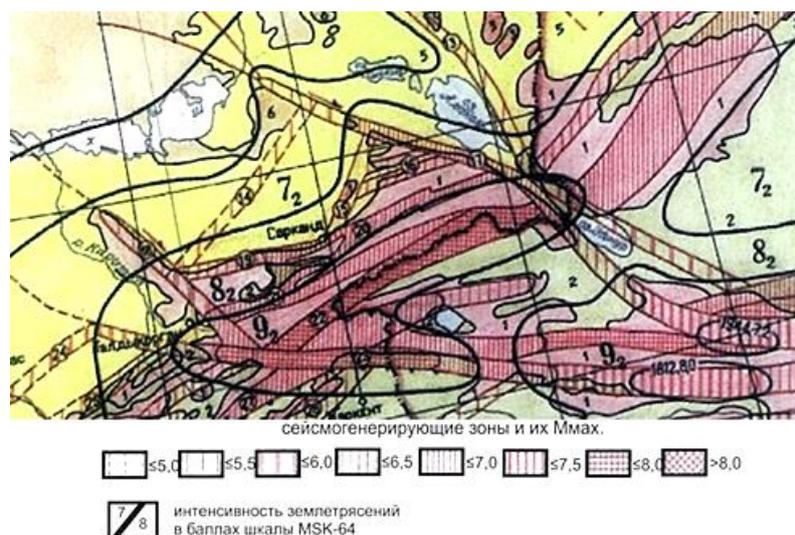


Рисунок 1. Фрагмент карты Общего сейсмического районирования Казахстана для территории Джунгарии [1]

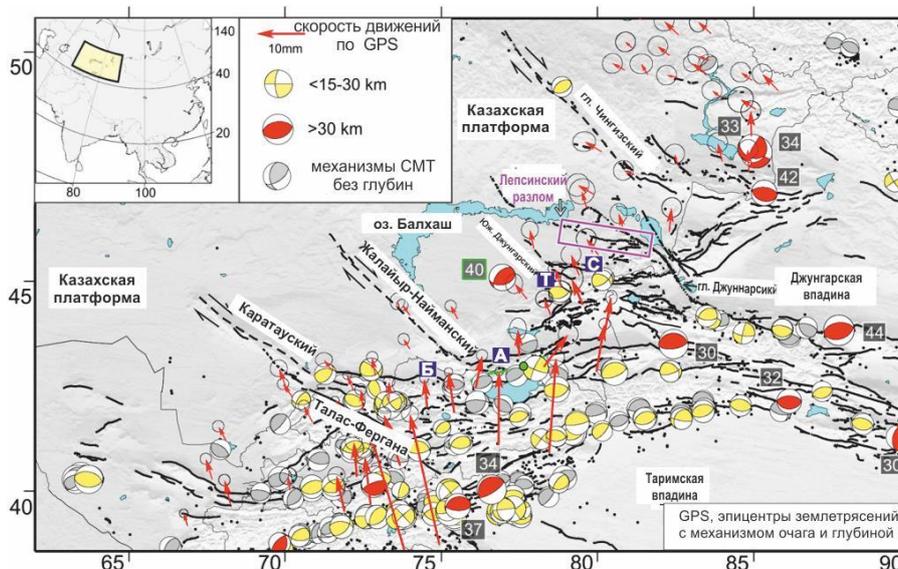


Рисунок 2. Основная карта района работ по [2]. Рисунок иллюстрирует главные разломы, фокальные механизмы землетрясений, глубины и скорость по GPS



Рисунок 3. Карта рельефа района простираения Лепсинского разлома [3]

до низлежащей Казахской платформы, имели место сильнейшие землетрясения. Определение возраста самых последних поверхностных событий на Лепсинском разломе позволяет предположить, что здесь произошло два сильных землетрясения: первое, как минимум, 5000 лет назад в западной части разлома, и второе, примерно 400 лет назад по всей длине разлома. Расчеты размера землетрясения по различным эмпирическим соотношениям позволил предположить, что последнее событие могло иметь максимальную магнитуду  $M_w = 7,5-8,2$ .

Авторы [2, 3] склонны считать, что Лепсинское землетрясение, вероятно, и есть то событие, о котором упоминается в каталоге (Мушкетов и Орлов, 1893 г.) как о самом раннем известном в Джунгарии сильном землетрясении 1715 г. Однако есть основания считать, что это два разных события. В каталоге, изданном в Китае [4], существует информация о землетрясении 1716 г. с магнитудой 7,5 (Текесское землетрясение). Его очаговая зона расположена строго на юг от предполагаемого Лепсинского землетрясения примерно в 300 км (рисунок 4).

По Текесскому землетрясению в той же работе [4] имеется карта изосейст (рисунок 5), где показана линия разрыва при землетрясении и изосейсты балльности с пунктами на территории Китая и Казахстана, в которых согласно архивным материалам зафиксированы разрушения. Отмечены зоны обрушений, обвалы, оползни при этом землетрясении, а также положение разрыва в очаге [4]. По наблюдаемым палеосейсмодислокациям и данным о сотрясениях с большой долей вероятности оконтурена эпицентральная зона. Хотя по времени Текесское землетрясение произошло в близкий к Лепсинскому землетрясению исторический период (примерно 400 лет назад), пространственно это совершенно разные очаги. Два сильнейших землетрясения имели и близкую энергию: Лепсинское с магнитудой  $M_w=7,5-8,2$  и Текесское с  $M_w=7,5$ .

Следует отметить, что особенностью проявления сильных землетрясений на Северном Тянь-Шане является пространственно-временное группирование сильнейших землетрясений в один период активизации, как это было, например, в конце XIX – начале



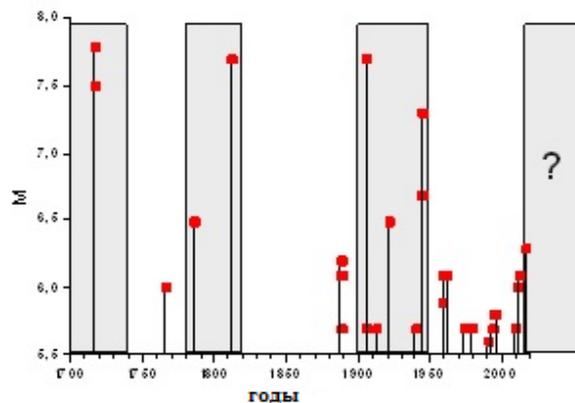


Рисунок 6. Распределение сильных землетрясений Джунгарии с магнитудой более 5,5 во времени

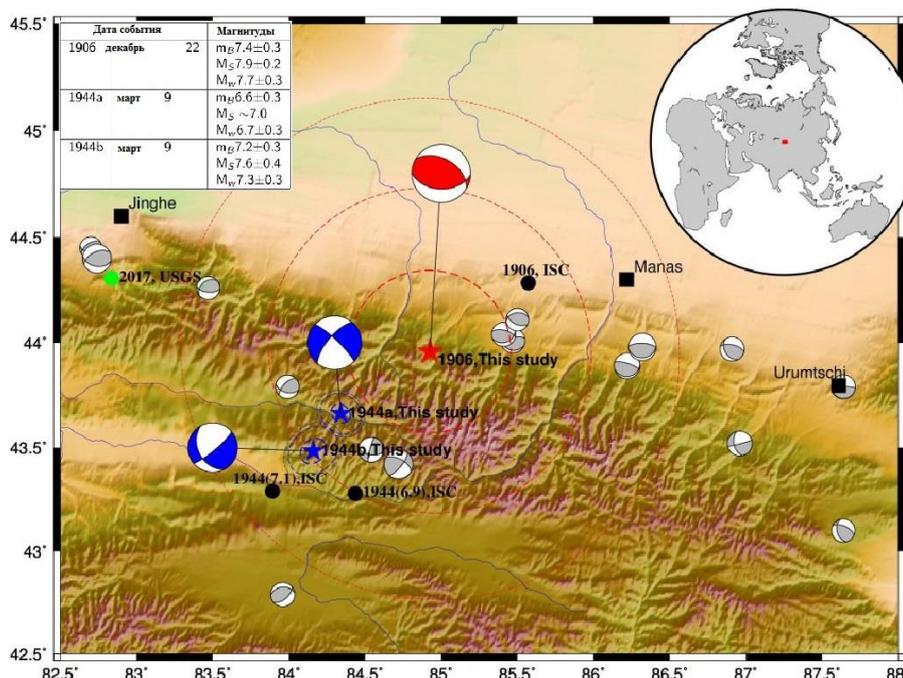


Рисунок 7. Фокальные механизмы и результаты перелокализации Манасского (1906 г., красный цвет) и Синьянских землетрясений (1944 г., синий цвет) [5]

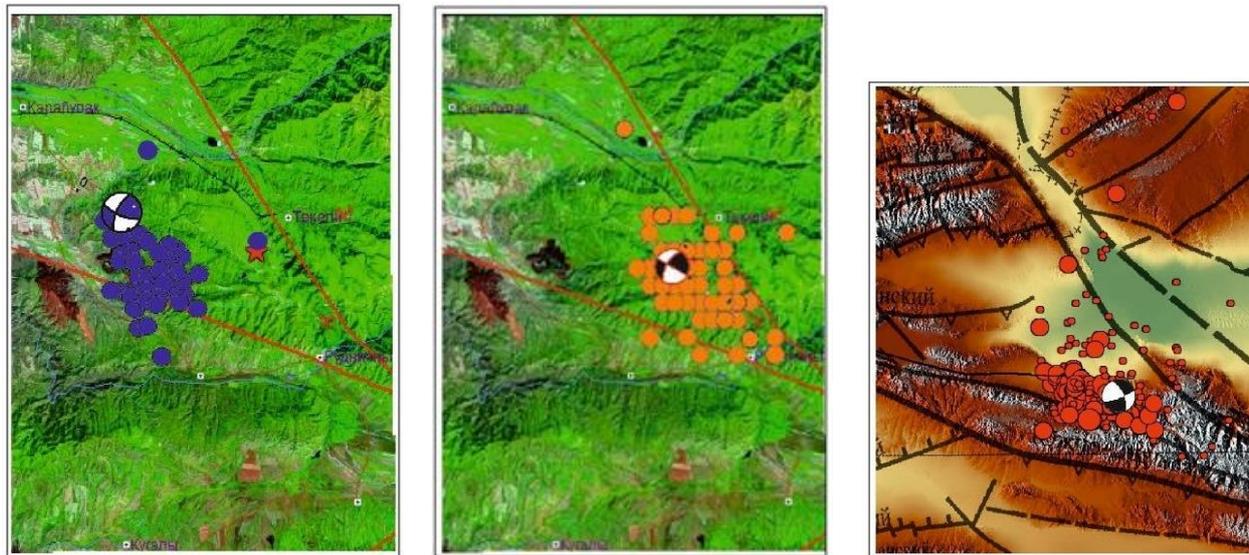
Полученные измененные данные внесены в каталог землетрясений Центральной Азии [6], созданный ранее по проекту МНТЦ ЕМСА (The Earthquake Model of Central Asia). В настоящее время работа над каталогом Центральной Азии продолжается в новом проекте МНТЦ CASHA-BU (Central Asia Seismic Hazard Assessment and Bulletin Unification).

В-третьих, использованы данные для понимания природы считавшегося «странным» Баканасского землетрясения 1979 г. с магнитудой  $M_w=5,7$  на территории Казахстана. При совместном рассмотрении сейсмичности всего большого района Джунгарии на территории Казахстана и Китая обращает на себя внимание цепочка глубоких землетрясений, протянувшаяся вдоль хребтов юго-восточно – северо-западного простирания (рисунок 2). Глубина всех этих

землетрясений составляет более 30 км. На севере завершает эту цепочку Баканасское землетрясение с глубиной очага 40 км [6]. Это землетрясение, произошедшее в 1979 г., долгое время считалось уникальным по ряду причин, среди которых: 1) пространственное расположение его очага на платформе в практически асейсмичном районе; 2) экстремально большая глубина очага для Северного Тянь-Шаня, 3) полное отсутствие афтершоков. Вызывала сомнение глубина очага этого землетрясения – 40 км, нехарактерная для землетрясений Северного Тянь-Шаня. Этот вопрос снимается при сопоставлении позиции землетрясения в тектоническом плане на карте большого района Джунгарии со всей цепочкой глубоких очагов с выходом на платформу. Лепсинское землетрясение, имеющее также большую глубину (30 км)

Таблица. Основные параметры последних сильных землетрясений Джунгарии

№	Дата	Время	С.Ш.	В.Д.	Глубина, км	Магнитуда, mb	Название	Примечание
1	30.12.1993	14:24:02	44,74	78,8	21	5,7	Текели 1	рисунок 8-а
2	13.06.2009	17:17:37	44,73	78,83	19,2	5,7	Текели 2	рисунок 8-б
3	08.08.2017	23:27:53	44,37	82,83	20	6,3	Борохоро	рисунок 8-в



а) Текелийское землетрясение, 1993 г. б) Текелийское землетрясение, 2009 г. в) Борохорское землетрясение, 2017 г.

Рисунок 8. К таблице основных параметров и эпицентры главных толчков и афтершоков трех землетрясений

и находящееся на платформе, вписывается в аналогичную цепочку, только вдоль другого разлома такого же простираания.

В-четвертых, выявлен интересный факт сходного сценария в проявлении главных толчков и их афтершоков у землетрясений в разных областях Джунгарии. По сильнейшим землетрясениям с магнитудой более 7 в настоящее время наблюдается сейсмическое затишье, однако землетрясения меньшей магнитуды (более 5,5) происходят на этой территории как в Казахстане, так и в Китае. В Казахстане к таким относятся Текелийские землетрясения 1993 г. и 2009 г. с  $m_b = 5,7$  (максимальная интенсивность сотрясений в городе Текели достигала 7 баллов). Сильнейшим на территории Китая было Борохорское землетрясение 2017 г., с  $m_b = 6,3$ , которое ощущалось не только в Китае, но на большой территории Казахстана. Во всех трех случаях сценарий развития процессов в очагах был подобным.

Расположение очагов главных толчков и их афтершоков локализуется в тектоническом клине между разломами: Южно- и Западно-Джунгарским у Текелийских землетрясений, Южно- и Восточно-Джунгарским – у Борохорского (таблица, рисунок 8).

Во всех трех случаях отмечены одинаковые особенности при сопоставлении решений механизмов очагов по первым вступлениям объемных волн (МО)

и тензора центроида сейсмического момента (СМТ) по методике инверсии поверхностных волн (рисунок 9).

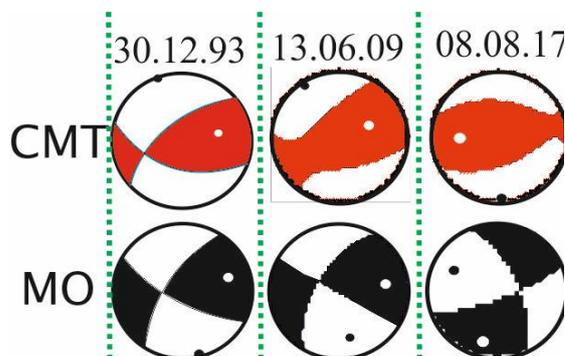


Рисунок 9. Сопоставление решений механизма очага и СМТ для Текелийских землетрясений и Борохорского землетрясения

Следует отметить, что во всех 3-х случаях решения представляют собой комбинацию из крутопадающих плоскостей северо- и юго-восточного простираания, подвижки по которым реализовались в условиях близгоризонтального субмеридионального сжатия [8].

В первом движении превалирует горизонтальная составляющая подвижек по простираанию круто падающих плоскостей, а в главной фазе – взброс, причём

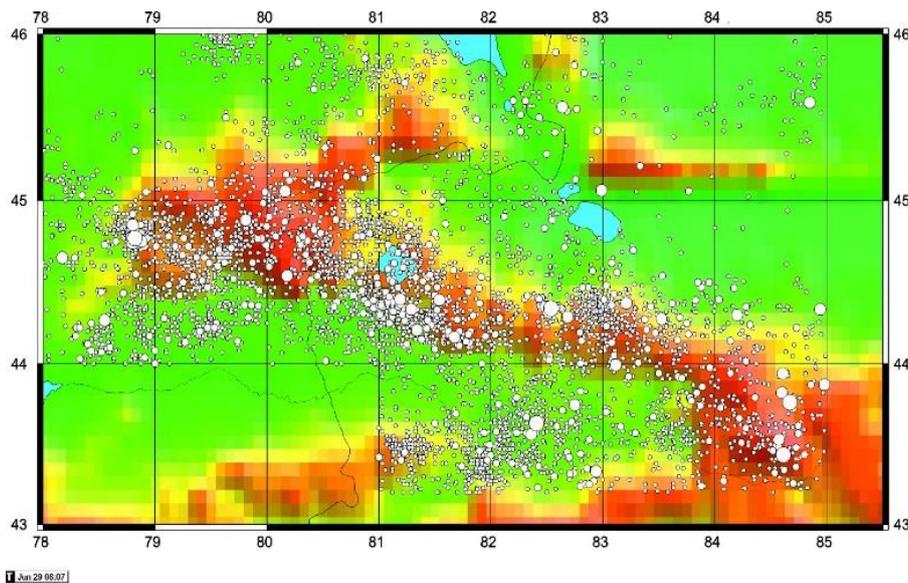


Рисунок 10. Карта эпицентров землетрясений Джунгарии за 1991–2017 гг. с магнитудой  $m_b \geq 3$

падение плоскостей при развитии разрыва становится более пологим. Большее подобие по данным 2-х методов получено для плоскости северо-восточного простирания, круто падающей на юго-восток в Текелийских очагах и на северо-запад – в Борохорском, являющейся более вероятной плоскостью разрыва, тогда как ориентация 2-й плоскости в разных методах существенно отличается [8].

Афтершоковая деятельность развивалась висячем крыле плоскостей разрывов северо-восточного простирания – в Текелийских – в юго-восточном направлении, в Борохорском – в северо-западном. Такое расположение очагов в клине между двумя тектоническими разломами ограничивает силу землетрясения в данном месте размерами клина. Поле афтершоков, линейные размеры клина хорошо соответствуют магнитудам описываемых событий.

**СЕЙСМИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ТЕРРИТОРИИ ДЖУНГАРИИ В ПОСЛЕДНИЕ ДЕСЯТИЛЕТИЯ**

Сейсмический мониторинг территории Джунгарии продолжается. В нем принимают участие станции СОМЭ МОН РК, ИГИ МЭ РК, а также станции глобальных сетей сейсмического мониторинга. На рисунке 10 представлена карта эпицентров землетрясений за период 1991–2017 гг. с магнитудой более 3.

Во временном ходе сейсмичности было замечено, что в последние десять лет в этом районе наблюдается резко нестабильная ситуация. С 2007 г. произошла активизация слабой сейсмичности. Причем увеличение количества землетрясений затронуло разные энергетические диапазоны событий – с магнитудой 3 и более, 4 и более, 5 и более (рисунок 11). Наблюдаемый тренд в изменении количества событий с магнитудой 5 и более свидетельствует о росте напряженности в этом районе. Мониторинг за этой территорией должен продолжаться.

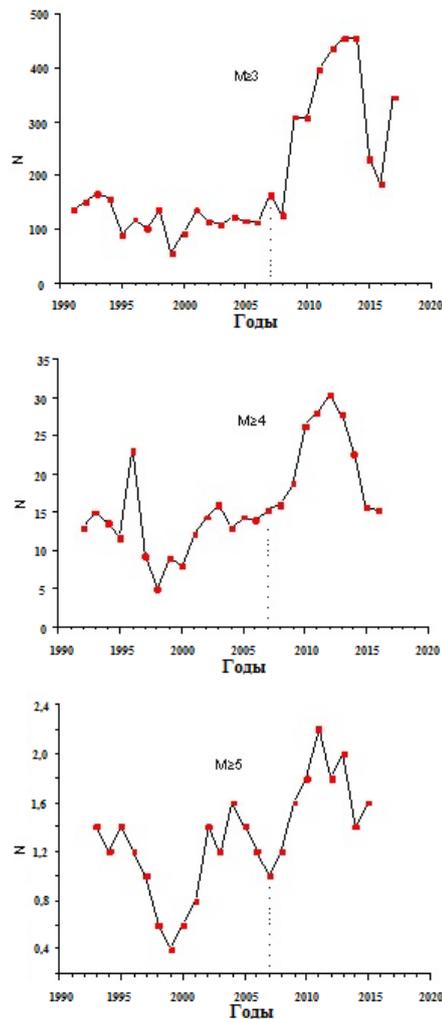


Рисунок 11. Графики годовых вариаций землетрясений в разных магнитудных диапазонах

### Выводы

1. За последние годы получены новые данные о сейсмической истории территории Джунгарии, которые с высокой долей вероятности показывают, что в Прибалхашье на Лепсинском разломе в прошлом имели место сильнейшие землетрясения, последнее из которых с магнитудой около 8 произошло примерно 400 лет назад. Из этого факта следует, что при оценке сейсмической опасности и рассмотрении долгосрочных деформаций следует охватывать исследованиями гораздо больший период времени, не ограничиваясь данными только периода инструментальных наблюдений. Пример Лепсинского разлома показывает, что структуры в регионах, которые считаются стабильными, могут быть реально сейсмически опасными.

2. Авторы считают, что в прошлом (примерно 400 лет назад) в Джунгарии имели место два различных сильных землетрясения: с магнитудой 7,5–8,2 и 7,5 – Лепсинское и Текесское, а не одно, как считается в [2]. Этот факт следует учитывать при расчете карт сейсмической опасности Казахстана.

3. Последние 70 лет на территории Джунгарии не было событий с магнитудой более 7, но ход изменения количества событий с магнитудой 5 свидетельствует о нарастании напряженности в этом районе. Мониторинг сейсмической активности в этом районе должен вестись постоянно.

4. Сопоставление различных параметров наиболее сильных землетрясений Джунгарии последнего периода на территории Казахстана и на территории Китая свидетельствует о большом сходстве в их параметрах и сценариях развития процессов в очагах. Показано, что два Текелийских землетрясения в Казахстане и Борохорское землетрясение в Китае подтверждают вывод об единой системе напряжений, действующих в этом районе.

5. Новые сейсмические данные о сильных землетрясениях дают основу для геодинамических построений и тектонических интерпретаций в Джунгарии, выявленные очаги сильнейших землетрясений должны быть учтены при расчетах карт сейсмического зонирования нового поколения.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Курскеев, А.К. Общее сейсмическое районирование территории Казахстана / А.К. Курскеев, А.В. Тимуш, А.С. Сыдыков, В.И. Шапилов // Карта ОСР территории Казахстана. Объяснительная записка. – Алма-Ата, 2003.
2. Campbell, G.E. Great earthquakes in low strain rate continental interiors: An example from SE Kazakhstan / R.T. Walker, K. Abdrakhmatov, J. Jackson, J.R. Elliott, D. Mackenzie, T. Middleton, J.L. Schwenninger // Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 2015. – 120(8). – P. 5507 – 5534, doi:10.1002/2015JB011925.
3. Абдрахматов, К.Е. Лепсинский разлом (восточное Прибалхашье) и оценка сейсмической опасности / К.Е. Абдрахматов, М.С. Ельдеева // Известия Национальной академии наук Республики Казахстан. – 2016. – № 419. – С. 92–98. – I – SSN 2224-5278.
4. Inland Earthquake. – 1997. – Vol. 11. – 179 p.
5. Kulikova, G. Source parameters of 1906 Manas and 1944 Xinyuan earthquakes (Rupture processes in Borohoro Shan region, China) / G. Kulikova // Materials of International workshop: Active tectonic in the Tien-Shan 11–12 october, 2018, Germany. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009 // Annals of Geophysics. – 2015. – Vol 58. – No 1.
7. Михайлова, Н.Н. О необычном Баканасском землетрясении 1979 г. в Казахстане (MW=5,7) / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вестник НЯЦ РК. – 2013. – Вып. 2, июнь 2013. – С. 154–160.
8. Михайлова, Н.Н. Текелийские землетрясения в Казахстане в 2009 году: очаг и воздействия / Н.Н. Михайлова, Н.Н. Полешко // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2010. – Т. 37. – № 2. – С. 20–33.

### ЖОҒАРТАУ АУМАҒЫНЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ТАРИХІ МЕН ҚАЗІРГІ ЗАМАНҒЫ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫНЫҢ ЖАҢА ЕГЖЕЙ-ТЕГЖЕЙЛЕРІ

Н.Н. Михайлова, А.С. Мукамбаев, Н.Н. Полешко, И.Л. Аристова

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатова, Қазақстан*

Жоғартаудың сейсмикалық тарихі туралы жана деректері көрсетілген. Қатты желсілкінулердің толықтырылған каталогтары Жоғартауда геодинамикалық құрылыстар мен тектоникалық пайымдау үшін негізін қалаған. Өте қатты жерсілкінулердің айқындалған ошақтары жаңа буындағы сейсмикалық зоналау карталарын құрастыруында есепке алуына тиіс.

### NEW DETAILS OF SEISMIC HISTORY AND CONTEMPORARY SEISMICITY OF THE JUNGARIYA TERRITORY

N.N. Mikhailova, A.S. Mukambayev, N.N. Poleshko, I.L. Aristova

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

New data on seismic history of Jungariya were presented. Additional catalogs of strong earthquakes created the basis for geo-dynamic constructions and tectonic interpretations in Jungariya. The detected epicenters of the strongest earthquakes must be taken into consideration when calculating the maps of seismic zoning of new generation.

УДК 550.34:551.243

## НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА

<sup>1)</sup> Усманова М.Т., <sup>2)</sup> Саттарова А.М.

<sup>1)</sup> *Институт сейсмологии Академии наук РУз., Ташкент, Узбекистан*

<sup>2)</sup> *Лицей Института ирригации, Ташкент, Узбекистан*

Рассмотрено пространственно-временное распределение сейсмической активности в Западном Тянь-Шане. Выделены по 2 группы сильных землетрясений, произошедших в Западном Узбекистане и в Центральном Узбекистане. Выявлена закономерность перераспределения накопленной тектонической энергии в виде сейсмичности поочередно по регионам. Показано, что землетрясения по глубинам гипоцентров распределены в определенных сейсмогенных слоях вне зависимости от их магнитудного уровня. Обнаружены отклонения от закономерности группирования сильных землетрясений в сейсмическом режиме региона. Тройным сильнейшим Газлийским землетрясениям 1976 г. и 1984 г. с  $M=7,0-7,3$  вероятно предшествовали триггеры – природные и техногенные. К природным триггерам отнесены активные процессы трещинообразования (крупные трещины до 100 км в длину) на севере в районе п. Тамдыбулак и отсутствие более 40 лет ощутимых землетрясений в эпицентральной области Газли. К техногенным триггерам отнесены постоянная 40-летняя откачка газа на месторождениях Газли и 2 ядерных взрыва, произведенных вблизи эпицентра Газлийских землетрясений 1976 г. и 1984 г., имевших тектоническую природу.

Западный и Центральный Узбекистан, в том числе пустыня Центральные Кызылкумы, являются одним из опасных сейсмоактивных регионов Узбекистана, где происходили в далеком прошлом Бухарские (942, 1390, 1821, 1822 гг., с  $M \sim 7,0$ ) и уже в наши дни – известные Газлийские (1976, 1984 гг. с  $M \geq 7,3$ ,  $I=9-10$  балльные) катастрофические землетрясения [1]. Район исследования расположен в пределах Туранской платформы, где сейсмическая активность контролируется системой глубинных тектонических разломов Западного Тянь-Шаня [2–6]. На рисунке 1 показано распределение землетрясений с  $M \geq 3,5$ , произошедших на территории Центральной Азии в период с 2000 г. до н.э. по 2009 г. н.э.

### ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ПО ТЕРРИТОРИИ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО УЗБЕКИСТАНА

#### Основные закономерности сейсмической активизации

Анализ каталога сильных землетрясений [7–9] района исследований – Западного и Центрального Узбекистана, – показал, что сильные землетрясения с магнитудой  $M \geq 5,0$  распределены неравномерно и эпицентры этих сильных землетрясений имеют признаки группирования в пространстве и во времени. Изучение этого распределения сейсмической активности на основе каталогов [7–9] и оценок методом Байеса [10], позволило выделить 4 группы (I–IV) сильных землетрясений в Западном Узбекистане (регион А) и на востоке Центрального Узбекистана (регион Б) – таблица 1.

В соответствии с [10] были вычислены вероятности затиший/активизации за период 900–2017 гг. в 2-х соседних регионах: запад – восток. Расчеты не проводились только по данным I-ой группы за 900–1400 гг. так как за этот период не сохранились пол-

ные сведения об исторических сильных землетрясениях.

Полученные оценки вероятности затиший/активизации следует считать достаточно приближенными, что связано со следующими причинами:

- возможный пропуск сильных землетрясений из-за эрозионных/эоловых/денудационных эффектов, характерных для пустынь и степей Западного Узбекистана, а также климатических аномалий, стёрших следы прошедших палеоисторических сейсмических толчков;

- неоднородный состав толчков, осложняющий интерпретацию - в каждой из групп отмечался различный «главный» сильный толчок с различными значениями магнитуды (от  $M=5,0$  до  $M=7,0$ ), с разными периодами повторяемости.

Согласно закону повторяемости землетрясений Гутенберга-Рихтера, периоды повторяемости землетрясений с разными магнитуд определяются логарифмическими значениями длительности сейсмических циклов. Для Западного Тянь-Шаня на этой основе получены следующие оценки периодов повторяемости землетрясений ( $T_{\text{сейс.цикл}}$ ) [11–12]:

- с  $M \geq 8,0$  –  $T_{\text{сейс.цикл.}} = 1000 \pm 283$  года;
- с  $M \geq 7,0 \leq 7,5$  –  $T_{\text{сейс.цикл.}} = 154,0 \pm 51,3$  года;
- с  $M \geq 5,5 \leq 6,1$  –  $T_{\text{сейс.цикл.}} = 49,0 \pm 15,6$  года;
- с  $M \geq 5,0$  –  $T_{\text{сейс.цикл.}} = 12,3 \pm 2,7$  года.

Следует отметить, что по мере приближения ко времени постоянного функционирования сетей сейсмических станций в регионе оценки вероятности улучшались.

Сравнение сейсмической активности регионов А и Б (таблица 1) выявляет закономерность поочередного перераспределения накопленной тектонической энергии между этими регионами (некий «маятник», работающий по принципу «домино»), которая созда-

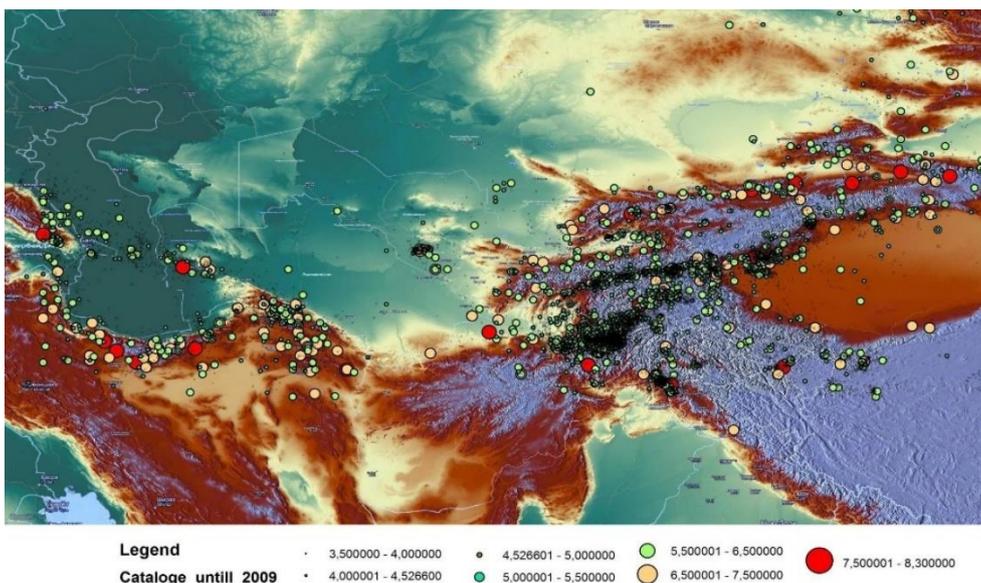


Рисунок 1. Эпицентры землетрясений с  $M \geq 3,5$ , произошедших на территории Центральной Азии в период с 2000 г. до н.э. по 2009 г. н.э. [Усманова М.Т., Шукуров З.Ф., 2016]

Таблица 1. Распределение групп сильных землетрясений с  $M \geq 5,0$  во времени и по территории Западного и Центрального Узбекистана за период 900–2017 гг.

№ п/п	Номер группы	Период сейсмической активизации	Регион А – ЗАПАД	Регион Б – ВОСТОК
1	I	900–1400 гг.	Бухарские сильные землетрясения 942 г., 1390 г. с $M \approx 7,0$ .	Сейсмическое затишье, сильных землетрясений с $M \geq 5,0$ нет.
2		1400–1818 гг. (1800–1818 гг.)	Сейсмическое затишье, сильных землетрясений с $M \geq 5,0$ нет.	В Самарканде сильные землетрясения 1490, 1799, 1817, 1818 гг. с $M=5,0-6,1$ .
3	II	1821–1892 гг.	Бухарские, Кызылкумские землетрясения 1821, 1822, 1892 гг. с $M=6,4-7,0$ .	Сейсмическое затишье, сильных землетрясений с $M \geq 5,0$ нет.
4		1897–1923 гг.	Сейсмическое затишье, сильных землетрясений с $M \geq 5,0$ нет.	Уратюбинские землетрясения 1897, 1897, 1902 гг., Матчинское землетрясение 1923 г. с $M=5,7-6,7$ .
5	III	1928–1934 гг.	Землетрясения 3 янв. 1928 г., 11 июля 1928 г.; землетрясение 1929 г., Тамдыбулакское землетрясение 1932 г., землетрясение 1934 г. с $M=5,2-6,2$ .	Сейсмическое затишье, сильных землетрясений с $M \geq 5,0$ нет.
6		1940–1966 гг.	Сейсмическое затишье, сильных землетрясений с $M \geq 5,0$ нет.	Землетрясение 1940 г., Бахмалское-1 1955 г., Коштелпинское 1965 г., Ташкентское 1966 г. с $M=5,2-5,5$ .
7.	IV	1968–1984 гг.	Кызылкумские землетрясения 1968 г. 13–14 марта, сильнейшие Газлийские землетрясения: 8 апр. 1976 г.; 17 мая 1976 г.; 19 марта 1984 г. с $M=5,1-7,3$ .	Сейсмическое затишье, сильные землетрясения с $M \geq 5,0$ нет.
8		2013–2017 гг.	Сейсмическое затишье, сильных землетрясений с $M \geq 5,0$ нет.	Маржанбулакское землетрясение 2013 г., Китабское 2016 г., Бахмальское-2, 2017 г. с $M=5,1-6,2$ .

ет группу сильных землетрясений вокруг одного сильного землетрясения с  $M=6,0 \div 7,3$ . Сейсмическая активизация через определенные промежутки времени мигрирует с запада на восток центральной части Узбекистана и обратно на запад и т.д. В период сейсмической активизации Западного Узбекистана на востоке Центрального Узбекистана наблюдается сейсмическое затишье, затем сейсмическая активность мигрирует на восток, а на западе наступает сейсмическое затишье. При этом энергетический порог – магнитуда сильных землетрясений, – в Западном Узбекистане на 1 единицу магнитуды выше, чем на востоке Центрального Узбекистана. Оценка «чел-

ночной» миграции сейсмичности со скоростью 18–22 км/год на территории Восточного Узбекистана была отмечена в [13, 14].

**Связь сейсмической активизации Западного и Центрального Узбекистана с крупно-региональными и планетарными сейсотектоническими структурами**

Представляется важным рассмотреть вопрос о том, как выявленная «челночная» миграция сейсмической активизации Центрального и Западного Узбекистана соотносится с крупно-региональными и планетарными сейсотектоническими структурами.

В [15, 16] рассмотрена сейсмическая ситуация региона Центральной Азии с учетом повторяемости циклов сейсмической активизации в Азиатской части Средиземноморско-Азиатского сейсмического пояса (рисунок 2). В этих работах отмечается, что Центрально-Азиатский регион с 2007 г. вступил в сейсмически активную фазу, которая, возможно, продлится до 2023 г., и в это время вероятность происхождения сильных землетрясений в данном регионе сохраняется достаточно высокой.

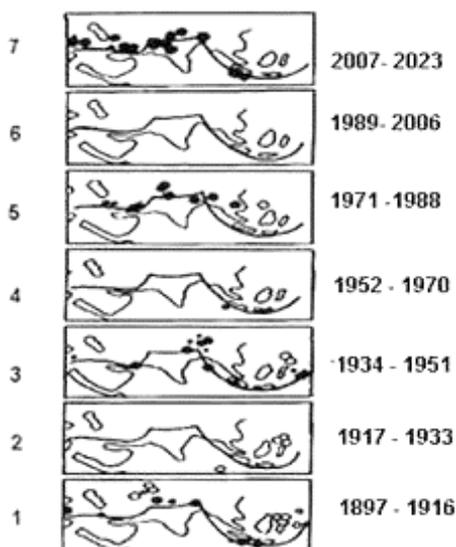


Рисунок 2. Особенности проявления сейсмичности в Азиатской части Средиземноморско-Азиатского сейсмического пояса (до 1970 г. по [К. Моги, 1974]; с 1971 г. по [К.Н. Абдуллабеков, М.Т. Усманова, 2003, 2008, 2016])

Сильные землетрясения, произошедшие на территории Средиземноморско-Азиатского сейсмического пояса в период сейсмически активной фазы с длительностью циклов  $T_{дл.цикл} \sim 17$  лет, начались в 2008 г. с землетрясения в Эгейском море (Греция) с  $M=7,3$ . Затем, 24 августа 2016 г. в Аккумоли (Италия) – с  $M=6,2$ , в 2017 г. на островах Греции с  $M=6,5$  произошла значимая сейсмическая активизация в сейсмическом поясе (рисунок 2).

Очередная сейсмическая активизация 2007–2023 гг., которую испытывает в настоящее время ре-

гион Центральной Азии, ярко отразилась на территории Узбекистана через ряд сильных землетрясений в период 2011–2017 гг. и через общее повышение сейсмического фона. На территории Западного Тянь-Шаня, где расположен Узбекистан, в этот период времени произошли такие сильные землетрясения, как: Канское 20.07.2011 ( $h=18$  км,  $M=6,3$ ,  $I=8$  баллов); Туюбугузское 25.05.2013 ( $h=15$  км,  $M=5,6$ ,  $I=7$  баллов); \*Маржанбулакское 2013 ( $M=6,2$ ); \*Китабское 2016 ( $M=5,1$ ), \*Бахмалское ( $M=5,1$ ) [17–19] (\* – см. таблицу 1).

Проведено сравнение периодов активизации сейсмичности в регионе (таблица 1) относительно Азиатской части Средиземноморско-Азиатского сейсмического пояса (рисунок 2). Как показано в таблице 2, обнаруживается синхронность периодов сейсмической активизации регионального (Западный Тянь-Шань) и крупнорегионального масштаба (Азиатская часть сейсмического пояса). Отклонения от синхронности в виде запаздывания периода сейсмической активизации 1952–1970 (4)\*/1940–1966 гг., – можно объяснить низким магнитудным уровнем  $M \sim 5,3$  основного толчка группы, т.е. тем, что эти землетрясения, были рядовыми относительно событий планетарного масштаба.

**Отклонения от выявленных закономерностей сейсмической активизации исследуемой территории**

При систематизации данных Каталога землетрясений Узбекистана, позволившей выделить описанные выше 4 группы сильных землетрясений, выявлен ряд таких сильных землетрясений с  $M \geq 5,0$ , которые не вписывались в установленные закономерности сейсмического режима исследуемой территории. В связи с этим проанализированы возможные причины (техногенные и природные).

Благодаря каталогу ядерных взрывов, созданному в Казахстанском национальном центре данных, выявлены и установлены даты 2-х испытательных ядерных взрывов, проведенных на территории Узбекистана: 30 сентября 1966 г. с  $M=5,1$  (№ 273) и 21 мая 1968 г. с  $M=5,1$  (№ 142). Сейсмические события, показавшие отклонения от сейсмического режима региона, оказались связанными именно с этими ядерными взрывами.

Таблица 2. Сравнительная характеристика периодов сейсмической активизации на Западном Тянь-Шане и Азиатской части сейсмического пояса

№ п/п	Периоды сейсмической активизации в Азиатской части сейсмического пояса (по рисунку 1)	Периоды сейсмической активизации в Западном Тянь-Шане (по таблице 1)	Примечание
1	1897–1916 (1)*	1897–1923 гг.	
2	1917–1933 (2)*	1928–1934 гг.	Периоды сейсмической активизации несколько запаздывают.
3	1952–1970 (4)*	1940–1966 гг.	Периоды сейсмической активизации несколько запаздывают.
4	1971–1988 (5)*	1968–1984 гг.	
5	2007–2023 (7)*	2013–2017 гг.	

Примечание: \* – номера этапов сейсмических циклов

Нельзя исключать возможную связь между активностью сильных землетрясений и ядерными взрывами через воздействие ядерных взрывов на геодинамический режим региона, так же, как и через воздействие других техногенных и природных событий. В этой связи следует рассматривать и последние сильные землетрясения в регионе с магнитудой до  $M=7,3$ , которыми были 3 Газлийских землетрясения 1976 г. и 1984 г., имевшие тектоническую природу.

Северная часть Западного Узбекистана в 50-е годы прошлого столетия считалась слабосейсмичной, и произошедшие Газлийские землетрясения были неким сюрпризом [20]. Однако, ретроспективный анализ геолого-геофизических, сейсмологических данных района позволил предположить, что геодинамические процессы и техногенные события, произошедшие за последние 100 лет в Газлийском регионе, могли создать предпосылки для Газлийских землетрясений. Среди таких предпосылок наиболее значительными являются:

- очередная активизация в 1965 г. процессов трещинообразования – появление, гигантских трещин в районе поселка Тамдыбулак длиной до 100 км шириной до 1 м., глубиной 1–2 м
- отсутствие более 40 лет ощутимых землетрясений в эпицентральной области Газлийских землетрясений;
- появление в течение 2–3 лет линейно выстроенных грязевых вулканчиков в эпицентральной области;
- активная 40-летняя постоянная откачка газа в группе Газлийских месторождений;
- подземные ядерные взрывы.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗАПАДНОГО И ЦЕНТРАЛЬНОГО УЗБЕКИСТАНА ПО ГЛУБИНЕ**

Распределение землетрясений по глубине является еще одной важной характеристикой сейсмичности Западного и Центрального Узбекистан. Общий характер распределения по глубине гипоцентров землетрясений с  $M \geq 3,5$  отдельно для территории Западного и Центрального Узбекистана приведен в [21]. Следует отметить, что до 2000 г. погрешность определения глубины землетрясений в Западной Тянь-Шане составляла  $\Delta h = \pm 5$  км, а с 2000 г. в отдельных частях региона –  $\Delta h = \pm 2-3$  км. Распределение гипоцентров землетрясений по глубинам исследовалось по следующей схеме: земная кора изучаемого региона была разделена на полосы с шагом  $1^\circ$  градус по широте и долготе, отдельно анализировались землетрясения сильные и умеренные ( $M \geq 3,5$ ) и слабые ( $M \leq 3,5$ ). Однако анализ графиков глубин гипоцентров землетрясений показал, что распределение землетрясений в сейсмогенных слоях не зависит от их магнитудного уровня. При построениях графиков глубин использован ресурс EXCEL. Ниже рассмотрено распределение землетрясений по глубинам отдельно по Западнему и Центральному Узбекистану.

**Западный Узбекистан**

Регион по долготу  $\lambda$  с  $59^\circ$  до  $65^\circ$  в.д. разделен на 6 полос с шагом  $1^\circ$  градус, а по широте  $\varphi$  с  $38,80^\circ$  до  $43^\circ$  с.ш. – на 5 полос с тем же шагом.

*Долготные разрезы.* 6 долготных полос характеризуются следующим количеством землетрясений: 4 – на полосе I; 3 – на полосе II; 8 – на полосе III; 12 – на полосе IV; 298 – на полосе V; 2 – на полосе VI. Анализировались статистически наиболее представительные графики глубин землетрясений IV и V полос.

На долготу  $\lambda$   $62^\circ-63^\circ$  в.д. (IV полоса) установлено 1 глубокофокусное землетрясение с глубиной  $h=60$  км: 1984 г. / 03/20/10-44-7,70/  $\varphi=40^\circ,27$ ,  $\lambda=63^\circ,00$  (рисунок 3). Следует отметить, что ни в локальном, ни в региональном каталогах землетрясений Узбекистана за 1984 г. подобные глубокие землетрясения не приводятся как не зарегистрированные сейсмическими станциями Института сейсмологии АН РУз.

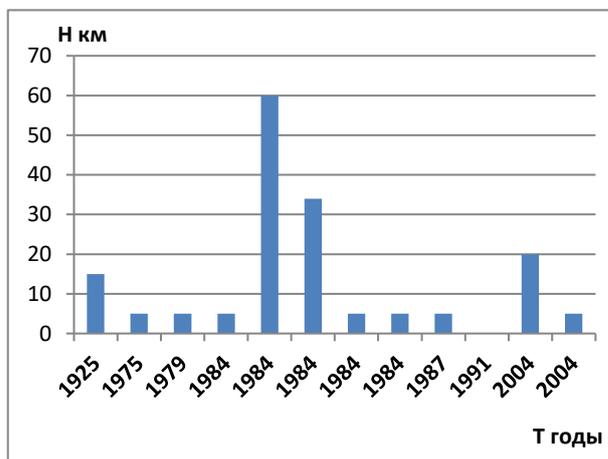


Рисунок 3. Распределение по глубине гипоцентров землетрясений в Западном Узбекистане. Долгота  $\lambda=62^\circ-63^\circ$

На долготу  $\lambda=63^\circ-64^\circ$  (V полоса, рисунок 4) выявлены парные глубокие землетрясения с  $h=60$  км, расположенные в эпицентральной области 3-х Газлийских землетрясений 1976 г. и 1984 г., где отмечены всплески углубления землетрясений (таблица 3).

*Широтные разрезы.* 5 широтных полос характеризуются следующим количеством землетрясений: 1 – на полосе I; 19 – на полосе II; 303 – на полосе III; 2 – на полосе IV; 7 – на полосе V. Выявлены участки с землетрясениями до глубины  $h=183$  км. Анализировались статистически наиболее представительные графики глубин землетрясений II и III полос.

На широте  $\varphi=39^\circ-40^\circ$  (II полоса) выявлены 4 глубокофокусных землетрясения (рисунок 5): 1976 г./05/18/08-57-38,40,  $M=5,2$ ,  $h=160$  км, через 5 часов – 1976 г./05/18/13-54-32,40,  $M=5,3$ ,  $h=160$  км (почти в этом же месте).

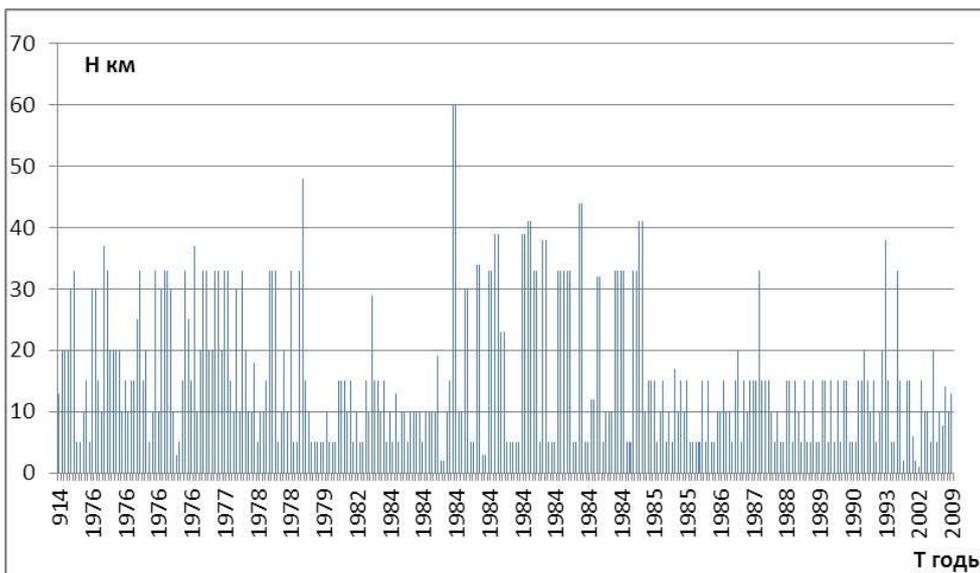


Рисунок 4. Распределение по глубине гипоцентров землетрясений в Западном Узбекистане. Долгота  $\lambda=63^{\circ}-64^{\circ}$

Таблица 3. Параметры глубокофокусных землетрясений в Западном Узбекистане

N п/п	Дата			Время			Координаты			K	mb	MLH	Источник
	год	месяц	число	час	минута	секунда	широта	долгота	глубина, км				
1	1976	5	18	8	57	38,40	39,77	63,63	160	12,0	4,6	4,6	1
2	1976	5	18	13	54	32,40	39,76	63,48	160	12,0	4,7	4,7	1
3	1984	3	20	10	44	12,20	39,97	63,39	60	–	3,5	3,5	1
4	1993	5	8	13	21	29,00	39,12	64,31	183	–	4,2	–	ISC

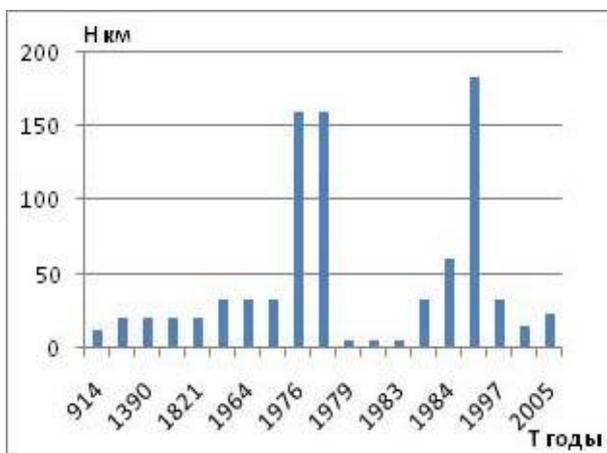


Рисунок 5. Распределение по глубине гипоцентров землетрясений в Западном Узбекистане. Широта  $\varphi=39^{\circ}-40^{\circ}$

На широте  $\varphi=40^{\circ}-41^{\circ}$  (полоса III, рисунок 6) отмечены парные глубокие землетрясения с  $h=60$  км, расположенные в эпицентральной области 3-х Газлийских землетрясений 1976 г. и 1984 г. (таблица 3, рисунок 4).

Подобные примеры возникновения парных глубоких землетрясений с разницей от нескольких часов до 2–3 сек. наводят на мысль о вероятном существо-

вании эффекта «домино», т.е. в очаге глубокого землетрясения, вероятно, происходит схлопывание газов, жидкой магмы, происходят изменения температуры  $T$  и давления  $P$  и пр., что инициирует следующий толчок.

В целом распределение землетрясений в Западном Узбекистане, как в широтных, так и долготных разрезах, соответствует глубинному строению земной коры изучаемого региона, где подошва Мохоровичича колеблется на уровне глубин  $h=35-40$  км [22] (таблица 3, рисунки 3–6).

#### Центральный Узбекистан

Регион по долготе  $\lambda$  с  $65^{\circ}$  до  $68,5^{\circ}$  в.д. разделен на 3 полосы с шагом  $1^{\circ}$  градус, а по широте с  $37^{\circ}$  до  $41^{\circ}$  с.ш. – на 4 полосы с тем же шагом.

**Долготные разрезы.** 3 долготные полосы характеризуются следующим количеством землетрясений: 18 – на полосе I; 48 – на полосе II; 127 – на полосе III. Анализировались статистически наиболее представительные графики глубин землетрясений II и III полос.

На долготе  $\lambda=66^{\circ}-67^{\circ}$  (II полоса) выделено одно глубокое землетрясение с  $h=61$  км: 2000 г./02/28, которое произошло в районе Пачкамарского водохранилища, в 25 км к северо-западу от поселка Дехканабад, Кашкадарьинской области Узбекистана (рисунок 7, таблица 4).

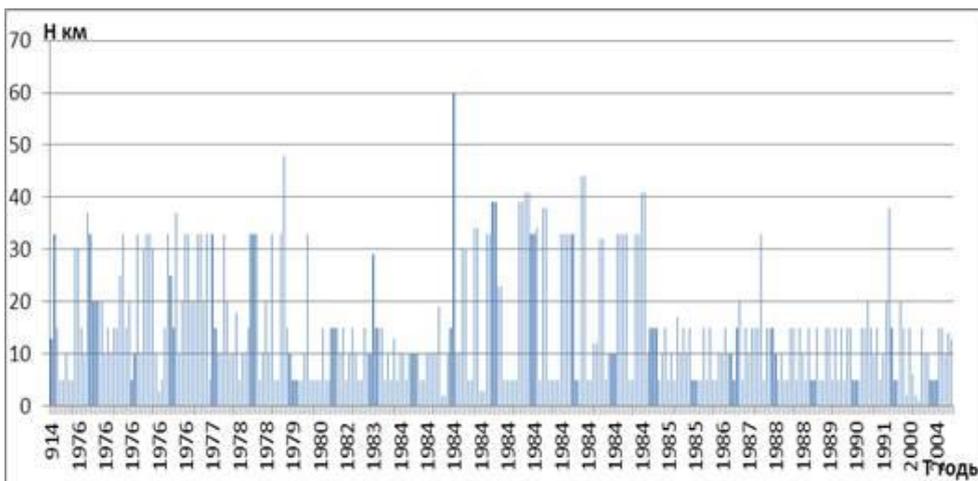


Рисунок 6. Распределение по глубине гипоцентров землетрясений в Узбекистане. Широта  $\varphi=40^{\circ}-41^{\circ}$

Таблица 4. Параметры глубокофокусных землетрясений в Центральном Узбекистане (по долготе)

N п/п	Дата			Время			Координаты			mb	MLH	Mw	Источник	Место эпицентра на поверхности земли
	год	месяц	число	час	минута	секунда	широта	долгота	глубина, км					
1*	1999*	3	27	8	41	40	37,73	68,44	72	3,6	3,6	4,7	ISC	Правобережье р. Вахш.
2	2000	2	26	4	33	0,56	38,44	66,38	61	3,7	3,8	4,8	USSR E	Кызылдаринско-Лянганская сейсмогенная зона. Пачкамарск водохранилище. В 25 км к северо-западу от поселка Дехканабад.
3*	2000*	5	7	12	11	56,87	37,53	68,45	62	3,6	3,6	4,7	USSR E	Левый берег. р.Вахш, на северо-западе в 30 км от кишлака Дусти.
4*	2003*	9	17	19	26	38,7	37,42	68,26	85	3,5	3,5	4,7	SEME MES RK +KNDC	К востоку в 10 км от левого берега. р. Кафирниган.
5*	2005	8	8	23	33	28,7	39,99	67,43	60	4,0	4,2	5,0	ISC	Северо-Кульджуктау-Туркестан сейсмогенная зона. Эпицентральная область Маржанбулакского землетрясения 2013 г. M=6,2. Правый берег. р. Санзар. В 15 км к юго-западу от райцентра Галляарал.

Примечание: \* – глубокофокусные землетрясения, обнаруженные по 2-м долготным полосам: ( $66^{\circ}-67^{\circ}$ ) и ( $67^{\circ}-68,50^{\circ}$ ).

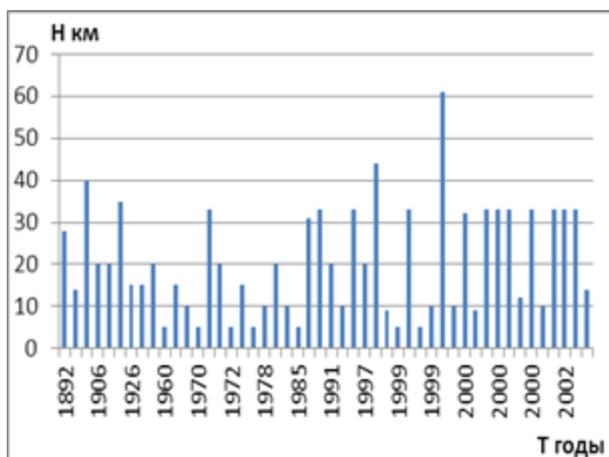


Рисунок 7. Распределение по глубине гипоцентров землетрясений в Центральном Узбекистане. Долгота  $\lambda=66^{\circ}-67^{\circ}$

На долготе  $\lambda=67^{\circ}-68,50^{\circ}$  (III полоса) установлены 4 глубокофокусных землетрясения. Их них 3 землетрясения: (1999/3/27/, 2000/05/07/, 2003/09/17/) произошли на территории Таджикистана в районах рек Вахш и Кафирниган. 4-ое землетрясение произошло 2005/08/08/ с  $h=60$  км в 15 км к юго-западу от райцентра Галляарал Джизакской области Узбекистана (рисунок 8, таблица 4). Магнитуды этих землетрясений  $\sim M=4,0 \div 4,5$ . Следует отметить, что эпицентр землетрясения 2005 г., находящийся в Северо-Кульджуктау-Туркестанской сейсмогенной зоне, совпадает по месту с эпицентром Маржанбулакского землетрясения, которое впоследствии произошло 26 мая 2013 г. с  $M=6,2$ ,  $h=16,5$  км.

**Широтные разрезы.** 4 широтные полосы характеризуются следующим количеством установленных землетрясений: 51 – на полосе I; 76 – на полосе II; 50 – на полосе III; 26 – на полосе IV. Выявлены участки

с землетрясениями до глубины  $h=183$  км. Анализировались статистически наиболее представительные графики глубин землетрясений I, II и III полос.

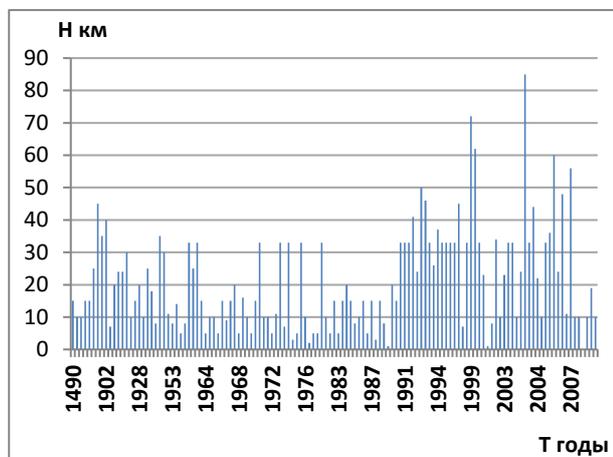


Рисунок 8. Распределение по глубине гипоцентров землетрясений в Центральном Узбекистане. Долгота  $\lambda=67^{\circ}-68^{\circ},50$

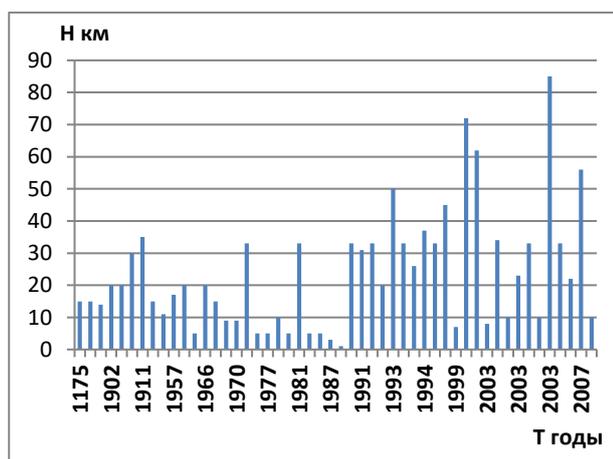


Рисунок 9. Распределение по глубине гипоцентров землетрясений в Центральном Узбекистане. Широта  $\varphi=37^{\circ}-38^{\circ}$

На широте  $\varphi=37^{\circ}-38^{\circ}$  (I полоса) произошло 6 глубоких землетрясений. Первое из них (1993/05/31/,  $h=50$  км) – на левом берегу р. Шерабад, в 35 км на северо-восток от кишлака Шерабад, Сурхандарьинской области, Узбекистана. Остальные 5 глубоких землетрясений (1997/09/20; 1999/03/27/; 2000/05/07/; 2003/09/17/; 2005/08/08/ с глубинами  $h=45\div 85$  км) произошли на территории Таджикистана на берегах рек Вахш и Кафирниган, вероятно приуроченные к очень дальним окраинам Памиро-Гиндукушской зоны глубокофокусных землетрясений (рисунок 9, таблица 5). Магнитуды 6 глубоких землетрясений  $M=4,7\div 5,0$ .

На широте  $\varphi=38^{\circ}-39^{\circ}$  (II полоса) произошло 1 глубокое землетрясение (2000/02/26/,  $h=61$  км) с

$M=4,8$  в Северо-Кульджуктау-Туркестанской сейсмогенной зоне – эпицентральной зоне Маржанбулакского землетрясения 26 мая 2013 г. (рисунок 10, таблица 5). Это глубокое землетрясение 2000 г. отмечалось также на долготном графике глубин (рисунок 8, таблица 4).

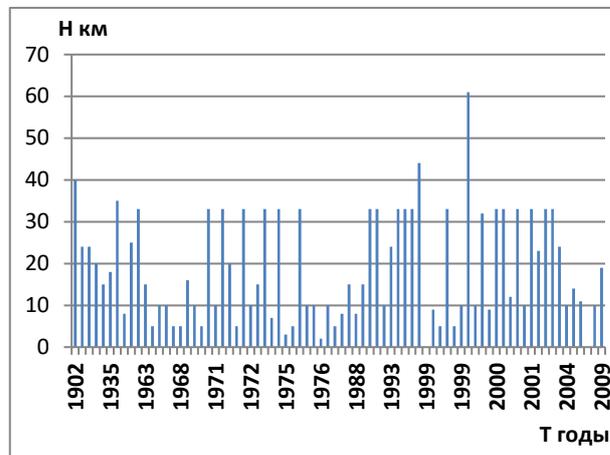


Рисунок 10. Распределение по глубине гипоцентров землетрясений в Центральном Узбекистане. Широта  $\varphi=38^{\circ}-39^{\circ}$

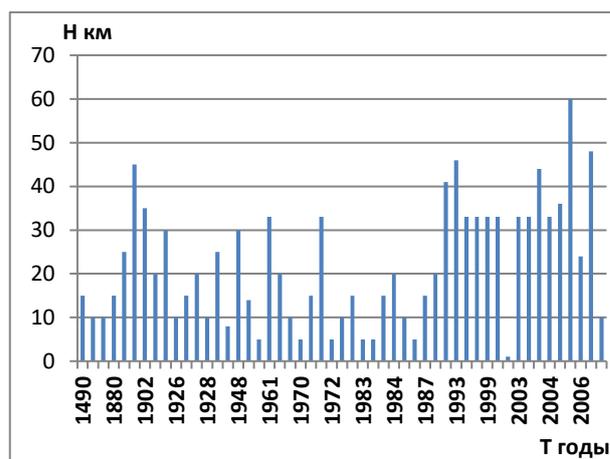


Рисунок 11. Распределение гипоцентров землетрясений в Центральном Узбекистане. Широта  $\varphi=39^{\circ}-40^{\circ}$

На широте  $\varphi=39^{\circ}-40^{\circ}$  (III полоса) произошло 1 глубокое землетрясение (2005/08/08/,  $h=60$  км) с  $M=4,8$ , эпицентр которого расположен под Талимарджанским водохранилищем, Кашкадарьинской области, вблизи границы Узбекистана с Туркменистаном (рисунок 11, таблица 5).

В целом распределение гипоцентров землетрясений в Центральном Узбекистане, как в широтных, так и долготных разрезах соответствует глубинному строению земной коры изучаемого региона, где подошва Мохоровичича колеблется уже на уровне глубины  $h=35-40$  км [3, 21] (рисунки 7–11).

НЕКОТОРЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ СЕЙСМИЧНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОГО И ЗАПАДНОГО УЗБЕКИСТАНА

Таблица 5. Параметры глубокофокусных землетрясений в Центральном Узбекистане (по широте)

N п/п	Дата			Время			Координаты			mb	MLH	Mw	Источник	Место эпицентра на поверхности земли
	год	месяц	число	час	минута	секунда	широта	долгота	глубина, км					
1	1993	5	31	13	38	13	37,86°	67,11	50	4,3	4,6	5,2	ISC	Левый берег р. Шерабад. Сурхандарьинская область, Узбекистан. На северо-востоке в 35 км от кишлака Шерабад.
2	1997	9	20	11	49	15	37,27°	67,91	45	3,9	3,5	4,7	ISC	Правый берег р. Кафирниган. В пределах Бабатаг-Кейкитауской сейсмогенной зоны.
3*	1999*	3	27	8	41	40	37,73°	68,44	72	3,6	3,6	4,7	ISC	Правобережье р. Вахш.
4	2000	2	26	4	33	0,56	38,44°	66,38	61	3,7	3,8	4,8	USSR E	Под Талимарджанским водохранилищем. Кашкадарьинская область, вблизи границы Узбекистана с Туркменистаном.
5*	2000*	5	7	12	11	56,87	37,53°	68,45	62	3,6	3,6	4,7	USSR E	Левый берег р. Вахш, на северо-западе в 30 км от кишлака Дусти.
6*	2003*	9	17	19	26	38,7	37,42°	68,26	85	3,5	3,5	4,7	SEME MES RK +KNDC	К востоку в 10 км от левого берега. р. Кафирниган.
7*	2005	8	8	23	33	28,7	39,99°	67,43	60	4,0	4,2	5,0	ISC	Северо-Кульджуктау-Туркестанская сейсмогенная зона. Эпицентральная область Маржанбулакского землетрясения 2013 г. M=6,2. Правый берег р. Санзар. В 15 км к юго-западу от райцентра Галляарал.
8	2007	7	30	3	58	39	37,34°	68,50	56	3,7		4,8	ISC	К востоку в 5–8 км от правого берега р. Кафирниган.

Примечание: \* – глубокофокусные землетрясения, обнаруженные по широтам: \* – I полоса; \*\* – II полоса; \*\*\* – III полоса.

Подводя итоги анализа распределения гипоцентров землетрясений по глубине в Центральном Узбекистане отметим, что все 13 глубоких землетрясений (таблицы 4, 5) проявлены на широтных и долготных разрезах земной коры. Гипоцентры 13-ти глубокофокусных землетрясений в Центральном Узбекистане располагаются в различных местах и приурочены к Кызылдаринско-Лянганской ( $M_{max}=5,0$ ), Северо-Кульджуктау-Туркестанской ( $M_{max}=6,0$ ), Бабатаг-Кейкитауской ( $M_{max}=6,0$ ) сейсмогенным зонам [22, 23], а также к зонам Пачкамарского, Талимарджанского водохранилищ, к эпицентральной области Маржанбулакского землетрясения 2013 г. с  $M=6,2$ . и к зоне глубинного Южно-Тянь-Шаньского разлома.

На территории Тянь-Шаня были известны максимальные значения глубин 25–30 км, отмеченные в Кемино-Чиликском и Фергано-Чаткальском сейсмоактивных участках [21]. Большие глубины очагов – до 20–25 км, наблюдаются в Южно-Чуйской, Северо-Ферганской и Южно-Ферганской зонах. В [21] отмечается также, что очаги глубже 30 км на исследуемой территории встречаются крайне редко. Обнаруженные в каталоге землетрясения с большими значениями глубин гипоцентров землетрясений в любом случае полезны. Для подтверждения или опровержения данных по этим 17 глубокофокусным землетрясениям Западного и Центрального Узбекистана необходимо провести дополнительное изучение записей сейсмических станций и произвести, при необходимости, очистку каталога землетрясений.

## Выводы

Установлены следующие основные закономерности сейсмического режима территории Западного и Центрального Узбекистана:

1. Выделяются 4 группы сильных землетрясений с  $M \geq 5,0$ , произошедших в период 900–2017 гг., объединенных вокруг «главного» сейсмического толчка с  $M=6,0 \div 7,3$ . Во время сейсмической активизации территории Западного Узбекистана, в другой части – на востоке Центрального Узбекистана, - наступает сейсмическое затишье, а затем происходит возвратная миграция активизации на восток Центрального Узбекистана. В этот же период на территории Западного Узбекистана наблюдается сейсмическое затишье. Миграция сейсмической активности на территорию Западного Узбекистана периодически повторяется. Энергетический порог – магнитуда сильных землетрясений, – в Западном Узбекистане на 1 единицу магнитуды выше, чем на востоке Центрального Узбекистана.

2. Гипоцентры землетрясений с  $M \geq 3,5$  на территории Западного и Центрального Узбекистана распределены по определенным сейсмогенным слоям вне зависимости от магнитудного уровня землетрясений. Распределение гипоцентров землетрясений в широтных и долготных разрезах земной коры соответствует глубинному строению земной коры изучаемого региона: в Западном и Центральном Узбекистане подошва Мохоровичича находится на уровне  $h=35-40$  км. Выявлены несколько глубоких земле-

трясений в Западном и Центральном Узбекистане, которые требуют тщательной проверки бюллетеней сейсмических станций.

3. Обнаружены отклонения от общей закономерности группирования сильных землетрясений в сейсмическом режиме региона, которые связаны с техногенными событиями. Сорокалетняя постоянная откачка газа в группе Газлийских месторождений, ядерные взрывы, процессы трещинообразования, отсутствие более 40 лет ощутимых землетрясений в эпи-

центральной зоне Газлийских землетрясений могли быть мощными триггерами Газлийских землетрясений, имеющими тектоническую природу и произошедшими в 1976 г. и 1984 г. с  $M=7,0-7,3$ .

*Работа выполнена при поддержке государственной программы фундаментальных исследований по гранту Ф8-ФА-8-006 «Исследование особенностей проявления напряженно-деформированного состояния разноранговых сейсмотектонических структур комплексом геолого-геофизических методов».*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Новый Каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г.: часть II, III. Средняя Азия и Казахстан / под ред. Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина. – М.: Наука, 1977. – С. 198–296.
2. Ситдиқов, Б.Б. Неотектоника Западного Тянь-Шаня / Б.Б. Ситдиқов. – Ташкент: Фан, 1985. – 144 с.
3. Бабаджанов, Т.Л. Особенности строения земной коры юго-западного Узбекистана / Т.Л. Бабаджанов, О.П. Мордвицев // Геология и минеральные ресурсы. – Ташкент: Фан, 2001. – № 4. – С. 42–46.
4. Якубов, Д.Х. Геолого-тектоническая позиция и условия возникновения Газлийских землетрясений / Д.Х. Якубов, А.Р. Ярмухаммедов // Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. – Ташкент: Фан, 1986. – С. 34–41.
5. Борисов, О.М. Тектоническое положение очага землетрясения 1984 г. и его геологическое проявление / О.М. Борисов, Е.А. Рогожин // Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. – Ташкент: Фан, 1986. – С. 41–59.
6. Усманова, М.Т. К вопросу о поздней кайнозойской тектонике, сейсмичности Тянь-Шаня и Памира / М.Т. Усманова // Проблемы сейсмологии в Узбекистане. – Ташкент: УД АН РУз., 2013. – № 11. – С. 48–54.
7. Абдрахматов, К.Е. Сейсмологическая база данных Центральной Азии как основа изучения региональных геодинамических процессов (Каталог землетрясений Центральной Азии с 2000 г. д.н.э. по 2005 г. н.э.) / К.Е. Абдрахматов, З.А. Кальметьева, Н.Н. Михайлова, М.Т. Усманова [и др.] // Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геологические проблемы. Материалы 4 Межд. симпозиума, Бишкек, 15–20 июня 2008 г. – Бишкек: ИС РАН, 2008. – С. 297–302.
8. Каталог сильных землетрясений Центральной Азии с древнейших времен по 2009 г. [Электронный ресурс] / Н.Н. Полешко, И.Л. Аристова, А.С. Мукамбаев, Г.О. Куликова (под ред. Михайловой Н.Н.) // Алматы, 2011. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [www.kndc.kz](http://www.kndc.kz), свободный. – Загл. с экрана.
9. Сводные каталоги землетрясений на территории Узбекистана за 2000–2015 гг. / Комплексная экспедиция института сейсмологии АН РУз.
10. Гмурман, В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика / В. Е. Гмурман. – М.: Высшее образование, 2005. – 384 с.
11. Усманова, М.Т. О сейсмических моделях реализации сильных землетрясений Западного Тянь-Шаня (на примере Западного Узбекистана) / М.Т. Усманова // Геология и минеральные ресурсы. – Ташкент: Фан, 2004. – № 2. – С. 33–37.
12. Усманова, М.Т. О геодинамических моделях и сейсмичности Центральной Азии / М.Т. Усманова // Каталог сейсмопрогностических наблюдений на территории Азербайджана: ежегодный журнал. – Баку, 2011. – С. 138–145.
13. Яковлева, И.Б. Пространственно-временные особенности сейсмического режима Южно-Ферганской сейсмоактивной зоны / И.Б. Яковлева, В.И. Яковлев, А. Абдиева / Методы определения сейсмической опасности. – Кишнев: Штиинца, 1984. – С. 11–23.
14. Артиков, Т.У. Сейсмический потенциал / Т.У. Артиков, Р.С. Ибрагимов, Ф.Ф. Зияудинов // Сейсмическая опасность территории Узбекистана. – Ташкент: ООО POLIMEXANIKA, 2012. – С. 61–72.
15. Абдуллабеков, К.Н. Особенности проявления сильных землетрясений во времени и пространстве / К.Н. Абдуллабеков, М.Т. Усманова // Доклады Академии наук РУз. – Ташкент: Фан, 2003. – № 3 – С. 60–64.
16. Усманова, М.Т. О современной сейсмической активизации территории Центральной Азии / М.Т. Усманова // Доклады Международной конференции «Актуальные проблемы современной сейсмологии», посвященной 50-летию Института сейсмологии АН РУз. – Ташкент: ООО «MUXAMMAD POLIGRAF», 2016. – С. 120–125.
17. Камчыбеков, М.П. Канское землетрясение 19 июля 2011 года / М.П. Камчыбеков, М.Т. Усманова, А.Г. Фролова [и др.] // Землетрясения Северной Евразии за 2011. – М.: Наука, 2017. – С. 379–391.
18. Усманова, М.Т. Гуябугузское землетрясение 25 мая 2013 г. / М.Т. Усманова, У.А. Нурматов, А. Джураев, Т.У. Артиков // Геология и минеральные ресурсы – Ташкент, 2015. – № 2. – С. 29–35.
19. Усманова, М.Т. Маржанбулакское землетрясение 26 мая 2013 г. / М.Т. Усманова, У.А. Нурматов, А. Джураев // Геология и минеральные ресурсы. – Ташкент, 2014. – № 3. – С. 32–36.
20. Уломов, В.И. Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. / В.И. Уломов. – Ташкент: Фан, 1986. – С. 3–6.
21. Кальметьева, З.А. Сейсмичность: пространственно-временное распределение, механизмы очагов и природа землетрясений / З.А. Кальметьева // Современная геодинамика внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). – М.: Научный мир, 2005. – С. 136–157.
22. Ибрагимов, Р.Н. и др. Карта сейсмогенных зон Узбекистана и прилегающих территорий. М: 1:600000 / Р.Н. Ибрагимов [и др.]. – Ташкент: Гос. науч. предприятие «Картография» Госкомитета РУз по Земельным ресурсам, геодезии, картографии и госкадастра. – 2011. – с.

23. Ибрагимов, Р.Н. Сеймотектонический метод оценки сейсмической опасности и вопросы сейсмического районирования / Р.Н. Ибрагимов, У.О. Нурматов, О.Р. Ибрагимов // Сейсмическое районирование и прогноз землетрясений в Узбекистане. – Ташкент: Гидроингео, 2002. – С. 59–74.

### ОРТАЛЫҚ ЖӘНЕ БАТЫС ӨЗБЕКСТАННЫҢ СЕЙСМИКАЛЫЛЫҒЫНЫҢ КЕЙБІР ЗАҢДЫЛЫҚТАРЫ

<sup>1)</sup> М.Т. Усманова, <sup>2)</sup> А.М. Саттарова

<sup>1)</sup> *ӨзР Ғылыми академиясының Сейсмология институты, Ташкент, Өзбекстан*

<sup>2)</sup> *Ирригация институтының Академиялық лицейі, Ташкент, Өзбекстан*

Батыс Тянь-Шаньдағы сейсмикалық белсенділігінің кеңістік-уақыттық таралуы қарастырылған. Батыс және Орталық Өзбекстанда болған қатты жерсілкінулердің екі тобы көрсетілген. Жинақталған тектоникалық энергия сейсмикалық түрінде кезегімен аймақтар бойынша таралуының заңдылығы айқындалған. Жерсілкінулер, олардың магнитудалық деңгейіне байланысты, гипоорталықтарының тереңдіктері бойынша белгілі сейсмогенді қабаттарында таралуы көрсетілген. Аймақтың сейсмикалық режимінде қатты жерсілкінулерді топтастыру заңдылығынан ауытқулары айқындалған. Газлиде 1976 ж. және 1984 ж. болған  $M=7,0-7,3$  үш қайтара өте қатты жерсілкінулер алдында мүмкін триггерлер болған – табиғи және техногенді. Табиғи триггерлеріне солтүстікте Тамдыбұлақ к. ауданындағы белсенді сызаттану (ұзындығы 100 км дейін ірі жарықшақтар) процесстері және Газлидің эпиорталықтың ауданында 40 жылдан астам елеулі жерсілкінулері болмауы жатқызылады. Техногенді триггерлеріне, Газли кенорнынан 40-жылдық тұрақты газ шығаруы және, тектоникалық тегі бар, 1976 ж. және 1984 ж. болған Газли жерсілкінулердің эпиорталықтары жанында жүргізілген, 2 ядролық жарылыстар жатқызылған.

### SOME REGULARITIES OF SEISMICITY OF CENTRAL AND WESTERN UZBEKISTAN

<sup>1)</sup> M.T. Usmanova, <sup>2)</sup> A.M. Sattarova

<sup>1)</sup> *Institute of Seismology of the Academy of Science of the Republic of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan*

<sup>2)</sup> *Academic Lyceum under the Institute of Irrigation, Tashkent, Uzbekistan*

In article, distribution of space-temporal seismic activity of Western Tien-Shan region was considered. Two groups of strong earthquakes in Western and Central Uzbekistan were extracted. Regularity has been detected on redistribution of the accumulated tectonic energy in the form of seismicity alternatively on the regions. It was shown that earthquakes on hypocenters' depths were distributed in certain seismogenic layers independent from their magnitude level. Deflections were discovered from the regularity of grouping of strong earthquakes in seismic regime of the region. Probably natural and technogenic triggers preceded the triple strong Gazly earthquakes in 1976 and 1984 with  $M=7,0-7.3$ . Natural triggers: active processes of fissures on the north Gazly with length ~ 100 km near Tamdibulak and absence for more than 40 years of appreciable earthquakes in epicentral region Gazly. Technogenic triggers: constant 40-years-long gas pump from "Gazly" fields and two nuclear explosions implemented near Gazly earthquakes in 1976 and 1984 of tectonic nature.

УДК 550.34:550.831.01

## СВЯЗЬ СЕЙСМИЧНОСТИ С ИЗБЫТОЧНЫМИ МАССАМИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

Великанов А.Е., Аристова И.Л.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Приводятся факты и примеры связи сейсмичности с *локализованными избыточными массами* земной коры, расположенными как на дневной поверхности в виде возвышений горных пород различной плотности, так и, в меньшей степени, под дневной поверхностью в виде ограниченных объёмов пород с повышенной плотностью. Эти связи рассмотрены как в глобальном масштабе, так и на региональном уровне на территории Центральной Азии с использованием геодезических и гравиметрических данных в виде детальных карт цифровых моделей рельефа и аномалий силы тяжести в свободном воздухе, полученных по результатам высокоточных спутниковых съёмки.

### ВВЕДЕНИЕ

Подавляющее количество эпицентров землетрясений приурочено к горной местности. Чем выше относительная высота и крутизна гор, тем сильнее проявляется сейсмичность территории, выраженная в количестве и силе землетрясений. И чем массивнее горные образования, тем значительно глубина очагов землетрясений. Сопоставление геодезических карт рельефа местности и гравиметрических карт локальных аномалий силы тяжести показывает, что гравитационные аномалии часто вызваны как выступающими на поверхность горными массами в виде возвышений, так и повышенной плотностью масс внутри земной коры.

В последнее десятилетие при анализе сейсмичности и гравиметрических карт на территории Казахстана и прилегающих площадях в пределах Центральной Азии была замечена приуроченность многих эпицентров умеренных и сильных землетрясений тектонического характера к локальным аномалиям и аномальным зонам силы тяжести. Особенно это стало заметно при анализе гравиметрических карт в редукции Фая и близким к ним по содержанию карт аномалий силы тяжести в свободном воздухе, при создании которых не вычитается промежуточный слой геологической среды и учитываются все формы положительного рельефа возвышенной и горной местности. Гравиметрические карты в редукции Буге (Bouguer gravity anomaly) дают возможность выявить аномалии силы тяжести, связанные с геологической средой повышенной плотности независимо от форм рельефа, как в равнинной, так и в горной местности. Гравиметрические карты аномалий силы тяжести в свободном воздухе (free-air gravity anomaly) и в редукции Фая (Faye gravity anomaly) дают возможность выявить локализованные аномалии с избыточной массой, связанные как с объёмами пород повышенной плотности, так и с участками пород с возвышенными формами рельефа, которые даже при нормальной или пониженной плотности пород всё равно представляют *возмущающую избыточную массу* в данном месте [1]. Гравитационные возмущения локализованных избыточных масс геологической среды

вызываются преимущественно периодическим действием *лунно-солнечных приливных сил*, которые способствуют переходу пород на большей глубине в напряжённо-деформированное состояние и генерации сейсмотектонических напряжений в них.

### ГЛОБАЛЬНАЯ СВЯЗЬ СЕЙСМИЧНОСТИ С ИЗБЫТОЧНЫМИ ГОРНЫМИ МАССАМИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ И ОКЕАНИЧЕСКОГО ДНА

Начало XXI века ознаменовалось широким использованием новых спутниковых технологий в исследованиях из космоса всей поверхности Земли. Первым знаменательным событием явился полёт в феврале 2000 года космического челнока шаттла Индевор (США) с миссией SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), который в течение 11 дней без перерыва независимо от метеорологических условий, времени суток с высоты 233 км провёл высокоточную радарную топографическую съёмку поверхности Земли от 56° южной широты до 60° северной широты. Эта съёмка позволила получить высокоточную цифровую модель рельефа (ЦМР) с разрешением 30 м (рисунок 1) [2].

Вторым знаменательным событием стало осуществление семилетней (2002–2009) спутниковой гравиметрической миссии GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), проведенной совместно NASA и Немецким аэрокосмическим центром. В рамках миссии GRACE проведены высокоточные детальные измерения аномалий поля силы тяжести Земли и их изменений за пятилетний период. С использованием этих данных и последующих спутниковых миссий CHAMP (Challenging Mini Satellite Payload, 2000–2010 гг.), GOCE (Gravity Field and Steady-State Ocean Circulation Explorer, 2009–2014 гг.), а также результатов наземных и морских гравиметрических съёмок построена наиболее точная карта глобального гравитационного поля Земли WGM2012 (рисунок 2) [3]. Два вида информации пространственных данных: по геодезическим измерениям (различных форм земной поверхности) и по гравиметрическим определениям (масс пород под каждой формой поверхности), – тесно взаимосвязаны между собой и дополняют друг друга при изучении различных геодинамических

процессов у поверхности и в недрах земли, включая сейсмичность.

Сравнение карты глобального гравитационного поля Земли (рисунок 2) и глобальной карты распределения сейсмичности с эпицентрами ощутимых землетрясений по всему миру (рисунок 3) показывает заметное совпадение зон сейсмичности с зонами аномалий силы тяжести. Причём эти совпадения, как совпадения с избыточными горными массами геологической среды, наблюдаются в местах с наиболее возвышенными формами рельефа земной поверхности и океанического дна, включая зоны островных дуг и срединно-океанических хребтов.

Однако имеются единичные места, где совпадение зоны аномалий силы тяжести в свободном воздухе с зоной сейсмичности не связано с возвышенными формами рельефа. Например, такая зона сейсмичности наблюдается в южной части Аравийского полуострова, где она проходит с востока на запад из Ара-

вийского моря через Аденский залив, а потом на северо-запад через Красное море. Здесь в центральной части морских проливов на дне находится узкая зона базальтовых пород повышенной плотности, которая отмечается вытянутой зоной слабых гравитационных аномалий силы тяжести в свободном воздухе и интенсивной вытянутой аномалией силы тяжести в редукции Буге. В Охотском море наблюдается несовпадение зоны сейсмичности глубоководных землетрясений с возвышенными формами рельефа на поверхности дна, хотя зона относительно слабых гравитационных аномалий силы тяжести имеется. Напряжённо-деформированное состояние недр под Охотским морем, по-видимому, вызывается многократным появлением огромной избыточной водной массы при периодическом (дважды в сутки) образовании высокого приливного горба (ориентировочно до 15–25 м) в центральной, ближе к глубоководной, части Охотского моря.

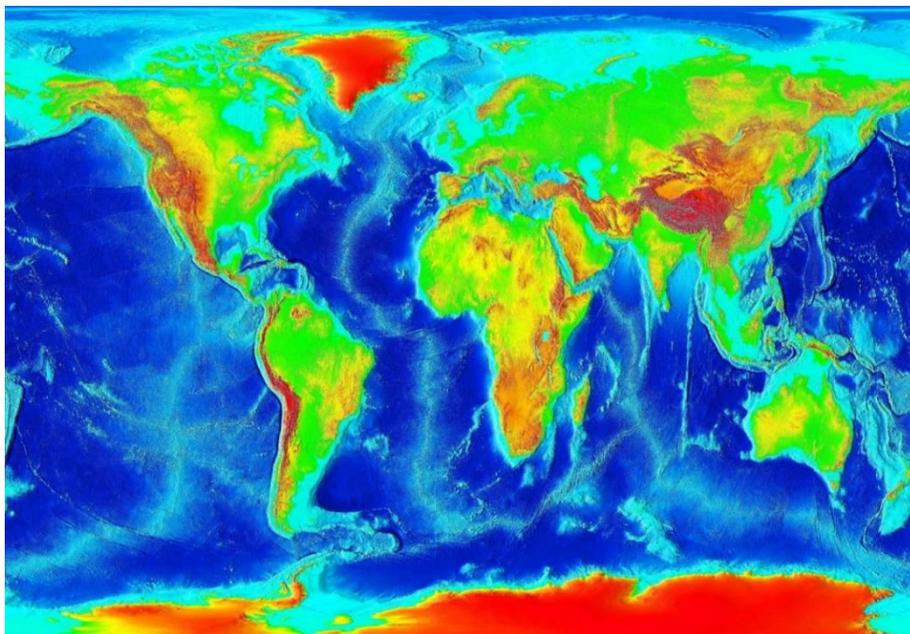


Рисунок 1. Глобальная цифровая модель рельефа Земли [<http://mapsof.net/the-world/elevation>]

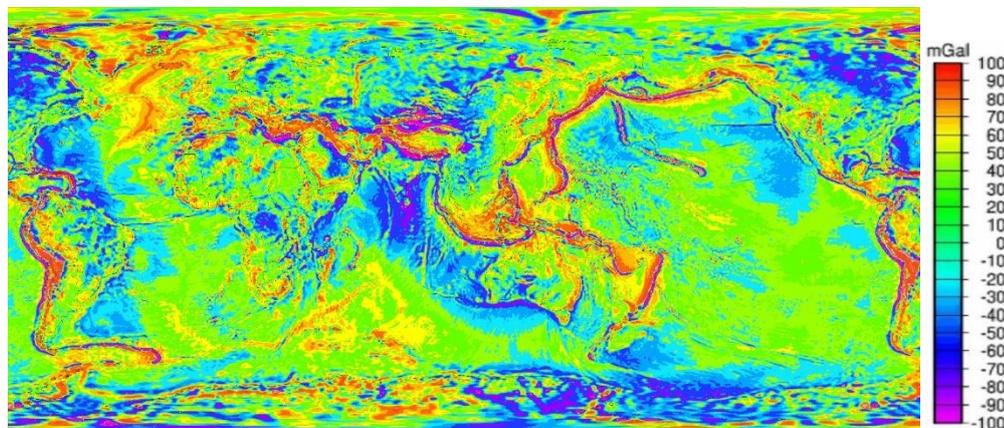


Рисунок 2. Глобальная карта аномалий силы тяжести в свободном воздухе WGM2012 [[www.csr.utexas.edu](http://www.csr.utexas.edu)]

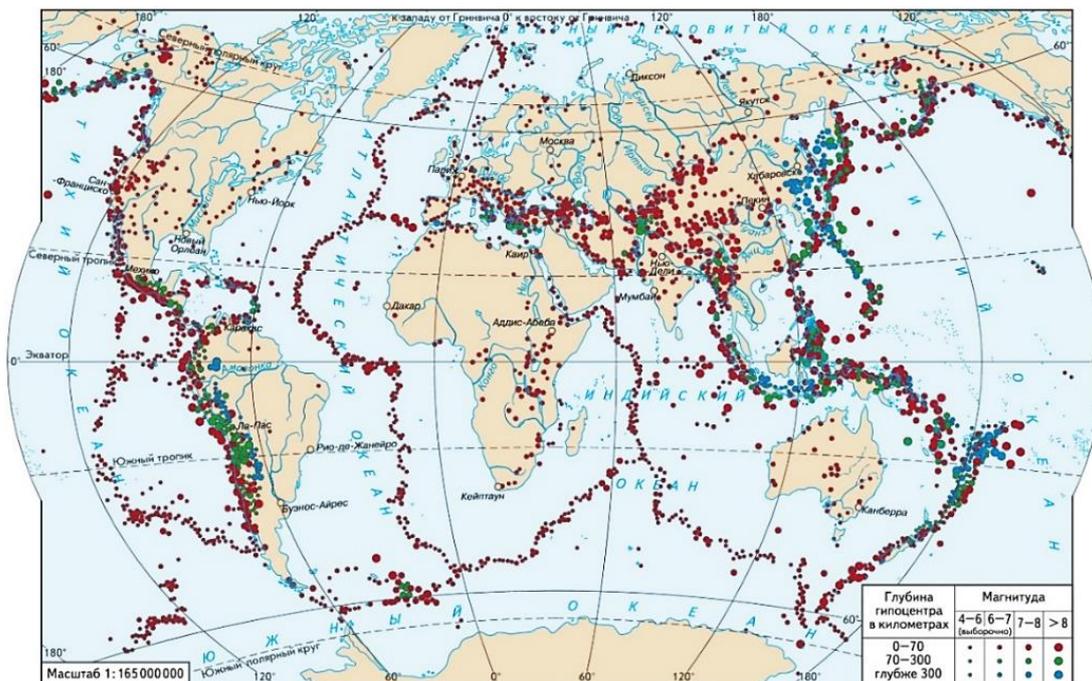


Рисунок 3. Карта землетрясений мира за 1900–2007 гг. [https://i.ytimg.com/vi/ps3Y0UdEo08/maxresdefault.jpg]

В приполярных широтах есть территории Гренландии и Антарктиды с сильно возвышенным рельефом до 5000 и более метров над уровнем моря (рисунок 1). Но здесь не отмечена глобальная связь возвышенных форм рельефа с сейсмичностью по причине низкой плотности ледниковых панцирей, покрывающих эти территории.

**СВЯЗЬ СЕЙСМИЧНОСТИ С ИЗБЫТОЧНЫМИ МАССАМИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

Доступность детальных карт цифровых моделей рельефа и гравиметрических карт на обширных территориях, составленные в международных центрах данных по высокоточным глобальным спутниковым съёмкам [4], а также наличие данных по произошедшим землетрясениям позволяют объективно оценить связь сейсмичности с возмущающими избыточными массами геологической среды на территории Центральной Азии.

Для анализа были использованы две основные таблицы сейсмичности по территории Центральной Азии в пределах координат 30–60° СШ и 40–100° ВД. Первая из таблиц включала сведения только по землетрясениям с древнейших времён по 2009 г. с магнитудой  $MLH > 3,5$  [5]. Вторая таблица - сведения по всем землетрясениям за период с 2004 г. по 2017 г., зарегистрированным сетью сейсмических станций Института геофизических исследований (включая и очень слабые, практически неощутимые для человека) [6]. Так как обе таблицы содержали неоднородные значения разных типов магнитуд ( $MPVA$ ,  $mb$ ,  $Ms$ ,  $MLH$ ,  $Mw$  и др.), вычисленных в разные периоды разными способами, для анализа сейсмичности были

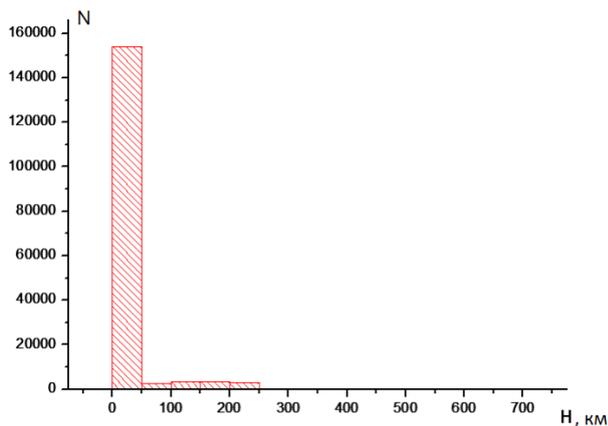
использованы более однородные значения энергетического класса  $K$ , которые имеют прямое отношение к высвобожденной в очаге сейсмической энергии. Если значения энергетического класса отсутствовали, то они вычислялись, исходя из значений магнитуд по определённым формулам. Таблицы сейсмичности были объединены в одну общую для периода с древнейших времён по 2017 г., включившую 207 272 землетрясения.

**Распределения землетрясений Центральной Азии по глубине расположения очагов и энергетическому классу**

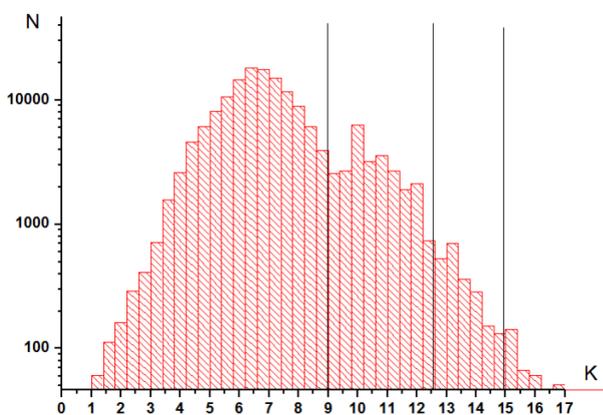
Проведён анализ распределения землетрясений Центральной Азии по глубине расположения очагов и энергетическому классу (рисунок 4).

Из рисунка 4-а видно, что 93 % землетрясений имеют глубину, относящуюся к интервалу 0–50 км, т.е. являются поверхностными или коровыми.

При детализации интервала глубин 0–50 км (рисунок 5-а) оказывается, что подавляющая часть землетрясений распределилась в интервале 0–5 км. Незначительная часть землетрясений – всего 6,8 %, относится к среднефокусным (до глубины 300 км), и только 0,07 % – к глубокофокусным (глубиной более 300 км). Это свидетельствует о том, что большая часть сейсмотектонических процессов происходит практически у поверхности Земли и в земной коре, с глубиной, в верхней мантии, эти процессы затухают. Обращает на себя внимание небольшой пик количества землетрясений (около 5000 событий в разные годы) в интервале глубин 30–35 км, очаги которых распределились над границей Мохо, разделяющей земную кору от верхней мантии (рисунок 5-б).



а) по глубине (через 50 км)



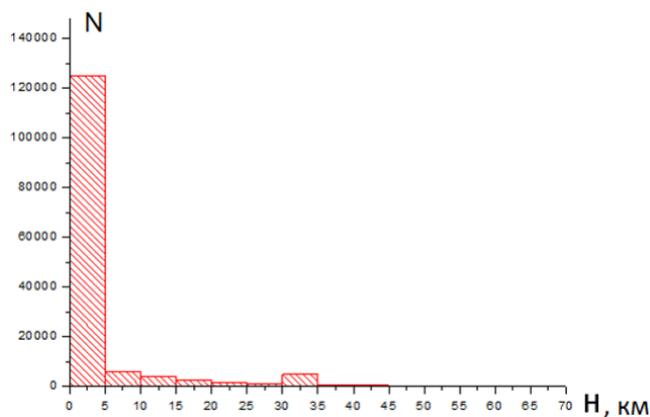
б) по энергетическому классу

Рисунок 4. Гистограммы распределения землетрясений Центральной Азии

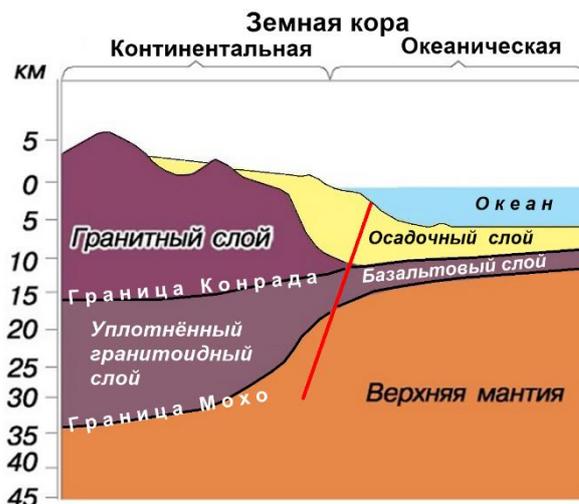
Гистограмма распределения землетрясений Центральной Азии по энергетическому классу (рисунок 4-б) позволяет выделить три группы ощутимых землетрясений: 1) *сильные* –  $K \geq 15$  (с примерными магнитуды  $MLH \geq 6,5$  в количестве 437); 2) *умеренные* –  $K \geq 12,5$  ( $MLH \geq 5,5$  в количестве 2438); 3) *слабые* –  $K \geq 9$  ( $MLH \geq 3,5$  в количестве 27616). Оставшаяся значительная часть слабо ощутимых землетрясений со значениями энергетического класса  $K < 9$  ( $MLH < 3,5$  в количестве 176781), зарегистрированных инструментально преимущественно с 2004 г., отнесена к группе *очень слабых* землетрясений. По каждой выделенной группе проведен временной анализ с построением гистограмм распределения землетрясений по годам и сезонный анализ распределения землетрясений по месяцам года (рисунок 6).

С целью повышения количественной представительности при построении гистограмм временного анализа сильных, умеренных и слабых землетрясений использовались данные, только начиная с 1900 г. Из гистограммы временного анализа для слабых землетрясений (рисунок 6-в) видно, что представительная информация началась с 1960 г., что связано с пе-

реходом на использование более чувствительных сейсмометров. По группе очень слабых землетрясений (рисунок 6-г) регистрируемые данные стали учитываться с 2004 г. Для сезонного анализа использовались все землетрясения по каждой выделенной группе.



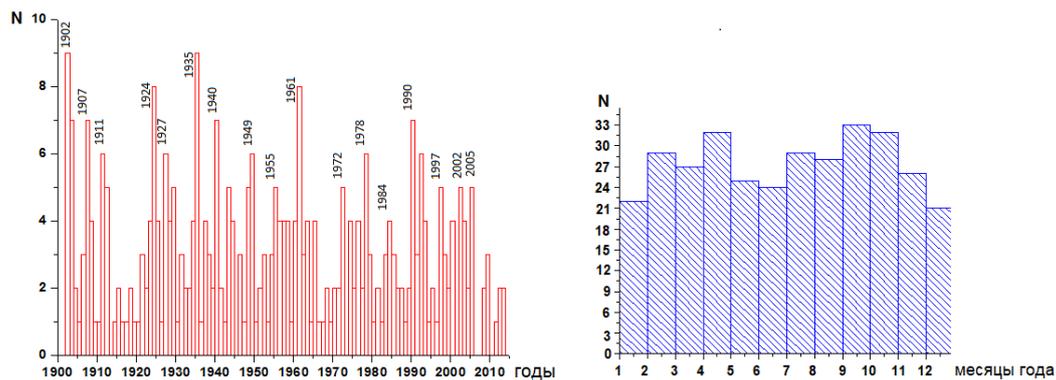
а) по глубине (через 5 км)



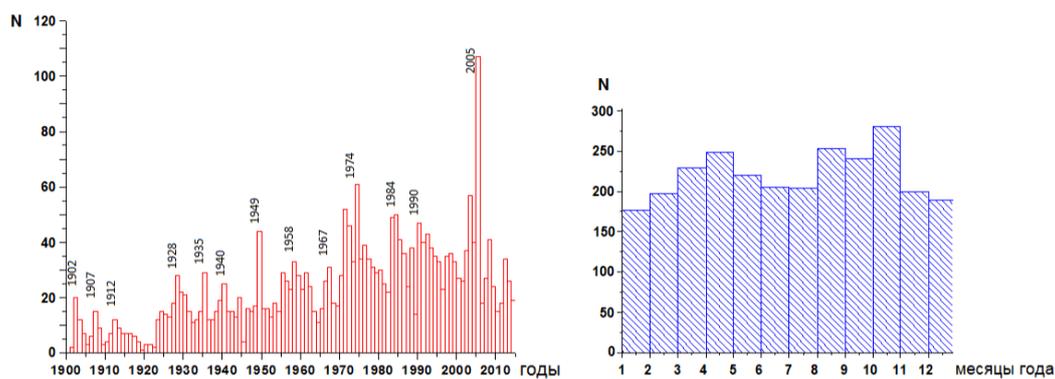
б) строение земной коры над границей Мохо [по Дронову В.П. (с авторскими уточнениями)]

Рисунок 5. Распределение землетрясений по глубинам очагов

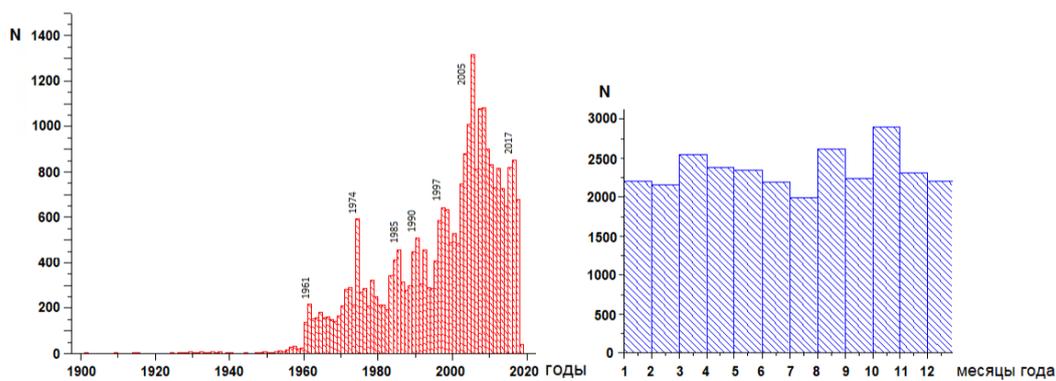
На гистограммах всех групп землетрясений (рисунок 6-а-г) отмечаются всплески количества сейсмических событий, позволяющие судить о периодах сейсмической активности по годам. Так, например, заметны 5–10-летние периоды активности с количественными максимумами в 1961, 1974, 1984, 1990, 2005, 2009, 2017 гг. На гистограммах распределения землетрясений по месяцам года практически по всем группам – от сильных до слабых землетрясений, – можно выделить периоды активизации сейсмичности, связанные с периодами весеннего ускорения (март–апрель–май) и осеннего замедления (август–сентябрь–октябрь) вращения Земли при её годовом перемещении по солнечной орбите.



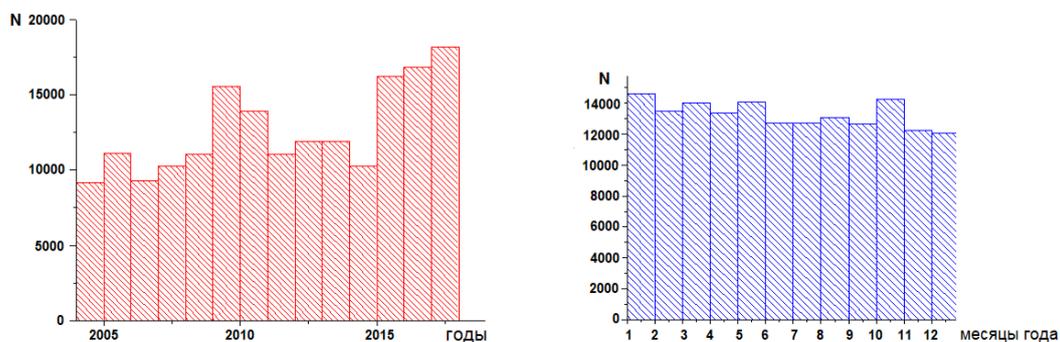
а)  $K \geq 15$



б)  $K \geq 12,5$



в)  $K \geq 9$



г)  $K < 9$

Рисунок 6. Гистограммы временного (по годам) и сезонного (по месяцам) распределения землетрясений Центральной Азии по энергетическим классам

Линейная скорость вращения Земли в зоне экватора равна 495 м/сек. Сезонные замедления и ускорения вращения Земли происходят на величину 5 м/сек. В местах, где напряжённо-деформированное состояние пород достигло критической отметки, сезонное ускорение и замедление вращения Земли, вместе с ежесуточными действиями лунно-солнечных приливных сил, выступают в роли спускового механизма для возникновения землетрясений. В механизмах очагов землетрясений, происходящих в осенний и весенний периоды, должны преобладать взбросо-сдвиги за счёт инерционных подвижек избыточных горных масс, происходящих при ускорении или замедлении вращения Земли. На гистограмме сезонной сейсмичности группы *очень слабых землетрясений* (рисунок 6-г) виден высокий январский количественный всплеск землетрясений. Он связан с увеличением активности ледниковых землетрясений на горных хребтах Тянь-Шаня в зимний период, когда нарастает избыточная масса ледников. Здесь самым холодным месяцем считается февраль, когда температура не поднимается выше  $-30^{\circ}\text{C}$ . Количество ледниковых землетрясений зимой (декабрь–март) достигает 30 и более (до 100–130) событий в сутки при среднегодовом количестве 10–20 событий, из которых большая часть происходит в ночной период при смене температурного режима.

**Пространственное распределение сейсмичности на картах цифровой модели рельефа и аномалий силы тяжести в свободном воздухе**

Далее было рассмотрено пространственное распределение сейсмичности на картах цифровой модели рельефа (рисунок 7) и аномалий силы тяжести в

свободном воздухе (рисунок 8) с наложением эпицентров землетрясений, произошедших с исторических времён до 2017 г. по Центральной Азии, включающей всю территорию Казахстана и часть территорий сопредельных стран. Сейсмические события с  $K < 5$  около станций для группы очень слабых землетрясений не приняты во внимание для исключения сгусткового распределения событий вокруг действующих сейсмических станций, регистрирующих их с повышенной чувствительностью из-за близкого расстояния.

Пространственный анализ сейсмичности территории Центральной Азии показал, что большая часть зон сближенных эпицентров землетрясений совпадает с возвышенными формами рельефа с избыточной массой геологической среды (рисунок 7), приуроченными к зонам аномалий силы тяжести в свободном воздухе (рисунок 8). Интенсивность сейсмичности по количеству и силе землетрясений зависит от интенсивности высотного и гравиметрического градиентов в зонах быстрого увеличения значений высоты и силы тяжести, а также от размеров этих зон на периферии площадей, занимаемых локализованными объёмами избыточных масс. Основные подвижки блоков пород с избыточной массой, вызывающих землетрясения, могут происходить в зонах активных тектонических разломов, расположенных (или образовавшихся) у подошвы горных возвышений.

Связь сейсмичности с избыточными горными массами геологической среды устанавливается не только в сейсмичных горных районах, но и в других, менее возвышенных, а также на равнинных асейсмичных территориях.

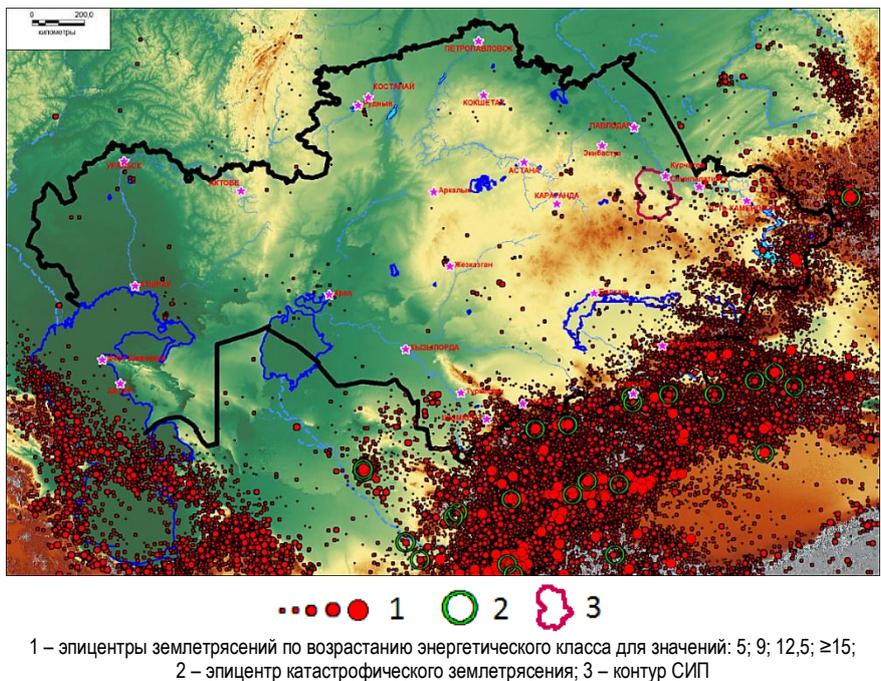


Рисунок 7. Цифровая модель рельефа территории Центральной Азии [http://gis-lab.info/qa/srtm.html] с эпицентрами землетрясений с исторических времён по 2017 г.



ных ископаемых (угля, железных и других руд), где образуются громадные отвалы (как внешние, так и внутренние) избыточной массы рыхлых вскрышных пород. Отвалы периодически находятся под воздействием приливных лунно-солнечных сил с увеличенной амплитудой вертикальных смещений из-за их рыхлости, что также приводит к дестабилизации недр на глубине. В районе г. Рудного регистрируются ощутимые землетрясения, связанные, по всей видимости, с добычей железных руд в глубоких карьерах и с громадными внешними отвалами рыхлых вскрышных пород, избыточная масса которых достигает объёмов искусственно созданных водохранилищ, где также происходят техногенные землетрясения. Известны случаи сильных техногенных землетрясений на Кузбассе на громадных угольных разре-

зах с внутренними отвалами избыточных масс рыхлых вскрышных пород.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Совместный анализ сейсмичности на картах аномалий силы тяжести и цифровой модели рельефа позволяет установить, что как локализованные объёмы более плотных горных пород под дневной поверхностью, так и возвышенные массивы пород различной плотности на дневной поверхности, совпадающие с аномалиями силы тяжести в свободном воздухе, представляют собой гравитационно-возмущающие избыточные массы геологической среды, генерирующие сейсмичность при периодическом действии лунно-солнечных приливных сил, которые приводят породы на глубине в напряжённо-деформированное состояние.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Великанов, А.Е. Учёт гравитационных факторов геологической среды при оценке сейсмической опасности для ядерных установок на территории Семипалатинского полигона / А.Е. Великанов, И.Л. Аристова // Тезисы X Международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий», 06–10 августа 2018 г, г. Алматы. – С. 98–102.
2. GIS-Lab. Описание и получение данных SRTM [Электронный ресурс, 2014]. – Режим доступа: <http://gis-lab.info/qa/srtm.html>.
3. Center for Space Research. At the confluence of science, engineering, space, and high-performance computing [Электронный ресурс, 2018]. – Режим доступа: <https://www.csr.utexas.edu>.
4. International Gravimetric Bureau (BGI). Data/Products [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bgi.omp.obs-mip.fr/data-products>.
5. Mikhailova, N.N. Central Asia earthquake catalogue from ancient time to 2009 / N.N. Mikhailova, A.S. Mukambayev, I.L. Aristova, G. Kulikova, S. Ullah, M. Pilz, D. Bindi // Annal of Geophysics. – 2015. – Vol 58, No 1. – 9 p.
6. Казахстанский национальный центр данных. Каталог землетрясений KNDC [Электронный ресурс, 2018]. – Режим доступа: <http://www.kndc.kz/index.php/ru/sejsmicheskie-byulleteni/automatic-bulletin>.

### ОРТАЛЫҚ АЗИЯ ҮЛГІСІНДЕ ГЕОЛОГИЯЛЫҚ ОРТАНЫҢ АРТЫҚ МАССАЛАРЫМЕН СЕЙСМИКАЛЫЛЫҚТЫҢ БАЙЛАНЫСЫ

А.Е. Великанов, И.Л. Аристова

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Әр тығыздығындағы таужыныстар үстіртері түрінде жер бетінде және, кіші бөлігінде, жер беті астында, жоғары тығыздығымен таужыныстардың шектелген көлемдері түрінде, жер қыртысының *жергіліктелген артық массаларымен* сейсмикалылықтың байланысы туралы деректері мен үлгілері келтіріледі. Бұл байланыстар, жоғары дәлді жерсеріктік түсірулер нәтижелері бойынша алынған белдемнің цифрлық модельдерінің түбегейлі карталары және бос ауада ауырлық күшінің аномалиялары түріндегі геодезиялық және гравиметрлік деректерін қолданып, жаһандық және аймақтық масштабында қарастырылған.

### THE CONNECTION OF SEISMICITY WITH EXCESS MASSES OF THE GEOLOGICAL ENVIRONMENT BY THE EXAMPLE OF CENTRAL ASIA

A.E. Velikanov, I.L. Aristova

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The facts and examples of seismicity connection with localized excess masses of the earth's crust, located both on the earth's surface in the form of different elevations of different density rocks, and to a lesser extent at depths under the day surface in the form of limited volumes of rocks with high density are described. These relationships are shown both globally and regionally for Central Asia using geodetic and gravimetric data in the form of detailed maps of digital elevation models and free-air gravity anomalies obtained from high-precision satellite imagery.

УДК 550.34

## КОЛЬЦЕВЫЕ СТРУКТУРЫ СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ ИРАНА: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

<sup>1)</sup> Копничев Ю.Ф., <sup>2)</sup> Соколова И.Н.

<sup>1)</sup> *Институт физики Земли Российской Академии наук, Москва, Россия*

<sup>2)</sup> *Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Рассмотрен ряд характеристик сейсмичности, в том числе связанных с подготовкой сильных землетрясений, в районе Ирана. Установлено, что перед Эзгелехским землетрясением 12.11.2017 г. ( $M_w=7,3$ ) сформировалась кольцевая структура сейсмичности на глубинах 0–33 км. На основе ранее установленных корреляционных зависимостей пороговых значений магнитуды ( $M_p$ ) и длины больших осей колец сейсмичности  $lgL$  от магнитуды главных событий  $M_w$  для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбрососдвига, преобладающими на большей части территории Ирана, сделана оценка магнитуды сильного события, которое могло готовиться в области кольцевой структуры:  $M_w=7,1\pm 0,1$  для зоны Эзгелехского землетрясения. Выделены крупные кольцевые структуры, формирующиеся на юго-западе, севере и востоке Ирана, в том числе в областях, где неизвестны сильные землетрясения по инструментальным и историческим данным, по крайней мере, с начала XX-го века. По характеристикам этих структур прогнозируются возможные сильные землетрясения с магнитудами  $M_w$ , равными  $7,2\pm 0,3$ ,  $7,1\pm 0,2$  и  $6,6\pm 0,1$  в указанных областях соответственно. Отмечается, что особую опасность может представлять сильное сейсмическое событие, которое, вероятно, готовится на юго-западе Ирана, вследствие близости его очага к АЭС «Бушер». Обсуждаются причины формирования кольцевых структур сейсмичности.

### ВВЕДЕНИЕ

Перед многими сильными внутриконтинентальными землетрясениями в литосфере формируются кольцевые структуры сейсмичности [1-5]. Такие структуры проявляются главным образом в диапазоне глубин 0–33 км, но в некоторых случаях (например, в районе Памира) – также на глубинах 34–70 км [6]. (Отметим, что в нескольких континентальных районах выделяются также глубокие полосы сейсмичности [4, 5]). Кольцевые структуры обычно имеют форму, близкую к эллипсам, они характеризуются пороговыми значениями магнитуд  $M_p$  и длинами больших осей ( $L$ ). Установлено, что эти величины коррелируются с магнитудами главных событий  $M_w$ , при этом корреляционные зависимости существенно различаются для разных типов механизмов в очаге [2]. Длительность формирования кольцевых структур  $T_p$ , как правило, не превышает 45 лет, в среднем она равна  $25\pm 5$  годам [2]. Имеющиеся данные показывают, что по параметрам кольцевых структур можно оценивать магнитуды готовящихся сильных землетрясений [4–7]. Кроме того, текущие величины  $T_p$ , вероятно, могут быть использованы для целей среднесрочного прогноза сейсмических событий. В данной статье проводится изучение характеристик кольцевых структур в районе Ирана, как сформировавшейся перед сильным землетрясением в начале XXI-го века, так и проявившихся в последние десятилетия в областях, где по историческим данным не отмечены события с  $M\geq 7,0$ .

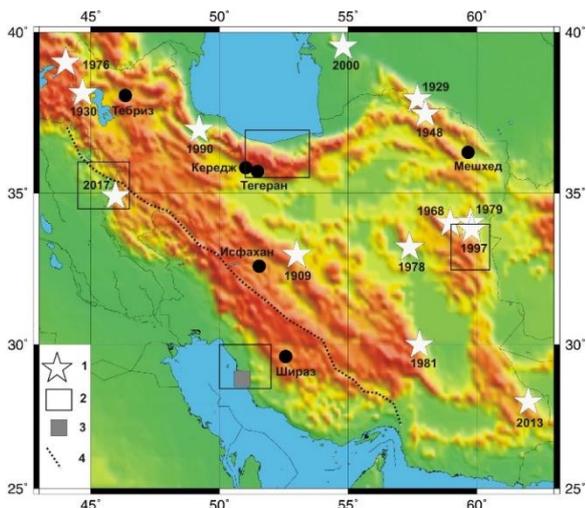
### ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

Иран представляет одну из наиболее сейсмически активных внутриконтинентальных областей земного шара. Это связано с его положением в зоне шириной

~1000 км, расположенной между сталкивающимися Евразийской и Аравийской плитами. Начиная с 1900 г. здесь зарегистрировано 11 сильных землетрясений с  $M_w\geq 7,0$  [8, 9] (рисунок 1, таблица 1). Очаги этих событий связаны с активными разломами взбросового или сдвигового типов, расположенными главным образом на северо-западе, юге и востоке Ирана (самый крупный из них, Главный Загросский надвиг, представлен на рисунке 1). На рисунке 1 нанесены также эпицентры трех сильных землетрясений, произошедших в 1929, 1948 и 2000 гг. на территории Туркмении, вблизи от границ Ирана. Глубины гипоцентров сильных событий обычно не превышают 30 км, и лишь для землетрясения 16.04.2013 г. эта величина составила 80 км.

Таблица 1. Сильные землетрясения в районе Ирана

Дата	°N	°E	h, км	$M_w$
23.01.1909	33,00	53,00		7,0
01.05.1929	37,96	57,69	25	7,1
06.05.1930	38,15	44,69	25	7,1
05.10.1948	37,50	58,00		7,2
31.08.1968	34,04	58,96	12	7,2
24.11.1976	39,08	44,03	9	7,0
16.09.1978	33,24	57,38	3	7,4
27.11.1979	34,06	59,76	7	7,1
28.07.1981	29,99	57,77	14	7,3
20.06.1990	37,01	49,21	18	7,4
10.05.1997	33,83	59,80	12	7,2
06.12.2000	39,57	54,80	30	7,0
16.04.2013	28,03	62,00	80	7,7
12.11.2017	34,91	45,96	19	7,3



1 –  $M_w \geq 7,0$  (с годом события). 2 – области, в которых выделены кольцевые структуры; 3 – АЭС «Бушер»; 4 – Главный надвиг Загроса. Указаны города с населением более 1 млн. чел.

Рисунок 1. Эпицентры сильных землетрясений района Ирана, начиная с 1900-го года

**ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ**

При анализе данных использовались главным образом каталоги NEIC (National Earthquake Information Center) Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey), начиная с 1973 г.

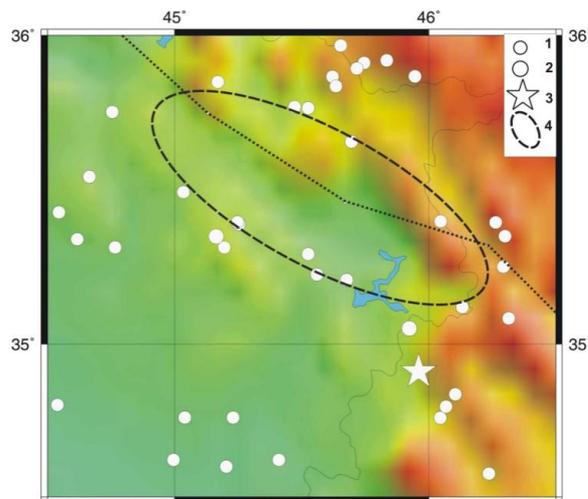
Методика выделения кольцевых структур описана ранее [2, 6, 10]. Здесь мы только заметим, что суть ее заключается в выделении таких структур в диапазоне глубин 0–33 км, которые характеризуются пороговыми значениями магнитуд ( $M_{p1}$ ) и длинами больших осей ( $L$ ). Кроме того, рассматриваются параметры сейсмичности на глубинах 34–70 км (в этом диапазоне выделяются либо кольцевые структуры (с пороговыми значениями магнитуд  $M_{p2}$  и длинами больших осей  $l$ ), либо линейные полосы сейсмичности).

**АНАЛИЗ ДАННЫХ**

**Северо-западная область**

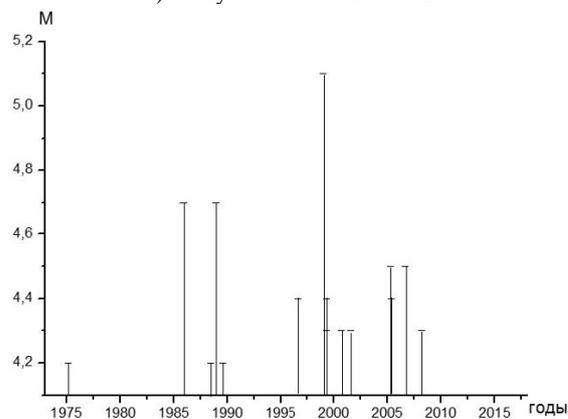
Рассмотрим сначала данные о сейсмичности перед сильным землетрясением 12.11.2017 г. ( $M_w=7,3$ ), которое произошло на ирано–иракской границе и привело к самым большим разрушениям в иранской провинции Керманшах. Наибольшие сотрясения (VIII баллов по шкале Меркалли) имели место в населенном пункте Эзгелех. Землетрясение ощущалось по всему Ближнему Востоку и в некоторых других регионах. В результате этого события, по меньшей мере, 600 человек погибли, более 10000 получили ранения (самое смертоносное землетрясение 2017 г. на всем земном шаре).

На рисунке 2-а представлены данные о сейсмичности в области на границе Ирака и Ирана, ограниченной координатами 34,5–36,0° N, 44,5–46,5° E, за

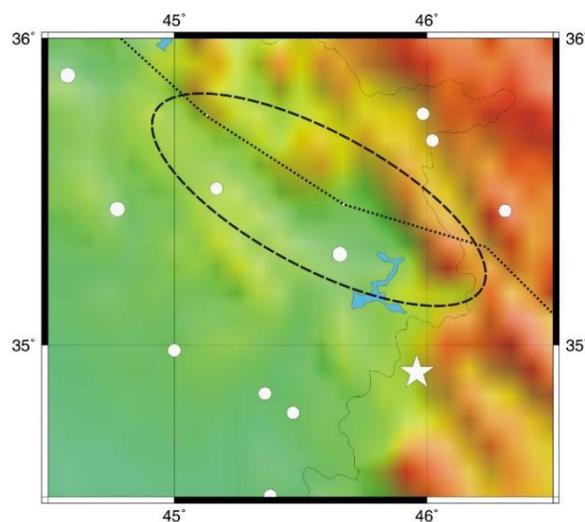


Эпицентры землетрясений: 1 –  $M=4,2-4,9$ , 2 –  $M=5,0-5,9$ ; 3 – эпицентр Эзгелехского землетрясения; 4 – кольцевая структура

а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость магнитуд событий от времени в области кольцевой структуры



Малый кружок –  $M=4,4-4,9$ ; остальные обозначения – на рисунке 2-а; в) элементы глубокой сейсмичности

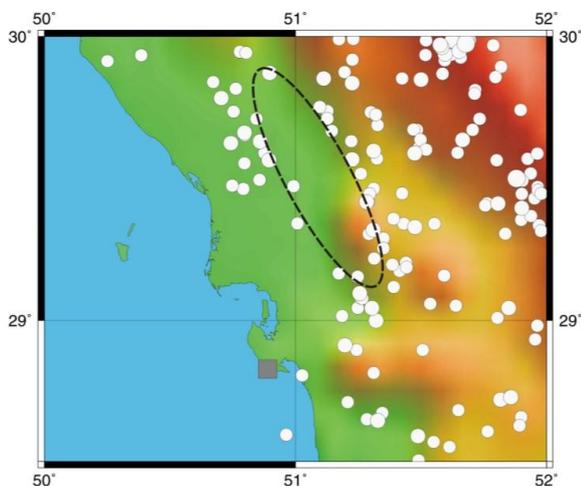
Рисунок 2. Зона очага Эзгелехского землетрясения (12.11.2017 г.,  $M_w=7,3$ ). Кольцевые структуры и зависимость магнитуд событий от времени

период с 01.01.1973 по 11.11.2017 гг. Здесь перед Эзгелехским землетрясением четко проявилась крупная кольцевая структура ( $M_{п1}=4,2$ ,  $L\sim 130$  км), вытянутая в северо-западном направлении, параллельно Главному надвигу Загроса. Структура сформировалась в 1975–2008 гг., величина  $T_{п}$  составляет около 42 лет (рисунок 2-б). При этом наибольшая магнитуда в области структуры соответствует событию 1999 г. ( $M_{max}=5,1$ ). Эпицентр главного землетрясения находится вне кольца сейсмичности, на расстоянии около 25 км от его южной границы, что в несколько раз меньше размеров кольца. В данном случае в 1974–2006 гг. проявилась полоса относительно глубокофокусных событий ( $h=34-70$  км,  $M=4,4-5,0$ ), простирающаяся в северо-северо-восточном направлении, которая пересекает мелкое кольцо и проходит на расстоянии около 40 км от эпицентра сильного землетрясения (рисунок 2-в).

В остальных трех областях рассматривались элементы сейсмичности за период с 01.01.1973 по 01.04.2018 гг.

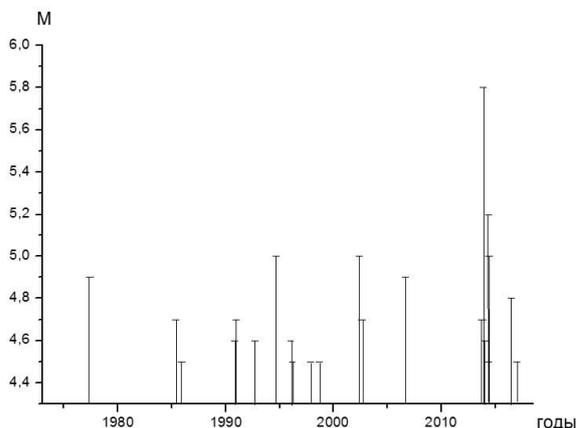
**Юго-западная область**

Рисунок 3-а иллюстрирует характеристики сейсмичности в области юго-западного Ирана, ограниченной координатами  $28,5-30,0^{\circ}$  N,  $50-52^{\circ}$  E, в которой находится важнейший энергетический объект страны – АЭС «Бушер». В этой области в период 1977–2016 гг. образовалась узкая мелкая кольцевая структура, ориентированная в направлении на северо-северо-запад ( $M_{п1}=4,5$ ,  $L\sim 95$  км). Текущее время ее формирования  $T_{п}$  – около 41 года (рисунок 3-б). Самая большая магнитуда в области кольца сейсмичности соответствует событию 2013 г. ( $M_{max}=5,8$ ).

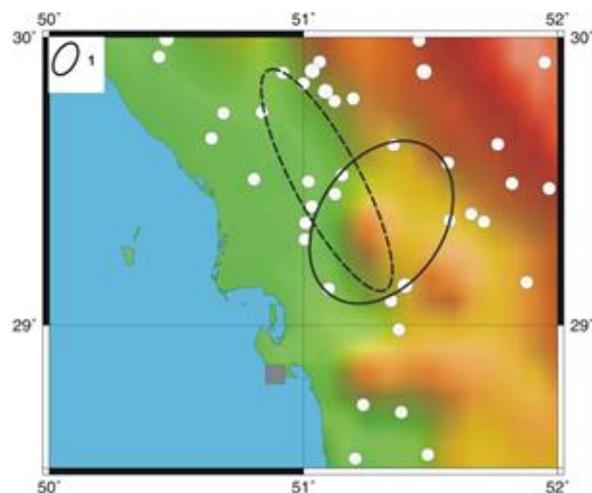


Кружки: малый -  $M=4,5-4,9$ , самый большой -  $M=6,0-6,7$ ; остальные обозначения – на рисунках 1 и 2-а.

а) неглубокая сейсмичность

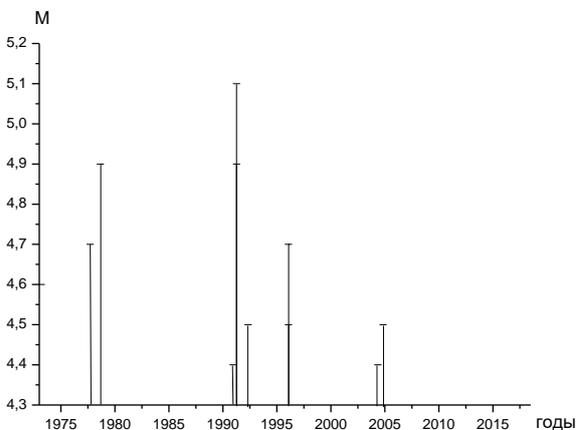


б) зависимость магнитуд событий от времени в области неглубокой кольцевой структуры



Малый кружок -  $M=4,4-4,9$ ; 1 - глубокая кольцевая структура; остальные обозначения – на рисунках 1 и 3-а

в) элементы глубокой сейсмичности



г) зависимость магнитуд событий от времени в области глубокой кольцевой структуры

Рисунок 3. Юго-западная область. Сейсмичность и зависимость магнитуды событий от времени

Отметим, что сумма магнитуд землетрясений в единицу времени может служить грубой мерой скорости сеймотектонической деформации (СТД).

Из рисунка 3-б видно, что наблюдается резкий рост скорости СТД в 2013–2016 гг. На рисунке 3-в показаны эпицентры глубоких землетрясений. В данном случае сформировалась кольцевая структура, вытянутая в северо-восточном направлении ( $M_p2=4,4$ ,  $L\sim 70$  км), которая пересекает южную часть мелкого кольца. Отметим, что западная область пересечения мелкого и глубокого колец сейсмичности находится на расстоянии около 60 км от АЭС «Бушер». Структура проявилась в 1977–2004 гг. (рисунок 3-г), наибольшая магнитуда в области глубокого кольца соответствует землетрясению 1991 г. ( $M_{max}=5,1$ ).

**Северная область**

На рисунке 4-а представлены характеристики неглубокой сейсмичности в области северного Ирана, расположенной к северо-востоку от Тегерана. Здесь в 1973–2018 гг. сформировалась кольцевая структура ( $M_p1=4,3$ ,  $L\sim 95$  км), вытянутая в северо-западном направлении. Минимальное расстояние от контура кольца до столицы Ирана составляет около 70 км. Наибольшая магнитуда в области структуры соответствует землетрясению 1990 г. ( $M_{max}=6,0$ ). Отметим, что на границу кольца сейсмичности попадает также эпицентр сильного землетрясения 02.07.1957 г. ( $M=6,6$ ). Из рисунка 4-б следует, что наблюдается небольшой рост скорости СТД, начиная с 2008 г. На рисунке 4-в показаны элементы глубокофокусной сейсмичности (отобраны все события с  $M\geq 4,0$ ). На карте выделяется полоса эпицентров северо-западного простирания ( $M=4,5-5,1$ ,  $h=36-48$  км), пересекающая неглубокое кольцо на севере и востоке.

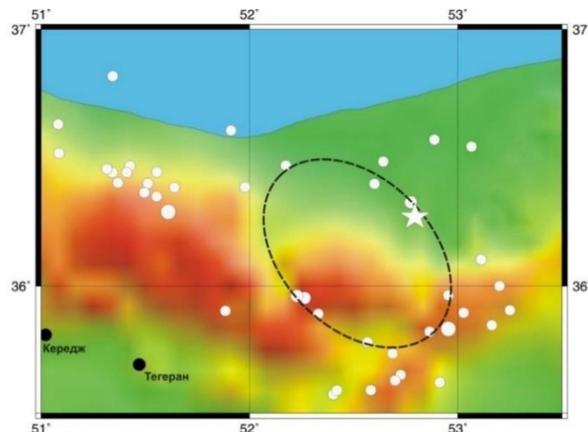
**Восточная область**

Рисунок 5-а иллюстрирует элементы неглубокой сейсмичности в области восточного Ирана, ограниченной координатами  $32,5-34,0^\circ N$ ,  $59,0-60,5^\circ E$ . Здесь выделяется четко выраженная кольцевая структура ( $M_p1=4,1$ ,  $L\sim 110$  км), ориентированная в северо-западном направлении и расположенная к югу от очагов сильных землетрясений 1979 ( $M_w=7,1$ ) и 1997 гг. ( $M_w=7,2$ ). Начало формирования кольцевой структуры относится к 1983 г., текущее время ее образования составляет около 35 лет. Наибольшая магнитуда ( $M_{max}=5,8$ ) соответствует землетрясению 2012 г., максимальные скорости СТД наблюдались в 2008–2017 гг. (рисунок 5-б). В рассматриваемой области поблизости от мелкого кольца начиная с 1973 г. не зарегистрировано глубоких событий с  $M\geq 3,5$ , так что заведомо не сформировалось ни полос эпицентров, ни тем более кольцевых структур.

**Оценка магнитуд возможных сильных землетрясений по характеристикам кольцевых структур**

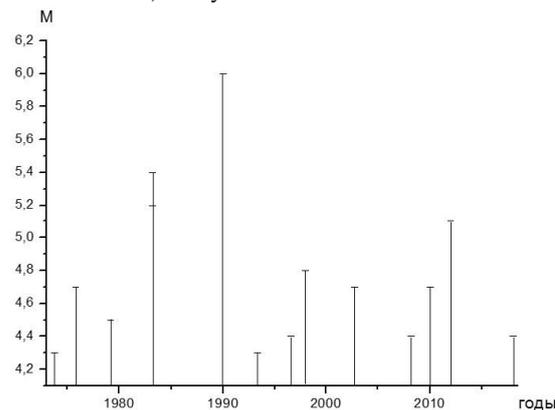
В [2] получены корреляционные зависимости величин  $L$  и  $M_p1$  от магнитуды главных событий для

внутриконтинентальных землетрясений с различными типами подвижек в очаге. В рассматриваемых областях преобладают события с механизмами типа взброса или взбрососдвига (на западе, юго-западе и севере Ирана), а также сдвига (на востоке Ирана) [9, 11].

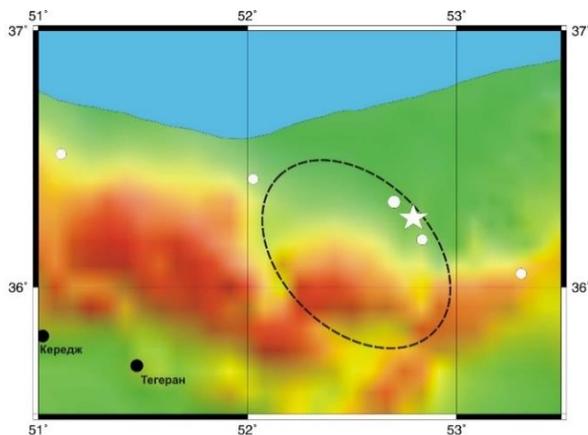


Малый кружок -  $M=4,3-4,9$ ; звездочка - эпицентр землетрясения 02.07.1957 г. ( $M=6,6$ ); остальные обозначения – на рисунках 2-а и 3-а.

а) неглубокая сейсмичность



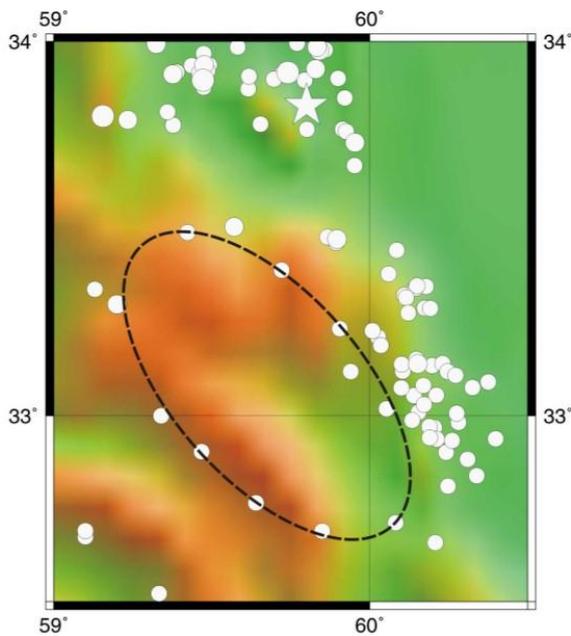
б) зависимость магнитуд событий от времени в области кольцевой структуры



Малый кружок -  $M=4,5-4,9$ ; остальные обозначения – на рисунке 4-а

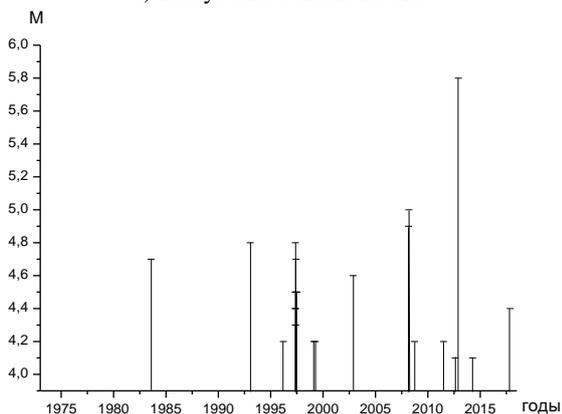
в) глубокая сейсмичность

Рисунок 4. Северная область. Сейсмичность и зависимость магнитуд событий от времени



Малый кружок -  $M=4,1-4,9$ ; остальные обозначения – на рисунках 1, 2-а и 3-а

а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость магнитуд событий от времени в области кольцевой структуры

Рисунок 5. Восточная область. Сейсмичность и зависимость магнитуд событий от времени

Для этих типов подвижек в очаге получены соответственно следующие зависимости:

$$\lg L(\text{км}) = -1,11 + 0,45M_w, r=0,85 \quad (1)$$

$$M_{п1} = -0,92 + 0,73M_w, r = 0,77 \quad (2)$$

$$\lg L(\text{км}) = -1,12 + 0,49 M_w, r=0,94 \quad (3)$$

$$M_{п1} = -0,17 + 0,64M_w, r=0,67, \quad (4)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

По формулам (1)–(4) были оценены магнитуды сильных землетрясений, которые могут соответствовать описанным выше неглубоким кольцевым структурам (таблица 2).

Из таблицы 2 следует, что по параметрам кольца сейсмичности, сформировавшегося перед Эзгелехским землетрясением, можно было спрогнозировать подготовку события с  $M_w=7,1\pm 0,1$ .

Таблица 2. Оценки магнитуд землетрясений, соответствующих параметрам кольцевых структур

Область		L, км	M <sub>п1</sub>	M <sub>w</sub> (L)	M <sub>w</sub> (M <sub>п1</sub> )	M <sub>w</sub>
N	E					
34,5-36,0	44,5-46,5	130	4,2	7,2	7,0	7,1±0,1
28,5-30,0	50,0-52,0	95	4,5	6,9	7,4	7,2±0,3
35,5-37,0	51,5-53,5	95	4,3	6,9	7,2	7,1±0,2
32,5-34,0	59,0-60,5	110	4,1	6,5	6,7	6,6±0,1

Полученная оценка достаточно близка к реальной магнитуде этого землетрясения. Для двух областей: на юго-западе и севере Ирана, – (механизмы типа взброса или взбрососдвига) можно ожидать событие с  $M_w$  около 7, а на востоке (для сдвигового типа подвижки) – несколько более слабое землетрясение.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Ирана, как и во многих других континентальных районах [1–5], перед сильными землетрясениями формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. Кроме того, здесь в некоторых случаях проявляются глубокие кольцевые структуры или полосы сейсмичности (на глубинах 34–70 км). Ранее [1, 12] было показано, что кольцевые структуры сейсмичности коррелируются с аномалиями высокого поглощения короткопериодных S-волн в литосфере, в том числе в районах, где отсутствует современный вулканизм, что говорит о связи таких структур с относительно высоким содержанием глубинных флюидов. Можно полагать, что кольца сейсмичности служат отражением процессов самоорганизации геологических систем [13], ведущих, в конечном счете, к уменьшению потенциальной энергии Земли в результате подъема легкой жидкой фазы. Отсутствие глубоких колец сейсмичности в большинстве континентальных районов, скорее всего, связано со значительно меньшим содержанием свободных флюидов в литосфере континентов по сравнению с зонами субдукции, где происходит дегидратация пород океанической коры [14].

Проведенный анализ показывает, что перед разрушительным Эзгелехским землетрясением, которое в очередной раз оказалось совершенно неожиданным для сейсмологов, сформировалась неглубокая кольцевая структура. Существенно, что оценка магнитуды этого события, полученная по параметрам кольца сейсмичности, близка к реальной величине, соответствующей данному событию (ранее пример соответствия магнитуды недавнего сильного события параметрам кольцевых структур был продемонстрирован также для Памирского землетрясения 07.12.2015 г. ( $M_w=7,2$ ) [6]). Длительность формирования кольца сейсмичности близка к максимальным величинам, полученным для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбрососдвига ( $T_p \sim 45$  лет [2, 4]). В связи с этим есть основания полагать, что своевременное использование информации о кольцевой активности могло быть полезным

для среднесрочного прогноза этого сильного сейсмического события.

Необходимо подчеркнуть, что нами выделены четко выраженные кольцевые структуры в области на юго-западе Ирана, где в историческое время не проявилось сильных землетрясений с  $M \geq 6,5$ . Текущая длительность формирования неглубокой структуры в этой области снова близка к максимальным величинам  $T_p$ , полученным в [2, 4]). Важно отметить, что поблизости от этих структур находится крупнейший энергетический объект Ирана – АЭС «Бушер». Несмотря на то, что АЭС строилась с учетом высокой сейсмичности территории Ирана, следует иметь в виду возможность реализации в этой области достаточно сильного события в ближайшие годы.

В двух других областях зарегистрированы сильные землетрясения во второй половине XX-го века. В северной области такое событие произошло в 1957 г. ( $M=6,6$ ), а в восточной – в 1997 г. ( $M_w=7,2$ ). В одной из этих областей (на севере) проявилась полоса глубокой сейсмичности, как и в некоторых других континентальных районах, в частности, на Балканах и в Восточном Тянь-Шане [4, 5]. Ранее [2, 4, 5, 10, 12, 15, 16,] было показано, что эпицентры многих сильных землетрясений (в том числе и в зонах субдукции) располагаются вблизи областей пересечения или касания мелких колец с глубокими кольцами сейсмичности или с полосами сейсмичности. По нашему мнению, данный эффект объясняется наибольшей мощностью двухфазного слоя с заметной долей флюидов в таких областях. В случае, если флюиды формируют связную сеть, на кровле двухфазного слоя наблюдается концентрация напряжений, причем величина избыточных напряжений пропорциональна мощности слоя [17, 18]. Это может служить триггерным эффектом, приводящим к подвижкам при сильном землетрясении. По аналогии с другими районами [4, 5] можно ожидать, что эпицентры готовящихся событий будут находиться вблизи областей пересечения мелких колец с глубокими кольцами или полосами сейсмичности. Для уточнения положения возможных очаговых зон целесообразно также привлечение палеосейсмических данных (в том числе получаемых методом тренчинга [19, 20]).

Учитывая полученные данные, в исследованных областях целесообразно проводить постоянный мониторинг геодинамических процессов геофизическими и геохимическими методами с целью среднесрочного прогноза возможных сильных землетрясений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев, Ю.Ф. О корреляции характеристик сейсмичности и поля поглощения S-волн в районах кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканонология и сейсмология. – 2010. – № 6. – С. 34–51.
2. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся в континентальных районах перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования. – 2013. – Т. 14, № 1. – С. 5–15.
3. Копничев, Ю.Ф. Характеристики поля поглощения S-волн в очаговых зонах двух сильных землетрясений Южной Азии и их связь с сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – Вып. 1. – С. 79–85.

Особую опасность будет представлять событие, которое может произойти на юго-западе Ирана вблизи крупнейшего энергетического объекта – АЭС «Бушер». Можно полагать, что в ближайшие годы наиболее вероятны сильные землетрясения в юго-западной и восточной областях, поскольку здесь в последнее десятилетие особенно резко выросли скорости СТД, аналогично данным, полученным перед рядом сильных событий в различных районах [1, 3–5, 16].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение некоторых характеристик сейсмичности в районе Ирана позволило установить, что перед разрушительным Эгзелехским землетрясением 12.11.2017 г. ( $M_w=7,3$ ) сформировалась кольцевая структура сейсмичности на глубинах 0–33 км. Как и в других районах, неглубокие кольца сейсмичности характеризуются пороговыми значениями магнитуд ( $M_{p1}$ ) и длинами больших осей ( $L$ ). Ранее были получены корреляционные зависимости величин  $M_{p1}$  и  $IgL$  от магнитуды главных событий  $M_w$  для внутриконтинентальных землетрясений с подвижками типа взброса (взбрососдвига) и сдвига, преобладающими на большей части территории Ирана. На основе этих зависимостей сделана оценка магнитуды сильного события, которое могло готовиться в области кольцевой структуры:  $M_w=7,1 \pm 0,1$  для зоны Эгзелехского землетрясения (с механизмом типа взбрососдвига). Эта оценка достаточно близка к реальной магнитуде указанного события. Выделены крупные кольцевые структуры, формирующиеся на юго-западе, севере и востоке Ирана, в том числе в тех областях, где неизвестны сильные землетрясения по инструментальным и историческим данным, по крайней мере, с начала XX-го века. По параметрам этих структур оценены магнитуды возможных сильных землетрясений:  $M_w=7,2 \pm 0,3$ ,  $M_w=7,1 \pm 0,2$  и  $M_w=6,6 \pm 0,1$  в указанных областях соответственно. Особую опасность может представлять сильное сейсмическое событие, которое, вероятно, готовится на юго-западе Ирана, вследствие близости его очага к АЭС «Бушер». Предполагается, что формирование кольцевых структур есть следствие процессов самоорганизации геологических систем, связанных с подъемом глубинных флюидов. Полученные данные свидетельствуют о том, что методы анализа кольцевых структур могут быть использованы для прогноза мест и магнитуд сильных землетрясений в других континентальных районах.

4. Копничев, Ю.Ф. Анализ кольцевых структур сейсмичности в литосфере Восточного Тянь-Шаня: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник КазНИИСА. – 2017. – № 1. – С. 16–31.
5. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в районе северной Греции: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник КазНИИСА. – 2017. – № 4. – С. 31–46.
6. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в областях Сарезского и Нурекского водохранилищ (Таджикистан): адаптация литосферы к дополнительной нагрузке / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера. – 2016. – Т. 15. – № 4. – С. 64–76.
7. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения S-волн и кольцевые структуры сейсмичности в районе Байкальской рифтовой зоны / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – Вып. 4. – С. 33–41.
8. Shoja-Taheri, J. Seismicity of the Iranian plateau and bordering regions / J. Shoja-Taheri, M. Niazi // Bull. Seism. Soc. Am. 1981. – V. 71. – P. 477–489.
9. Ekström, G. The global CMT project 2004-2010: centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes / G. Ekström, M. Nettles, A. Dziewonski // Phys. Earth Planet. Inter. – 2012. – V. 200. – P. 1–9. doi:10.1016/j.pepi.2012.04.002.
10. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся перед сильными и сильнейшими землетрясениями на западе и востоке Тихого океана / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические процессы и биосфера, 2018. – Т. 17. – № 1. – С. 64–76.
11. Dziewonski, A. Determination of earthquake source parameters from waveform data for studies of global and regional seismicity / A. Dziewonski, T.-A. Chou, J. Woodhouse // J. Geophys. Res. – 1981. – V. 86. – P. 2825–2852. – Doi:10.1029/JB086iB04p02825.
12. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе очага землетрясения Мауле (Чили, 27.02.2010, Mw=8,8) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования. – 2011. – Т. 12. – № 3. – С. 22–33.
13. Летников, Ф.А. Синергетика геологических систем. / Ф.А. Летников. – Новосибирск: Наука. – 1992. – 229 с.
14. Yamazaki, T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab / T. Yamazaki, T. Seno // J. Geophys. Res. – 2003. – V. 108. – N B4. – doi: 10/1029/2002JB001918.
15. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. – 2009. – Т. 429. – № 1. – С. 106–109.
16. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе северного Чили и успешный прогноз места и магнитуды землетрясения Икике 01.04.2014 г. (Mw=8,2) / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2015. – Вып. 4. – С. 153–159.
17. Каракин, А.В. Гидродинамика и структура двухфазной астеносферы / А.В. Каракин, Л.И. Лобковский // ДАН СССР. – 1982. – Т. 268, № 2. – С. 324–329.
18. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T. Gold, S. Soter // Pure Appl. Geophys. – 1984/1985. – V. 122. – P. 492–530.
19. Рогожин, Е.А. О соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на Северном Кавказе / Е.А. Рогожин, А.Г. Гурбанов, А.В. Мараханов, А.Н. Овсяченко, А.В. Спиридонов, Е.Е. Бурканов // Физика Земли. – 2005. – № 3. – С. 33–46.
20. Рогожин, Е.А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия / Е.А. Рогожин // Рос. журнал наук о Земле. – 2000. – Т.2. – № 1.

## ИРАН АУДАНЫНДАҒЫ СЕЙСМИКАЛЫҚТЫҢ САҚИНАЛЫ ҚҰРЫЛЫМДАРЫ: ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ЫҚТИМАЛ ДАЙЫНДАЛУЫ

<sup>1)</sup> Ю.Ф. Копничев, <sup>2)</sup> И.Н. Соколова

<sup>1)</sup>Ресей Ғылыми академиясының жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей

<sup>2)</sup> Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан

Сейсмикалылықтың бір қатар сипаттамалары қарастырылған, соның ішінде Иран ауданында қатты жерсілкінулер дайындаумен байланыстылары. 2017 ж. 11.12-сіндегі Эзгелех жерсілкінуі (Mw=7,3) алдында 0–33 км тереңдіктерінде сейсмикалылықтың сақиналы құрылымы қалыптастырылғаны анықталған. Иран аумағының көп жағында басым болатын қаусырма және қаусырма-ығыспа түріндегі механизмдерімен континент ішіндегі жерсілкінулер үшін магнитуданың табалдырық мәндері (M<sub>p</sub>) мен эллипстердің үлкен өсінің ұзындықтары басты оқиғалардың магнитудаларынан Mw бұрын анықталған корреляциялық тәуелдіктері негізінде, сақиналы құрылым облысында дайындалуы мүмкін, қатты оқиғаның магнитудасын бағалауы жасалған: Mw=7,1±0,1 Эзгелех жерсілкіну зонасы үшін. Иранның оңтүстік-батысы, солтүстігі мен шығысында, соның ішінде, жоқ дегенде XX ғасырдың басынан инструменталды және тарихи деректері бойынша қатты жерсілкінулер беймәлім облыстарында, қалыптастырылып жатқан ірі сақиналы құрылымдар айқындалған. Бұл құрылымдардың сипаттамалары бойынша айтылған облыстарына сәйкес магнитудасы Mw=7,2±0,3, Mw=7,1±0,2 және Mw=6,6±0,1 қатты жерсілкінулеріне болжам жасалады. Иранның оңтүстік-батысында, оның ошағы «Бушер» АЭС жақын болуына байланысты, ықтимал дайындалудағы қатты сейсмикалық оқиға ерекше қауіпті болуы мүмкін. Сейсмикалылықтың сақиналы құрылымдары қалыптастырылу себептері талқыланады.

**RING-SHAPED SEISMICITY STRUCTURES IN THE REGION OF IRAN:  
POSSIBLE PREPARATION FOR LARGE EARTHQUAKES**

<sup>1)</sup> Yu.F. Kopnichev, <sup>2)</sup> I.N. Sokolova

<sup>1)</sup> *O.Yu. Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Science, Moscow, Russia*

<sup>2)</sup> *Institute of Geophysical Research Kurchatov, Kazakhstan*

We have been studying some seismicity characteristics in the region of Iran including those connected with preparation for large earthquakes. It was established that ring-shaped seismicity structure have been formed within depth range of 0-33 km prior to large Ezgeleh earthquake of 12.11.2017 ( $M_w=7,3$ ). Shallow seismicity rings are characterized by threshold magnitude values ( $M_{t1}$ ) and big axis lengths ( $L$ ). Earlier we have obtained correlation dependences of  $M_{t1}$  and  $\lg L$  values on magnitudes of main events  $M_w$  for intracontinental earthquakes with mechanisms of reverse and oblique-reverse faulting, prevailing in the region of Iran. Using these dependences we estimated magnitude of large event which could be prepared in the area of ring structure:  $M_w=7,1\pm 0,1$  for the zone of the Ezgeleh earthquake. Big ring structures were identified at the south-west, north and east of Iran, where large earthquakes are not known according to instrumental and historical data. We estimated magnitudes of possible large earthquakes by characteristics of these structures:  $M_w=7,2\pm 0,3$ ,  $M_w=7,1\pm 0,2$  and  $M_w=6,6\pm 0,1$  in the regions mentioned respectively. Large seismic event, which probably is being prepared within the south-western part of Iran, can represent a special danger due to nearness of it's source to the nuclear power plant "Busher". We discuss the reasons of ring structures formation.

УДК 550.34

## АНАЛИЗ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА: ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

<sup>1)</sup> Копничев Ю.Ф., <sup>2)</sup> Соколова И.Н.

<sup>1)</sup> *Институт физики Земли Российской Академии наук, Москва, Россия*

<sup>2)</sup> *Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Рассмотрены некоторые характеристики сейсмичности района Северного Кавказа, начиная с 1964 г. Установлено, что перед сильным Рачинским землетрясением 29.05.1991 г. ( $M_w=7.0$ ) сформировалась кольцевая структура сейсмичности на глубинах 0–33 км. На основе ранее установленных корреляционных зависимостей пороговых значений магнитуды ( $M_p$ ) и длин больших осей колец сейсмичности  $IgL$  от магнитуды главных событий  $M_w$  для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбрососдвига сделана оценка магнитуды сильного события, которое могло готовиться в области кольцевой структуры. Для зоны Рачинского землетрясения эта величина составила  $M_w=7,1\pm 0,2$ , что достаточно близко к реальной магнитуде данного события. Выделены новые крупные кольцевые структуры, формирующиеся на западной окраине Большого Кавказа и в области Восточного Кавказа, где по инструментальным и историческим данным сильные землетрясения неизвестны. Оценены значения магнитуды возможных сильных землетрясений:  $M_w=7,0\pm 0,2$  и  $M_w=6,9\pm 0,2$  в указанных областях, соответственно. Особую опасность может представлять готовящееся сильное сейсмическое событие на крайнем западе Большого Кавказа, из-за большой плотности населения и близости таких крупных городов, как Краснодар, Новороссийск, Сочи и др. Предполагается, что формирование кольцевых структур является следствием процессов самоорганизации геологических систем, связанных с миграцией глубинных флюидов.

### ВВЕДЕНИЕ

В [1–5] показано, что перед многими сильными внутриконтинентальными землетрясениями в литосфере формируются кольцевые структуры сейсмичности. Такие структуры проявляются главным образом в диапазоне глубин 0–33 км, но в некоторых случаях (например, на Южном Тянь-Шане) – также на глубинах 34–70 км [6]. В некоторых континентальных районах выделяются также глубокие полосы сейсмичности [4, 5]. Кольцевые структуры обычно имеют форму, близкую к эллипсам, они характеризуются пороговыми значениями магнитуд  $M_p$  и длинами больших осей ( $L$ ). Установлено, что эти величины коррелируются с магнитудами главных событий  $M_w$ , при этом корреляционные зависимости существенно различаются для разных типов механизмов в очаге [2]. Длительность формирования кольцевых структур  $T_p$ , как правило, не превышает 45 лет, в среднем она равна  $25\pm 5$  годам [2]. Имеющиеся данные показывают, что по параметрам кольцевых структур можно оценивать магнитуды готовящихся сильных землетрясений [5, 6]. Кроме того, текущие величины  $T_p$ , вероятно, могут быть использованы для целей среднесрочного прогноза сейсмических событий. В данной статье проводится изучение характеристик кольцевых структур в районе Северного Кавказа, как сформировавшейся перед сильным землетрясением конца XX-го века, так и проявившихся в последние годы в областях, где в историческое время не было сильных событий.

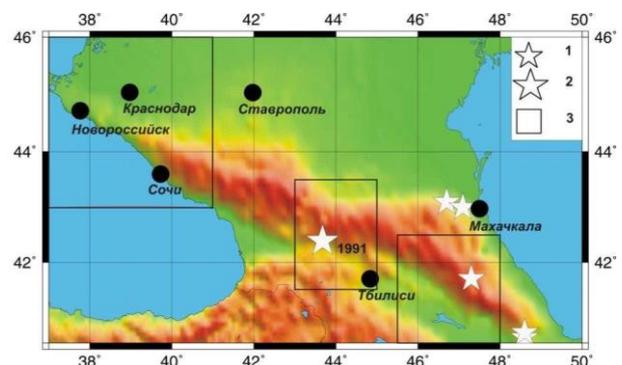
### ИСТОРИЧЕСКАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

Начиная с 1600 г. в пределах Большого Кавказа и его ближайших окрестностей произошло 6 землетрясений с  $M\geq 6,5$  (рисунок 1, таблица 1). Наиболее силь-

ным было Рачинское землетрясение 29.04.1991 г. ( $M_w=7,0$ ), которое сопровождалось двумя афтершоками с  $M_w>6,0$ . Близкие магнитуды приписываются также двум Шемахинским (1667 и 1902 гг.) и Дагестанскому (1830 г.) землетрясениям [8]. Согласно палеосейсмическим данным, средний период повторяемости землетрясений с  $M_w\sim 7,0$  составляет на Северном Кавказе порядка 1,5–2 тыс. лет [9].

Таблица 1. Сильные землетрясения в пределах Большого Кавказа и его ближайших окрестностей

Дата	$\varphi^{\circ}N$	$\lambda^{\circ}E$	M	$M_w$	Название
1667	41,7	47,3	6,5		Мишлешское
1667	40,6	48,6	6,9		Шемахинское
09.03.1830	43,10	46,70	6,8		Дагестанское
13.02.1902	40,7	48,6	6,9		Шемахинское
14.05.1970	43,00	47,09	6,6		Дагестанское
29.04.1991	42,39	43,67	6,9	7,0	Рачинское



1 –  $M=6.5-6.9$ ; 2 –  $M_w=7.0$ ; 3 – области, в которых выделены кольцевые структуры

Рисунок 1. Сильные землетрясения в районе Северного Кавказа с XVII-го века

### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

При исследованиях сейсмичности использовались главным образом каталоги NEIC (National Earthquake Information Center) Геологической службы США (USGS – United States Geological Survey), начиная с 1973 г. При изучении сейсмичности в очаговой зоне Рачинского землетрясения и ее окрестностях дополнительно привлекались данные за 1964–1972 гг. из монографии [8].

Методика выделения кольцевых структур описана ранее [2, 7, 10–12]. Суть ее заключается в раздельном анализе сейсмичности в диапазоне глубин 0–33 км, где выделяются кольцевые структуры, которые характеризуются пороговыми значениями магнитуд ( $M_p$ ) и длинами больших осей ( $L$ ), и в диапазоне глубин 34–70 км, в котором выделяются либо кольцевые структуры, либо линейные полосы сейсмичности.

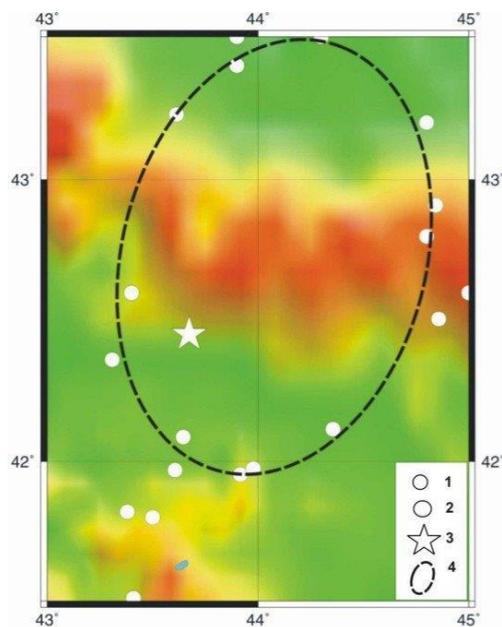
### АНАЛИЗ ДАННЫХ

Рассмотрим сначала данные о сейсмичности перед Рачинским землетрясением 29.04.1991 г. (рисунок 2-а) в области Северного Кавказа, ограниченной координатами 41,5–43,5° N, 43,0–45,0° E, за период с 01.01.1964 по 28.04.1991 гг. Перед этим землетрясением четко проявилась крупная кольцевая структура ( $M_p=4,0$ ,  $L\sim 180$  км), вытянутая в субмеридиональном направлении. Кольцо сейсмичности пересекает весь Большой Кавказ; внутрь него попадает одна из высочайших вершин этой горной системы – г. Казбек. Структура сформировалась в 1966–1991 гг.; наибольшие значения магнитуды соответствуют событиям 1976 и 1978 гг. ( $M=4,8$ ). Эпицентр главного землетрясения находится внутри кольца сейсмичности, на расстоянии около 20 км от его границы. Отметим, что сумма магнитуд землетрясений в единицу времени может служить грубой оценкой скорости сеймотектонической деформации (СТД). Из рисунка 2-б следует, что наибольшая скорость СТД в области кольца сейсмичности наблюдалась в 1976–1987 гг. В данном случае зарегистрировано только одно относительно глубокофокусное событие с  $M\geq 3,5$ , т.е. не сформировалось ни глубокой полосы сейсмичности, ни, тем более, глубокой кольцевой структуры сейсмичности.

### Западный Кавказ

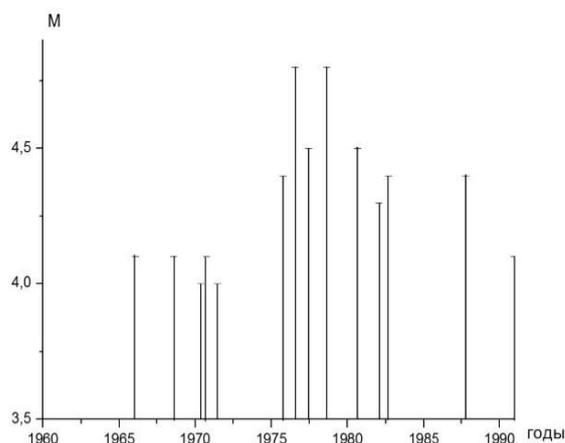
На рисунке 3-а приведены характеристики сейсмичности западной окраины Большого Кавказа. В этой области в период с 01.01.1973 по 01.01.2018 гг. образовалась неглубокая кольцевая структура, ориентированная в направлении на северо-северо-запад ( $M_p=3,8$ ,  $L\sim 180$  км). Большая часть кольца сейсмичности проходит по континентальной области (в Краснодарском крае), а южный край приходится на северную границу Черного моря. Северная часть кольца сейсмичности находится в Индоло-Кубанском краевом прогибе, а юго-западная граничит с Туап-

синским прогибом. Кольцевая структура на юго-востоке пересекает западный фланг Большого Кавказа (между 44,0 и 44,5° N, 39,1 и 39,6° E). Текущее время ее формирования  $T_p$  – около 40 лет. Самая большая магнитуда в области кольца сейсмичности соответствует событию 1978 г. ( $M=5,7$ ). Из рисунка 3-б видно, что максимальные значения скорости СТД имели место в 1978–1985 и 2002–2004 гг. На рисунке 3-в показаны эпицентры глубоких землетрясений. В данном случае зарегистрировано только 5 таких событий ( $M=3,2-4,7$ ,  $h=35-52$  км), 4 из которых формируют субширотную полосу, пересекающую центральную часть мелкого кольца.



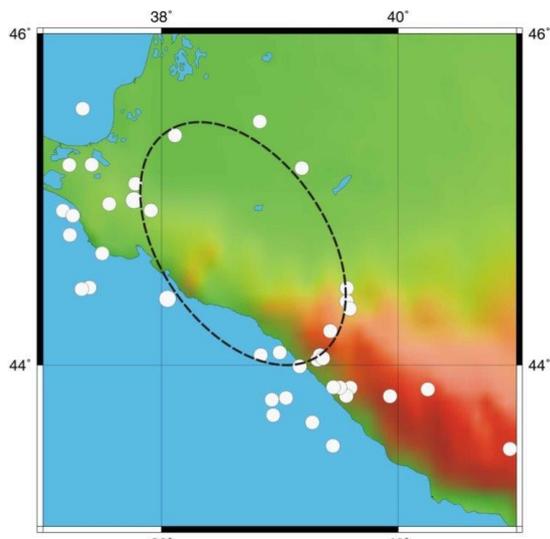
Эпицентры землетрясений: 1 –  $M=4,0-4,9$ ; 2 –  $M\geq 5,0$ ; 3 – эпицентр Рачинского землетрясения; 4 – кольцевая структура

а) неглубокая сейсмичность

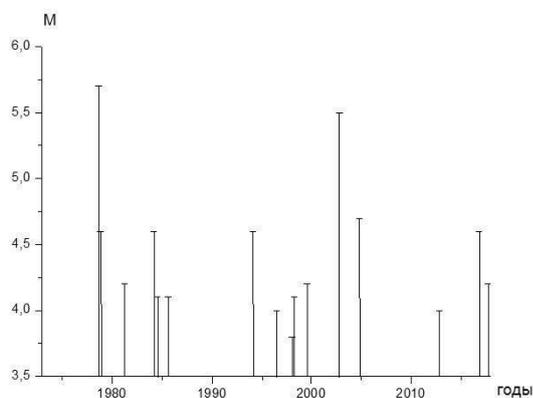


б) зависимость магнитуд событий от времени в области кольцевой структуры

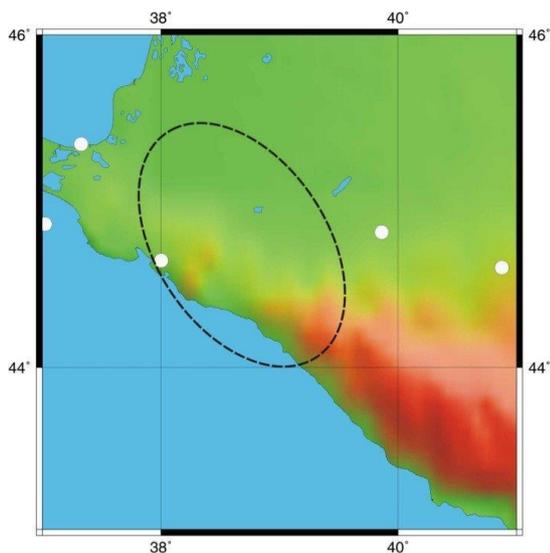
Рисунок 2. Зона очага Рачинского землетрясения (29.04.1991 г.,  $M_w=7,0$ ). Характеристики сейсмичности



Малый кружок –  $M=3,8-4,9$ ; остальные обозначения – на рисунке 2-а  
а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость магнитуд событий от времени в области неглубокой кольцевой структуры



Малый кружок –  $M=3,2-4$ ; остальные обозначения – на рисунке 3-а  
в) элементы глубокой сейсмичности

Рисунок 3. Запад Большого Кавказа.  
Характеристики сейсмичности

### Восточный Кавказ

На рисунке 4-а представлены характеристики сейсмичности к югу от очага Дагестанского землетрясения 14.05.1970 г. ( $M=6,6$ ). Здесь к 01.01.2018 г. сформировалась кольцевая структура ( $M_p=4,1$ ,  $L\sim 100$  км), вытянутая в субмеридиональном направлении. Кольцо сейсмичности расположено на границе между Дагестаном и Азербайджаном; внутри него находятся хребты Самурский и Кябakteпе (с вершинами высотой более 4000 м).

Начало формирования кольцевой структуры относится к 1988 г., текущее время ее образования составляет около 30 лет. Наибольшая магнитуда ( $M_{max}=5,6$ ) соответствует землетрясению 2012 г., максимальные скорости СТД наблюдались в 2012–2017 гг. (рисунок 4-б). Из рисунка 4в следует, что эпицентры глубоких событий в данном случае формируют две полосы, одна из которых ( $M=4,0-5,6$ ,  $h=35-67$  км) касается кольца сейсмичности на северо-западе, вторая ( $M=3,9-5,0$ ,  $h=34-60$  км) пересекает его на юге и юго-западе. Из сопоставления рисунков 3в и 4в следует, что в области восточного кольца гораздо ярче проявилась глубокофокусная сейсмичность, чем в области западного.

### Оценка магнитуд возможных сильных землетрясений по характеристикам кольцевых структур

В [2] получены корреляционные зависимости величин  $L$  и  $M_p$  от магнитуды главных событий для внутриконтинентальных землетрясений с различными типами подвижек в очаге. Для механизмов типа взброса и взбрососдвига, которые преобладают у сильных событий в районе Кавказа [13, 14], получены следующие зависимости:

$$\lg L(\text{км}) = -1,11 + 0,45M_w, r=0,85. \quad (1)$$

$$M_p = -0,92 + 0,73M_w, r=0,77, \quad (2)$$

где  $r$  – коэффициент корреляции.

По формулам (1) и (2) оценены магнитуды сильных землетрясений, которые могут соответствовать описанным выше кольцевым структурам (таблица 2).

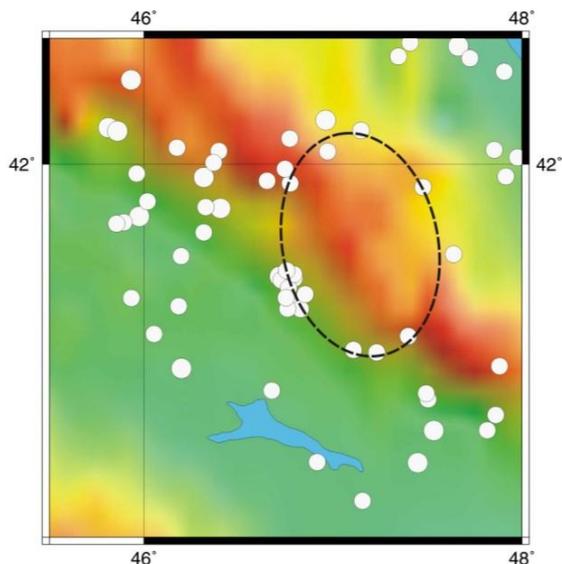
Таблица 2. Оценки величин  $M_w$  по параметрам кольцевых структур

Область	$L$ , км	$M_p$	$T_p$ , лет	$M_w$
41,5–43,5° N 43,0–45,0° E	180	4,0	23	7,1±0,2
43,0–46,0° N 37,5–40,0° E	170	3,8	40*	7,0±0,2
40,5–42,5° N 45,5–48,0° E	100	4,1	30*	6,9±0,2

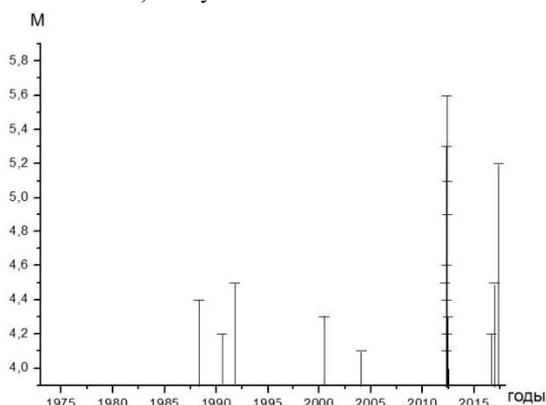
Примечание: \* – для этих областей указаны текущие величины  $T_p$

Из таблицы 2 следует, что по параметрам кольца сейсмичности, сформировавшегося перед Рачинским землетрясением, можно было спрогнозировать подготовку события с  $M_w=7,1\pm 0,2$ . Полученная оценка достаточно близка к реальной магнитуде этого землетрясения.

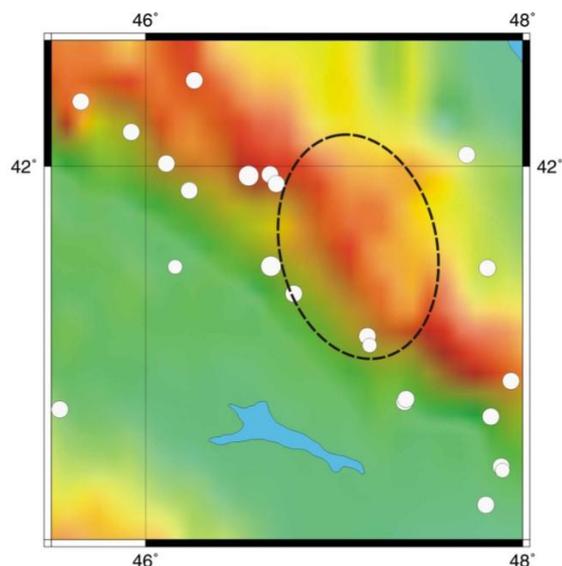
АНАЛИЗ КОЛЬЦЕВЫХ СТРУКТУР СЕЙСМИЧНОСТИ В РАЙОНЕ СЕВЕРНОГО КАВКАЗА:  
ВОЗМОЖНАЯ ПОДГОТОВКА СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ



Малый кружок –  $M=4,1-4,9$ ; остальные обозначения – на рисунке 2-а.  
а) неглубокая сейсмичность



б) зависимость магнитуд событий от времени  
в области неглубокой кольцевой структуры



в) элементы глубокой сейсмичности

Рисунок 4. Восток Большого Кавказа.  
Характеристики сейсмичности

Двум другим кольцевым структурам соответствуют близкие средние величины  $M_w$  для событий, которые могут готовиться в этих областях.

**ОБСУЖДЕНИЕ**

Полученные данные свидетельствуют о том, что в районе Северного Кавказа, как и во многих других континентальных районах [1–5, 7], перед сильными землетрясениями формируются неглубокие кольцевые структуры сейсмичности. Вместе с тем здесь, как правило, не проявляются глубокие кольцевые структуры (на глубинах 34–70 км), которые образуются перед большинством сильных и сильнейших землетрясений в зонах субдукции [2, 7, 10–12, 15,]. Ранее [1, 11] было показано, что кольцевые структуры сейсмичности коррелируются с аномалиями высокого поглощения короткопериодных S-волн в литосфере, в том числе в районах, где отсутствует современный вулканизм, что говорит о связи таких структур с относительно высоким содержанием глубинных флюидов. Можно полагать, что кольца сейсмичности служат отражением процессов самоорганизации геологических систем [16], в конечном счете ведущих к уменьшению потенциальной энергии Земли в результате подъема легкой жидкой фазы. Отсутствие глубоких колец сейсмичности в большинстве континентальных районов, скорее всего, связано со значительно меньшим содержанием свободных флюидов в литосфере континентов по сравнению с зонами субдукции, где происходит дегидратация пород океанической коры [17].

Проведенный анализ показал, что перед печально известным Рачинским землетрясением, которое оказалось совершенно неожиданным для сейсмологов, сформировалась неглубокая кольцевая структура. Существенно, что оценка магнитуды этого события, полученная по параметрам кольца сейсмичности, близка к реальной величине, соответствующей Рачинскому землетрясению. Кроме того, длительность ее формирования хорошо согласуется со средними величинами, полученными для внутриконтинентальных землетрясений с механизмами типа взброса и взбрососдвига ( $T_p \sim 24 \pm 5$  лет [2]). В связи с этим есть основания полагать, что своевременное использование информации о кольцевой активности могло бы быть полезным в целях среднесрочного прогноза этого сильного сейсмического события.

Следует подчеркнуть, что удалось выделить четко выраженные кольцевые структуры в двух областях Северного Кавказа, где в историческое время не зарегистрировано сильных землетрясений с  $M \geq 6,5$  [8]. Текущие длительности их формирования значительно превышают средние величины  $T_p$ , полученные в [2]). Кроме того, в этих областях проявились полосы глубокофокусной сейсмичности, как и в некоторых других континентальных районах, в частности, на Балканах и в районе Восточного Тянь-Шаня [4, 5]. В этих работах показано, что эпицентры сильных землетрясений располагались вблизи областей

пересечения или касания мелких колец и глубоких полос сейсмичности. Данный эффект может быть объяснен наибольшей мощностью двухфазного слоя с заметной долей флюидов в таких областях. В случае, когда флюиды формируют связную сеть, на кровле двухфазного слоя наблюдается концентрация напряжений, причем величина избыточных напряжений пропорциональна мощности слоя [18]. Это может служить триггерным эффектом, приводящим к подвижке при сильном землетрясении. По аналогии с другими районами [4, 5] можно ожидать, что эпицентры готовящихся событий также будут находиться вблизи областей пересечения мелких колец и глубоких полос сейсмичности. Для уточнения положения возможных очаговых зон целесообразно также привлечение палеосейсмических данных (в том числе получаемых методом тренчинга [9, 13]).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Копничев, Ю.Ф. О корреляции характеристик сейсмичности и поля поглощения S-волн в районах кольцевых структур, формирующихся перед сильными землетрясениями / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология. – 2010. – № 6. – С. 34–51.
2. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности, формирующиеся в континентальных районах перед сильными землетрясениями с различными механизмами очагов / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования. – 2013. – Т. 14. – № 1. – С. 5–15.
3. Копничев, Ю.Ф. Характеристики поля поглощения S-волн в очаговых зонах двух сильных землетрясений Южной Азии и их связь с сейсмичностью / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2014. – Вып. 1. – С. 79–85.
4. Копничев, Ю.Ф. Анализ кольцевых структур сейсмичности в литосфере Восточного Тянь-Шаня: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник КазНИИСА. – 2017. – № 1. – С. 16–31.
5. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в районе северной Греции: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник КазНИИСА. – 2017. – № 4. – С. 31–46.
6. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районах Центрального Тянь-Шаня и Джунгарии: возможная подготовка сильных землетрясений / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вулканология и сейсмология. – 2014. – № 3. – С. 65–73.
7. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения S-волн и кольцевые структуры сейсмичности в районе Байкальской рифтовой зоны / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – Вып. 4. – С. 33–41.
8. Кондорская, Н.В. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин (ред.). – М.: Наука. – 1977. – 535 с.
9. Рогожин, Е.А. О соотношении проявлений вулканизма и землетрясений на Северном Кавказе / Е.А. Рогожин, А.Г. Гурбанов, А.В. Мараханов, А.Н. Овсяченко, А.В. Спиридонов, Е.Е. Бурканов // Физика Земли. 2005. – № 3. – С. 33–46.
10. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности и землетрясение 11.03.2011 г. (Mw=9.0) в районе северо-восточной Японии / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // ДАН. 2011а. – Т. 440. – № 2. – С. 246–249.
11. Копничев, Ю.Ф. Неоднородности поля поглощения короткопериодных S-волн в районе очага землетрясения Мауле (Чили, 27.02.2010, Mw=8.8) и их связь с сейсмичностью и вулканизмом / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Геофизические исследования. 2011б. – Т. 12. – № 3. – С. 22–33.
12. Копничев, Ю.Ф. Кольцевые структуры сейсмичности в районе северного Чили и успешный прогноз места и магнитуды землетрясения Икике 01.04.2014 г. (Mw=8.2) / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2015. Вып. 4. – С. 153–159.
13. Рогожин, Е.А. Тектоника очаговых зон сильных землетрясений Северной Евразии конца XX столетия / Е.А. Рогожин // Рос. журнал наук о Земле. – 2000. – Т.2. – № 1.
14. Белоусов, Т.П. Рачинское землетрясение 1991 г. и его проявление в рельефе Большого Кавказа / Т.П. Белоусов // М.: Светоч Плюс. – 2009. – 208 с.
15. Копничев, Ю.Ф. Характеристики кольцевой сейсмичности в разных диапазонах глубин перед сильными и сильнейшими землетрясениями в районе Суматры / Ю.Ф. Копничев, И.Н. Соколова // Докл. РАН. – 2009. – Т. 429. – № 1. – С. 106–109.
16. Летников, Ф.А. Синергетика геологических систем / Ф.А. Летников // Новосибирск: Наука. – 1992. – 229 с.
17. Yamazaki, T. Double seismic zone and dehydration embrittlement of the subducting slab / T. Yamazaki, T. Seno // J. Geophys. Res. – 2003. – V. 108, N B4. – doi: 10/1029/2002JB001918.
18. Gold, T. Fluid ascent through the solid lithosphere and its relation to earthquakes / T. Gold, S. Soter // Pure Appl. Geophys. – 1984/1985. – V. 122. – P. 492–530.

**СОЛТҮСТІК КАВКАЗ АУДАНЫНДАҒЫ САҚИНАЛЫ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ ТАЛДАУ:  
ҚАТТЫ ЖЕРСІЛКІНУЛЕРДІҢ ЫҚТИМАЛ ДАЙЫНДАЛУЫ**

<sup>1)</sup> Ю.Ф. Копничев, <sup>2)</sup> И.Н. Соколова

<sup>1)</sup> *Ресей Ғылыми академиясының жер физикасы институты, Мәскеу, Ресей*

<sup>2)</sup> *Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Солтүстік Кавказдың 1964 ж. бастап сейсмикалылығының бір қатар сипаттамалары қарастырылған. 1991 ж. 05.29-ындағы Рачинск қатты жерсілкінуі ( $M_w=7,0$ ) алдында 0–33 км. тереңдігінде сейсмикалылықтың сақиналы құрылымы қалыптастырылғаны анықталған. Солтүстік Кавказдағы қаусырма және қаусырма-ығыспа түріндегі механизмдерімен континент ішіндегі жерсілкінулер үшін магнитуданың табалдырық мәндері ( $M_p$ ) мен эллипстердің үлкен өсінің ұзындықтары басты оқиғалардың магнитудаларынан  $M_w$  бұрын анықталған корреляциялық тәуелдіктері негізінде, сақиналы құрылым облысында дайындалуы мүмкін, қатты оқиғаның магнитудасын бағалауы жасалған. Рачинск жерсілкінуі белдемі үшін бұл мәні  $M_w=7,1\pm 0,2$ , құрады, бұл осы оқиғаның нақты магнитудасына жеткілікті жақын. Үлкен Кавказ шегінде және Шығыс Кавказ облысында, онда инструменталды және тарихи деректері бойынша қатты жерсілкінулер беймәлім, қалыптастырылып жатқан жаңа ірі сақиналы құрылымдар айқындалған. Ықтимал қатты жерсілкінулердің магнитудаларының мәндері бағаланған:  $M_w=7,0\pm 0,2$  и  $M_w=6,9\pm 0,2$ , айтылған объектілерінде, сәйкесінде. Үлкен Кавказдың қиыр батысында дайындалып жатқан қатты жерсілкінуі, халықтың тығыздығынан және Краснодар, Новороссийск, Сочи ж.б. ірі қалалар жақын болуынан, ерекше қауіпті болып білінеді. Сақиналы құрылымдар қалыптастырылуы, тереңдегі флюидтер жылыстауымен байланысқан, геологиялық жүйелердің өзіндігінен ұйымдастырылу процессінің салдары болуы болжануда.

**ANALYSIS OF RING-SHAPED SEISMICITY STRUCTURES IN THE REGION OF THE NORTHERN  
CAUCASUS: POSSIBLE PREPARATION FOR LARGE EARTHQUAKES**

<sup>1)</sup> Yu.F. Kopnichev, <sup>2)</sup> I.N. Sokolova

<sup>1)</sup> *Institute of Physics of the Earth of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

<sup>2)</sup> *Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

We have been studying some seismicity characteristics in the region of Northern Caucasus since 1964. It was established that ring-shaped seismicity structure have been formed within depth range of 0–33 km prior to large Racha earthquake of 29.05.1991 ( $M_w=7,0$ ). Seismicity rings are characterized by threshold magnitude value ( $M_t$ ) and big axis length ( $L$ ). Earlier we have obtained correlation dependences of  $M_t$  and  $\lg L$  values on magnitudes of main events  $M_w$  for intracontinental earthquakes with mechanisms of reverse and oblique-reverse faulting, prevailing in the region of Northern Caucasus. Using these dependences we estimated magnitudes of large event which could be prepared in the area of ring structure:  $M_w=7,1\pm 0,2$  for the zone of the Racha earthquake. This value is close enough to real magnitude of the event mentioned. New big ring structures were identified at the western outskirts of the Great Caucasus and in the region of the Eastern Caucasus, where large earthquakes are not known according to instrumental and historical data. We estimated magnitudes of possible large earthquakes by characteristics of these structures:  $M_w=7,0\pm 0,2$  and  $M_w=6,9\pm 0,2$  in the regions mentioned respectively. Large seismic event, which probably is prepared at the westernmost part of the Great Caucasus, can represent a special danger due to great density of population and nearness of a few big cities: Krasnodar, Novorossiysk, Sochi etc. It is supposed that ring structures formation is a consequence of geologic systems self-organization, connected with deep-seated fluids migration.

УДК 550.370:621.039

## НИЗКОЧАСТОТНАЯ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО- ФАЗОВОГО ПАРАМЕТРА ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

Мариненко В.А., Максимов Е.М., Шевченко В.П.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Представлена новая электроразведочная аппаратура, параметры которой позволяют использовать ее для отслеживания малых вариаций электрического сопротивления и вызванной поляризации. Аппаратура создана для проведения мониторинга глубинных геофизических процессов, в частности, для ее применения на объектах атомной отрасли и в местах проведения подземных ядерных взрывов. Возможно применение аппаратуры в разведочной геофизике.

### ВВЕДЕНИЕ

Анализ характеристик и возможностей существующих геофизических аппаратурных средств, а также опыт эксплуатации аппаратуры, ранее разработанной в Институте геофизических исследований (ИГИ), показали, что модели, которые в основном созданы для поиска и разведки полезных ископаемых, не всегда удовлетворяют требованиям к проведению регулярного мониторинга геофизических полей. Для такого мониторинга, спецификой которого является необходимость отслеживать малые изменения геофизических величин, требуется не только существенно повысить точность и разрешающую способность аппаратуры, но и увеличить количество измеряемых параметров, а также обеспечить одновременность их измерения в нескольких точках. Следует отметить, что в рудной электроразведке в последнее время также возросли требования к точности аппаратуры [1].

В течение 2010–2017 гг. в ИГИ осуществлена разработка ряда приборов, параметры которых позволяют использовать их для проведения геофизического мониторинга, в частности, на объектах атомной энергетики и в местах проведения подземных ядерных взрывов [2–4]. В этот перечень входят: электроразведочный генератор ГЭР-5кВт-25А-1000В; электроразведочный генератор ГЭР-65W-500V; макет экспериментального образца электроразведочного генератора ГЭР-3кВт-1000В; одноканальный приемник ВПФ-210М и макет экспериментального образца восьмиканального приемника ВПФ-8МА. Ниже приведены характеристики приборов ГЭР-3 и ВПФ-8МА, макеты которых разработаны и изготовлены в рамках гранта МОН РК 1757/ГФ4 [3].

### ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНОЙ АППАРАТУРЫ

#### Макет экспериментального образца генератора ГЭР-3

Макет экспериментального образца генератора ГЭР-3 (рисунок 1) предназначен для генерирования переменного и импульсного высокостабильного тока

прямоугольной формы в широком диапазоне нагрузок и может быть использован в различных электроразведочных методах: сопротивления, вызванной поляризации, частотного зондирования, заряда и т.д. Схемные решения в новом генераторе обеспечили долговременную стабильность амплитуды выходного тока и значение дифференциального фазового параметра (ДФП) для этого тока не более 0,02 градуса до частоты 9,76 Гц.

Область применения генератора – мониторинг геоэкологической обстановки на объектах повышенной опасности, а также поиск и разведка полезных ископаемых.



Рисунок 1. Макет экспериментального образца генератора ГЭР-3

#### Основные технические параметры:

Диапазон выходных токов, А .....	от 0,1 до 16
Максимальная выходная мощность, Вт .....	3000
Диапазон выходных напряжений, В .....	от 5 до 1000
Основная погрешность установки выходного тока, % .....	≤ 0,5
Дискретность задания выходного тока, мА .....	1
Нестабильность выходного тока, % .....	≤ 0,05
Диапазон рабочих частот, Гц .....	0,0025–625
Нестабильность частоты выходного тока, PPM .....	≤ 2·10 <sup>-6</sup>
Масса генератора, кг .....	18,2

### Макет экспериментального образца восьмиканального приемника ВПФ-8МА

Макет экспериментального образца восьмиканального приемника ВПФ-8МА (рисунок 2) предназначен для работ методами вызванной поляризации (ВП), сопротивлений, заряда, наблюдения вариаций сопротивления и ВП в автоматическом режиме. Приемник обеспечивает частотный (фазы на четырех парах гармоник) и импульсный (до 20 стробов) режимы ВП, возможность определения «знака» сигнала при работе методом заряд-градиент, большой динамический диапазон входного сигнала (31-разрядный АЦП), высокую помехоустойчивость (аналоговые и цифровые фильтры, статистическая обработка сигнала, вывод результатов накопления после каждого периода сигнала), вывод параметров и изображения сигналов на графический дисплей, возможность регистрации непрерывных сигналов, возможность запуска и регистрации параметров через заданное время в автоматическом режиме по программе, запуск от внешнего устройства. Уровень собственных шумов канала – не более 10 нВ. Предусмотрен контроль сопротивления приемных линий с минимальной поляризацией электродов. Обеспечена компенсация постоянной составляющей, практически не увеличивающая шумы входных каскадов.



Рисунок 2. Макет экспериментального образца восьмиканального приемника ВПФ-8МА

#### Основные технические параметры:

Основной диапазон рабочих частот, Гц .....	0,019–9,76
Диапазон измеряемых напряжений, мВ .....	0,0002 до 5000
Входное сопротивление, МОм .....	10
Погрешность измерения напряжения, % .....	0,2
Погрешность измерения фазовых параметров, ° .....	0,02
Подавление помех 50 Гц на низких частотах, дБ .....	100
Объем встроенной памяти, Гбайт .....	16
Потребляемая мощность, Вт .....	2,7
Масса приемника с батареей питания, кг .....	3,6
Диапазон измеряемого фазового параметра, ° .....	не менее ±27

### РЕЗУЛЬТАТЫ ОПРОБОВАНИЯ МАКЕТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ

Как показал опыт мониторинга изменений электрических параметров (сопротивления и вызванной поляризации) геологической среды на ряде важных объектов, в том числе объектах атомной энергетики, вариации этих параметров составляют, как правило, небольшую величину (единицы, а иногда доли процента) от значения этих параметров [3].

Изучение вариации электрических параметров продолжено с использованием макетов экспериментальных образцов генератора ГЭР-3 и приемника ВПФ-8МА на геофизическом полигоне «Каскелен» (Алматинская обл.) в условиях песчано-глинистого геологического разреза. На этом полигоне обустроена стационарная установка дипольного электрического зондирования (ДЭЗ), обеспечивающая в режиме постоянного мониторинга зондирование геологического разреза на глубинах 10–45 м.

При измерениях малых вариаций определяющую роль играет стабильность измерительной системы приемник – генератор. Следует учитывать, что используемая питающая линия является комплексной нагрузкой с изменяющимися параметрами. Так, измерения на экспериментальном полигоне «Каскелен» показали, что за ~3,5 месячный период наблюдений (с 03.01.19 г. по 30.04.19 г.) сопротивление питающей линии изменилось с 123 Ом до 52 Ом. На рисунке 3 приведена запись тока, напряжения и фазового параметра выходного напряжения генератора за период времени с 26.02.19 г. по 1.03.19 г., при работе на стационарную питающую линию ДЭЗ экспериментального геофизического полигона «Каскелен».

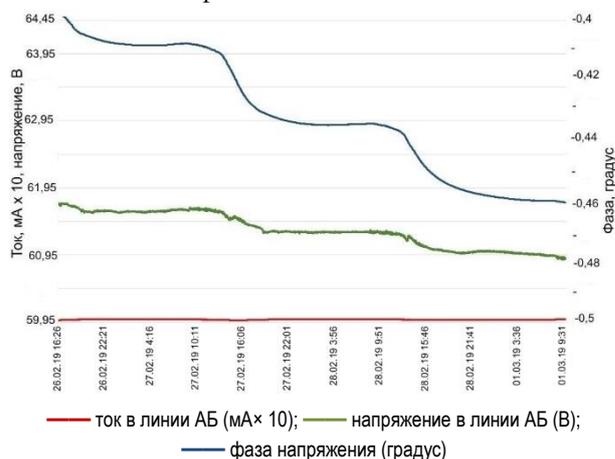


Рисунок 3. Изменения тока, напряжения и фазового параметра выходного напряжения генератора

Напряжение в питающей линии АБ изменилось с 64,4 В до 61,7 В, что при токе 0,6 А соответствует изменению сопротивления линии с 107,3 до 102,8 Ом (нестабильность тока не превысила 0,01 %). Фазовый параметр, измеренный между первой и третьей гармоническими составляющими напряжения, за время наблюдений изменился от  $-0,46^\circ$  до  $-0,48^\circ$ , а фазовый параметр тока не превысил  $0,004^\circ$ .

На рисунке 4 приведен график опытной оценки долговременной нестабильности параметров системы. Измерения выполнены при заданном токе генератора 4 А частотой 9,76 Гц и при использовании для контроля тока образцового сопротивления ( $R_0$ ) 0,1 Ом. Генератор работал на заземленную питающую линию АБ, сопротивление которой за время измерений изменилось с 56 Ом до 62 Ом. Приведенные графики амплитуды первой гармоники напряжения на сопротивлении  $R_0$ , измеренных в 1, 2 и 6 каналах приемника показывают погрешность менее 0,1 %, что в два раза меньше, чем заданная по Техническому заданию (ТЗ) для приемника, и в пять раз меньше, заданной по ТЗ для генератора. Максимальное отклонение от заданного значения выходного тока для пары приемник-генератор в каждом из каналов не превысило 0,015 % за 5 часов работы (при исключении 20 минут времени выхода на режим). Установлено, что одновременные скачки сигнала до 1 мкВ вызваны изменениями питающего генератора сетевого напряжения на 5–10 %.

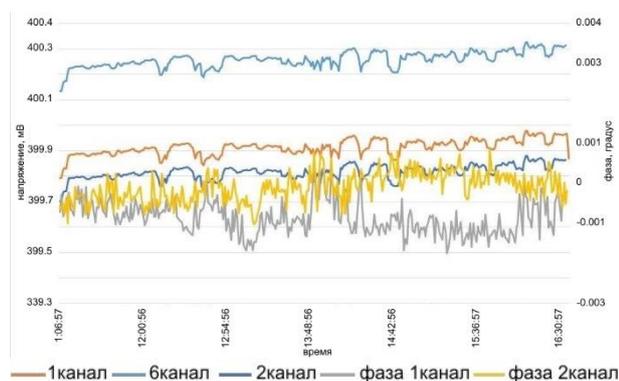


Рисунок 4. Результаты наблюдения сигнала в питающей линии

На рисунке 4 также показаны графики фазовых параметров для первого и второго каналов. Отклонение фазы составило не более  $0,002^\circ$  при допустимой по ТЗ погрешности  $0,02^\circ$ .

Возможность проведения измерений с высокой точностью в районах с высоким уровнем промышленных помех оценивалась на территории экспериментального полигона «Каскелен» по наблюдениям с осевой установкой диполь-диполь. Длина питающего (АБ) и каждого из 8 приемных (МН) диполей составляла 10 м, минимальное расстояние между центрами питающего и приемного диполей  $L = 20$  м, максимальное расстояние – 90 м. Выходной ток генератора – 700 мА, частота следования разнополярных импульсов – 1,22 Гц. На рисунке 5 приведены примеры графиков относительных значений напряжений  $\Delta U_t/U_{\text{среднее}}$  первого, третьего, пятого и восьмого каналов, зарегистрированных в течение 75 час, с интервалом 1 мин. Среднее значение сигнала в первом канале 16 мВ, в восьмом канале – 1000 мВ, амплитуда помехи в дневные часы достигает 800 мВ. График

восьмого канала, характеризующий сопротивление приповерхностного слоя, имеет выраженный сезонный тренд, на фоне которого заметны суточные вариации. На графике пятого канала заметны полусуточные вариации. Одновременно с измерениями амплитуды измерены фазовые параметры вызванной поляризации, результаты фазовых измерений по первому и восьмому каналам также приведены на рисунке 5.

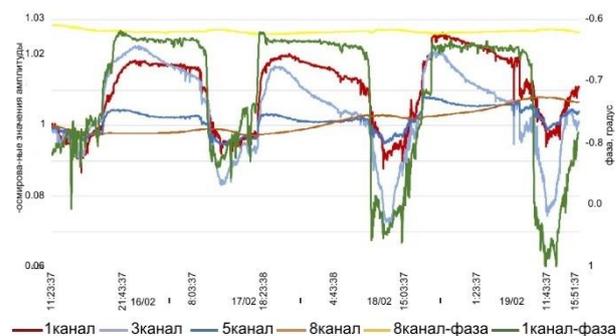


Рисунок 5. Относительные изменения напряжений и фазового параметра первого (90), третьего (60), пятого (50) и восьмого (20) каналов (в скобках – расстояние между центрами питающего и приемного диполей в м)

Полученные результаты показали возможность измерения вариаций электрического сопротивления амплитудой менее одного процента от величины электрического сопротивления в районах с высоким уровнем промышленных помех. При этом, погрешность измерения напряжения должна быть менее 0,2 % и стабильность пары генератор – приемник – лучше 0,1 %.

Возможность одновременного наблюдения нескольких различных параметров (процессов) важна не только с экономической точки зрения, при проведении мониторинга важно установить взаимную связь процессов (или отсутствие такой связи). Приемник ВПФ-8МА доработан с целью обеспечения возможности одновременного измерения спектральных характеристик сигналов, возбуждаемых генератором и сигналов от других датчиков (движения, температуры, давления). На рисунке 6 приведены записи вариаций напряжений на приемных диполях  $\Delta U$  и параметров движения сигнала, возбуждаемого током генератора, а также сигналов от других датчиков (движения, температуры, давления) за период времени 68 часов. Для регистрации параметров движения использован акселерометр, изготовленный на основе микроэлектромеханических систем (МЕМС) микросхемы LIS2L02. Наблюдения выполнялись при токе в питающей линии 800 мА.

На графиках вариаций амплитуды первой гармоники  $\Delta U_{20}$  м и  $\Delta U_{40}$  м, пропорциональных вариациям сопротивлений на глубинах 10 и 20 м, видны суточные, заметны полусуточные вариации и возрастание помех в дневные часы. Сигналы с диполей удаленных на 20 м и на 40 м имеют практически одинаковую форму.

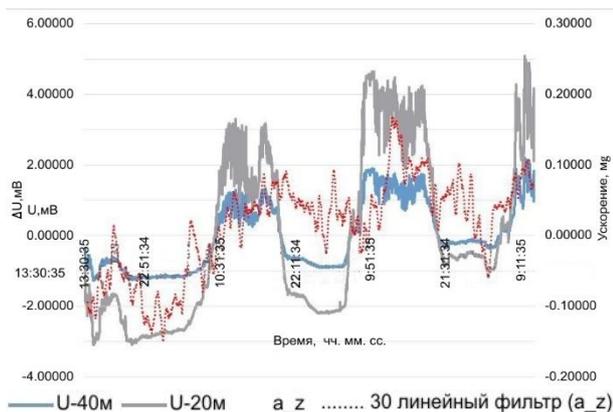


Рисунок 6. Вариации переменной  $\Delta U$  составляющих сигнала и ускорения по вертикальной компоненте  $\Delta a_z$

На рисунке 6 показаны вариации выходного сигнала акселерометра, измеряющего вертикальную

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зорин Н. И., Мариненко В. А. Спектральные измерения ВП горных пород в естественном залегании с использованием высокочастотной аппаратуры / Н.И. Зорин, В.А. Мариненко // Приборы и системы разведочной геофизики. – Саратов: издательство ЕАГО, 2017. – № 2. – С. 50–57.
2. Развитие технических средств геофизического мониторинга для объектов атомной энергетики: отчет о НИР (заключительный) / Институт геофизических исследований (РГП ИГИ); рук. В.А. Мариненко. – Курчатов, 2014 г. – № ГР 0112РК00757. – Инв. № 0215РК00246.
3. Разработка геоэлектроразведочной системы, работающей методами сопротивлений и вызванной поляризации для мониторинга геоэкологической обстановки на объектах повышенной опасности, а также для поиска и разведки полезных ископаемых: отчет о НИР (заключительный) / Институт геофизических исследований (РГП ИГИ); рук. В.А. Мариненко. – Курчатов, 2017 г. – 69 с. – № ГР 0115РК01939. – Инв. № 0217РК01376.
4. Разработка технологий мониторинга безопасности объектов атомной отрасли на основе изучения техногенных изменений геологической среды в местах их размещения (промежуточный) / Институт геофизических исследований (РГП ИГИ); рук. В.Н. Шайторов. – Курчатов, 2017 г. – 81 с. – № ГР 0119РК01157. – Инв. № 0218РК00270.
5. Патент 32685KZ, МКИ G01V 3/08 (2006/01) Устройство для нелинейной обработки геоэлектроразведочных сигналов / В.А. Мариненко [и др.] //Официальный бюлл. «Промышленная собственность». – Национальный институт интеллектуальной собственности (НИИС), МЮ, опубл. 26.02.2018, Бюлл. № 8. – 4 с.

### КЕДЕРГІ МЕН ӨНДІРІЛГЕН ҮЙЕКТЕЛҮДІҢ ДИФФЕРЕНЦИАЛДЫҚ-ФАЗАЛЫҚ ПАРАМЕТРІ ШАҒЫН ӨЗГЕРІЛУЛЕРІН БАҚЫЛАУ ҮШІН ТӨМЕНЖИЛІКТІ ЭЛЕКТРБАРЛАУ АППАРАТУРАСЫ

В.А. Мариненко, Е.М. Максимов, В.П. Шевченко

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Оның техникалық параметрлері электр кедергісі мен өндірілген үйектелудің шағын вариацияларын байқау үшін пайдалануға мүмкіншілік беретін жаңа электрбарлау аппаратурасы көрсетілген. Бұл мүмкіншіліктер теренгі геофизикалық процесстердің, атап айтқанда атом саласы объектілері мен жерасты ядролық жарылыстар жүргізілген жерлерінде, мониторингін жүргізуіне мүмкіндік береді. Аппаратураны барлау геофизикасында қолдануға болады.

### LOW-FREQUENCY ELECTRICAL SURVEY EQUIPMENT FOR OBSERVATION OF RESISTIVITY'S SMALL CHANGES AND DIFFERENTIAL-PHASAL PARAMETER OF INDUCED POLARIZATION

V.A. Marinenko, E.M. Maksimov, V.P. Shevchenko

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper presents a new electrical survey equipment, technical parameters of which allow to use it to trace small variations of electrical resistivity and induced polarization. These capabilities allow to monitor deep geophysical processes, particularly at the atomic branch facilities as well as in places of underground nuclear explosions' implementation. The application of the equipment is possible in reconnaissance geophysics as well.

УДК 550.34

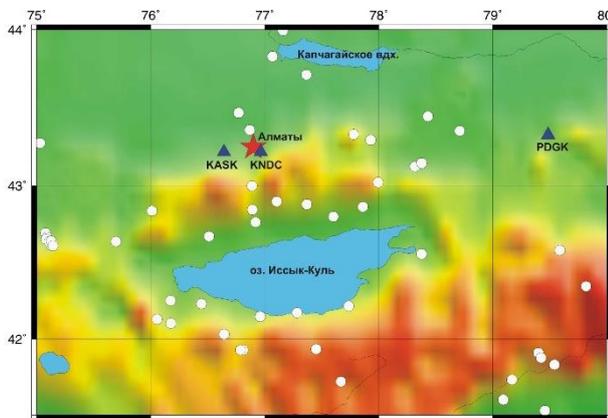
## НОВАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ КАСКЕЛЕН В ПРИГОРОДЕ МЕГАПОЛИСА АЛМАТЫ

Кунаков В.Г., Соколов А.Н., Казаков Е.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Представлена информация о новой сейсмической станции Каскелен в юго-восточном Казахстане. Описан комплект аппаратуры, приведены некоторые результаты использования данных, полученных этой станцией.

29 июля 2016 г. на территории Геофизической обсерватории «Каскелен» Института геофизических исследований в г. Каскелен – пригороде мегаполиса Алматы, – начала работу сейсмическая станция KASK (рисунок 1). Географически станция расположена в предгорьях хребта Заилийский Алатау Северного Тянь-Шаня,  $\varphi=43,2178^\circ$ ,  $\lambda=76,6414^\circ$ , высота над уровнем моря  $h=790$  м.



▲ – станция; ★ – г. Алматы; ○ – эпицентр землетрясения, зарегистрированного станцией KASK

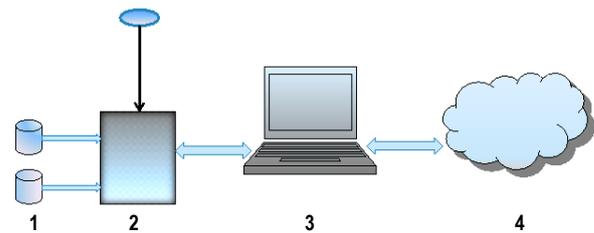
Рисунок 1. Сейсмические станции Института геофизических исследований на территории Северного Тянь-Шаня

Геологический разрез в месте расположения станции сложен до глубины 20–50 м осадочными породами (суглинки, супеси, галечники) и вулканогенно-осадочными отложениями верхнепалеозойского возраста западной оконечности Алматинской впадины.

Актуальность установки станции связана с тем, что г. Каскелен располагается вблизи мегаполиса Алматы с населением 1,77 млн. человек, известного высоким риском сильных сейсмических событий. Ближайшими двумя станциями, работающими под оперативным управлением Института геофизических исследований, являются станция KNDC (непосредственно в г. Алматы) и PDGK (с восточной стороны мегаполиса). Западная станция KASK улучшит охват сейсмических событий, обеспечит мониторинг сейсмичности на территории г. Алматы с более высокой точностью, поможет в изучении макросейсмических проявлений и оценке параметров сейсмических воздействий.

На этой станции установлен акселерометр сильных движений CMG-5TC и узкополосный сейсмометр L4C [1] (рисунки 2, 3).

Выбор комплекта аппаратуры сделан с учетом высокого техногенного шума в районе установки – рядом (в ~150 м), проходит республиканская трасса с очень интенсивным автомобильным движением, вблизи площадки (в ~100 м) протекает горная река Каскелен.



1 – сейсмические датчики: акселерометр CMG-5TC + сейсмометр L4C;  
2 – регистратор CMG-DM24 с приемником сигналов GPS;  
3 – Scream сервер, 4 – интернет

Рисунок 2. Блок-схема станции

Сигналы, полученные от сейсмических датчиков, оцифровывает регистратор CMG-DM24S6 [2], осуществляющий одновременно привязку данных к абсолютному времени.

Зарегистрированная информация формируется для обработки специальной программой Scream [3] (рисунки 4, 5), обеспечивающей как накопление данных, так и передачу ее внешним устройствам сбора информации через интернет. Прием полученной информации производится сервером Scream, установленным в Центре данных (г. Алматы). Здесь данные включаются в общий поток данных от всех станций, использующих аналогичное оборудование (KNDC, Ортау, инфразвуковая станция в Курчатове).

Начиная с 2017 г., данные сейсмической станции KASK поступают в Центр данных в режиме реального времени и участвуют в оперативной и интерактивной обработке. За период 2017–05.2019 гг. данные станции Каскелен использованы в обработке 250 событий в диапазоне расстояний 11–1707 км, диапазон магнитуд  $m_{pva}=1,9\div 6,9$ . На рисунке 6 приведен пример сейсмограмм, зарегистрированных 16 ноября 2017 г. ( $t_0=1:42:57,7$ ,  $\varphi=41,9644^\circ$ ,  $\lambda=77,4636^\circ$ ,  $m_{pva}=5,4$ ,  $K=11,7$ , эпицентральное расстояние  $\Delta=155$  км).



а) акселерометр CMG-5TC



б) сейсмометр L4C

Рисунок 3. Сейсмометры в приборном сооружении станции KASK

На рисунке 7 представлены сейсмограммы северокорейского ядерного испытания 3 сентября 2017 г., зарегистрированные станцией KASK вместе с другими станциями Института геофизических исследований.

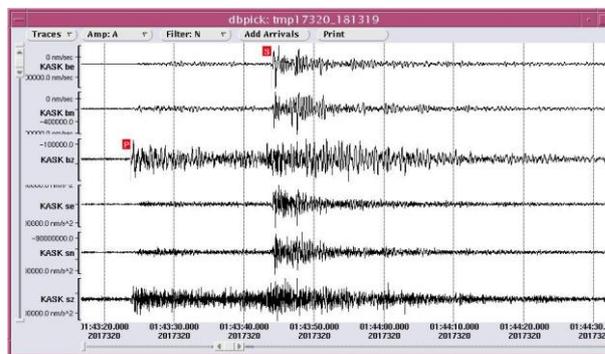
Зарегистрированы и обработаны записи акселерометра сильных движений по 31 событию на расстояниях 6–601 км. Обработка данных проведена с использованием программного обеспечения ViewWave, разработанного Т. Кашимой [4], которое позволило проводить визуализацию записи, откалиброванной в физических единицах, рассчитать спектр



Рисунок 4. Сервер Scream (слева) и регистратор CMG-DM24 (справа)



Рисунок 5. Монитор сервера Scream, установленный в Центре данных (стрелкой показано окно данных KASK)



Записи: три верхние – сейсмометра, три нижние – акселерометра

Рисунок 6. Сейсмограмма землетрясения 16 ноября 2017 г. ( $t_0=1:42:57,7$ ,  $\varphi=41,9644^\circ$ ,  $\lambda=77,4636^\circ$ ,  $trpa=5,4$ ,  $K=11,7$ , эпицентральное расстояние  $\Delta=155$  км). Станция KASK

Фурье и спектр реакции для разных значений затухания, провести дифференцирование и интегрирование записей. Максимальное зарегистрированное ускорение по записям сильных движений за период 2017–05.2019 гг. –  $A_{max}=3,4$  см/с<sup>2</sup> для каналов С–Ю, В–З (землетрясение в Северном Синьцзяне КНР 8 августа 2017 г.  $t_0=23:27:54,7$ , на расстоянии 491 км от эпицентра) – рисунок 8.

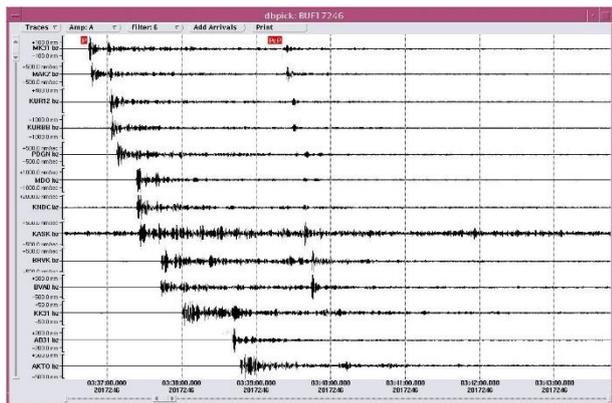
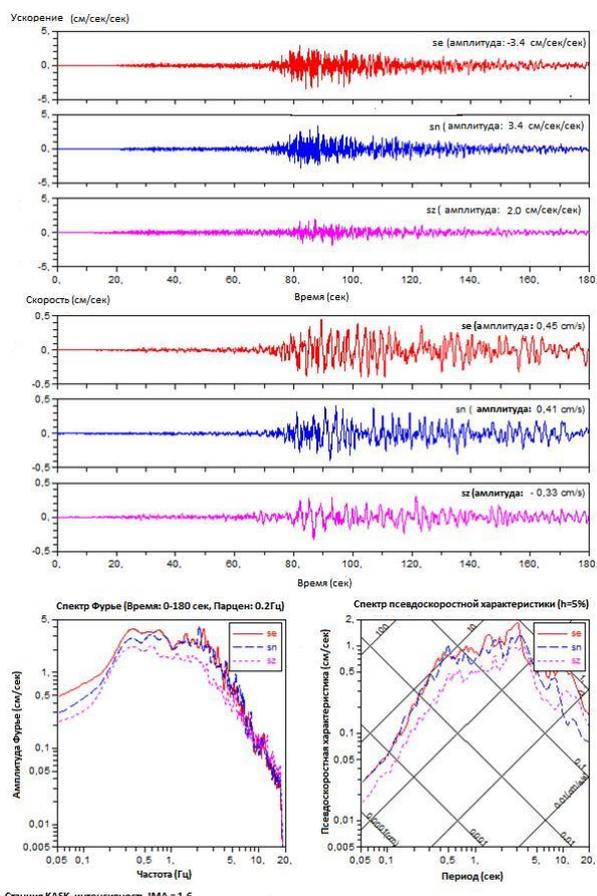


Рисунок 7. Сейсмограммы северокорейского ядерного испытания 03.09.2017 г., зарегистрированные станцией KASK вместе с другими станциями Института геофизических исследований



Станция KASK, интенсивность JMA = 1.6

Рисунок 8. Записи станции KASK и спектры реакции землетрясения 08.08.2017 г. в 23:27:54,7

ЛИТЕРАТУРА

1. Havskov, J. Instrumentation in Earthquake Seismology / J. Havskov, G. Alguacil // Springer, 2006. – 360 p.
2. High-quality seismic digitiser with full 24-bit resolution [Электронный ресурс]: Guralp. – UK/ – 2019/ – режим доступа: <http://www.guralp.com/products/data-acquisition/dm24>.
3. Scream 4.6 Seismic Monitoring Software // MAN-SWA-0001. Issue N – June, 2018. – режим доступа: <http://www.guralp.com/documents/MAN-SWA-0001.pdf>.
4. Kashima, T. ViewWave Help / T. Kashima // IISEE, BRI. – 2002.

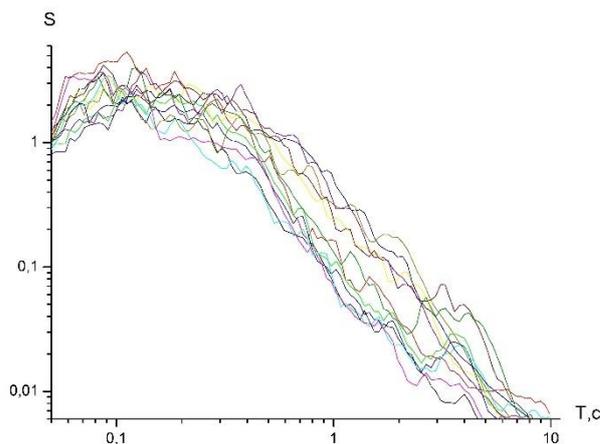


Рисунок 9. Кривые динамичности, построенные по горизонтальной компоненте записей событий на Северном Тянь-Шане станции KASK

На рисунке 9 представлены кривые динамичности  $\beta$ , построенные по горизонтальным компонентам записей станции KASK событий, произошедших на территории Северного Тянь-Шаня.

Сейсмические шумы, зарегистрированные станцией KASK, используются для исследования геодинамических процессов в земной коре, в районе станции.

Таким образом, сейсмическая станция Каскелен была протестирована, получены первые результаты сейсмического мониторинга, которые служат повышению точности решений в сейсмических бюллетенях, а также оценке сейсмической опасности Алмадинской агломерации. Данные этой станции используются, в том числе, и для контроля за безопасностью расположенных близ Алматы объектов атомной отрасли.

**АЛМАТЫ МЕГАПОЛИСЫНЫҢ ҚАЛА МАҢЫНДАҒЫ ЖАҢА ҚАСКЕЛЕҢ  
СЕЙСМИКАЛЫҚ СТАНЦИЯСЫ**

**В.Г. Кунаков, А.Н. Соколов, Е.Н. Казаков**

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Оңтүстік Қазақстанда жаңа Қаскелең сейсмикалық станциясы ұсынылды. Аспаптар кешені сипатталды, осы станцияда алынған деректерді пайдаланудың кейбір нәтижелері келтірілді.

**NEW SEISMIC STATION KASKELEN AT THE SUBURBS OF ALMATY**

**V.G. Kunakov, A.N. Sokolov, Ye.N. Kazakov**

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The paper describes a new seismic station, and the set of instruments installed at the station. It also shows some results of data application received by Kaskelen station.

УДК 550.34

## ИСТОРИЧЕСКИЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЗАПИСИ ВЗРЫВОВ, ПРОВЕДЕННЫХ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СЕЛЕЗАЩИТНОЙ ПЛОТИНЫ В МЕДЕО

Соколова И.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Рассмотрены характеристики взрывов в Медео (21 октября 1966 г., 14 апреля 1967 г. и 20 ноября 1973 г.), проведенных для строительства плотины, сведения о макросейсмических проявлениях этих взрывов в г. Алматы, а также сейсмический эффект в сравнении с мощными промышленными и исследовательскими взрывами при строительстве дамб в Центральной Азии. Описаны годограф основных региональных фаз для близких и региональных расстояний, построенный на основе исторических архивных сейсмограмм, а также сводный годограф для района Северного Тянь-Шаня вблизи г. Алматы. Проведено сравнение с годографом, построенным по записям мощного Камбаратинского взрыва 22 декабря 2009 г. в Кыргызстане. Полученные результаты могут быть использованы для улучшения локализации сейсмических событий и для моделирования системы раннего предупреждения в г. Алматы.

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых опасных природных явлений по количеству разрушений и жертв в предгорных территориях г. Алматы (Алма-Ата) и Алматинской области являются селевые потоки. За последние 100 лет в г. Алматы сошли 4 катастрофических селя: 8–9 июля 1921 г. (рисунок 1-а) с объемом выноса из рек Малая и Большая Алматинка 7,0–10 млн. м<sup>3</sup>; 7 июля 1963 г. на оз. Иссык с объемом 7 млн. м<sup>3</sup>, 15 июля 1973 г. на р. Малая Алматинка [1], 3–4 августа 1977 г. на р. Большая Алматинка.

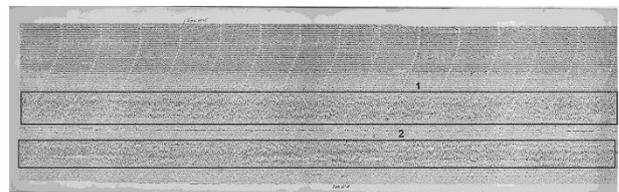
Селевые потоки в предгорьях Заилийского Алатау внезапны и часто характеризуются катастрофическими последствиями — громадным материальным ущербом, нередко жертвами. Так, 8–9 июля 1921 г. селевые потоки заполнили практически все реки Заилийского Алатау. Самые мощные сели отмечены на реках Малая и Большая Алматинка, Талгар, Иссык [2]. очевидцы селя 8–9 июля 1921 г. свидетельствовали: «...Рев воды, гул перекатываемых камней, треск разрушаемых зданий, грохот сдираемых железных крыш, огромные искры, вероятно, от сталкивающих камней, еще издали предупреждали о приближении селя. И вот лавина, состоящая из воды, грязи, гальки, огромных валунов, стволов деревьев и обломков разрушенных зданий, ринулась на город, снося попадавшие на ее пути постройки... Затем волны высотой до шести метров начали регулярно повторяться через промежутки от полминуты до минуты, и число их насчитывалось до восьмидесяти. По улицам города плыли целые дома, и крики о помощи уносимых водой людей придавали жуткость картине всеобщего разрушения...» [2]. В течение пяти часов значительная часть Алма-Аты была превращена в руины и залита грязекаменной массой. Погибли более 500 человек [2].

Другой селя, из верховьев реки Иссык (гора Жарсай), 7 июля 1963 г. разрушил естественную плотину в западной части озера Иссык, опустошив водоём [2]. Селевой поток унес около тысячи жизней и стал при-

чиной значительных разрушений в городе Иссык. Река Иссык в результате схода селевого потока изменила русло. Иссыкский селя 1963 г. был одним из самых крупных и разрушительных селевых потоков на территории СССР. Два эпизода схода селя: в 6 и 9 час GMT, — зарегистрированы станцией Талгар, расположенной на расстоянии ~ 20 км (рисунок 1-б).



а)



б)

Рисунок 1. К свидетельствам мощных селей: (а) улица Карла Маркса (ныне Д. Кунаева) после селя 1921 г. [2]; (б) сейсмическая запись селя 07.07.1963 станцией TLG на расстоянии ~20 км

Для защиты г. Алматы от селевых потоков в 1960 г. был разработан проект набросной плотины в ущелье реки Малая Алматинка с помощью направ-

ленных взрывов. Однако его исполнение задержалось на несколько лет из-за проблем, связанных с обеспечением безопасности взрывов для города и населения. Решение о необходимости осуществления проекта [2] было принято Экспертной комиссией президиума Академии наук СССР в 1966 г., а в 1966 и 1967 гг. серии взрывов для строительства плотины были осуществлены. Учитывая уникальность взрывов, Институт физики Земли АН СССР провел научные исследования и обобщил полученный опыт для его применения при аналогичных взрывах для строительства плотин. Было установлено большое количество сейсмометров, получены записи, которые могут быть использованы в различных задачах сейсмологии: исследование сейсмического эффекта крупномасштабных взрывов, построение локальных и региональных географов, изучение строения литосферы и др.

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗРЫВОВ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПЛОТИНЫ В МЕДЕО**

Для создания селезащитной плотины в урочище Медео проведено 2 серии взрывов (рисунки 2 [4], 4 [5] и 5).

Первая серия взрывов (правобережная) проведена 21 октября 1966 г. (таблица 1, [4]). Она состояла из нескольких зарядов, подрыв которых производился с замедлением 3,56 с. В первую очередь были взорваны заряды общим весом 1689 т, заложенные в 4 камерах. Затем был подорван основной заряд весом 3604 т [4].

Вторая серия взрывов (левобережная) проведена 14 апреля 1967 г. (таблица 1, [3]) и состояла из 2-х очередей подрывов зарядом, суммарный вес которых составил 3940 т. Сначала одновременно были подорваны камеры 2, 3, 4 первого ряда (рисунок 2) с общим зарядом 779 т, затем через 15 мс подорваны камеры 1 и 5 первого ряда с общим зарядом 338 т. Через 2 с взорваны камеры 6–10 второго ряда с суммарным зарядом 2825 т. [4].

Разновременность подрыва зарядов при правобережном и левобережном взрывах была введена с целью создания лучшей направленности действия взрыва и для снижения сейсмического эффекта. Расход взрывчатых веществ на один кубический метр породы, уложенной в тело плотины, составил 3,6 кг/м<sup>3</sup> [4].

Таблица 1. Основные параметры зарядов и интервалы замедлений взрывов в Медео [4]

Правобережные взрывы										
Номер заряда	1	2	3	4	5					
Вес заряда (т)	3604	439	480	275	495					
ЛНС (м)		48	53	48	58					
Интервал замедления (с)	3,6	0	0	0	0,2					
Левобережные взрывы										
Номер заряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вес заряда (т)	175	371	205	208	162	440	445	745	845	350
ЛНС (м)	36	46	41	38	34					
Интервал замедления (с)	0,15	0	0	0	0,15	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0

Примечание: ЛНР – линия наименьшего сопротивления.

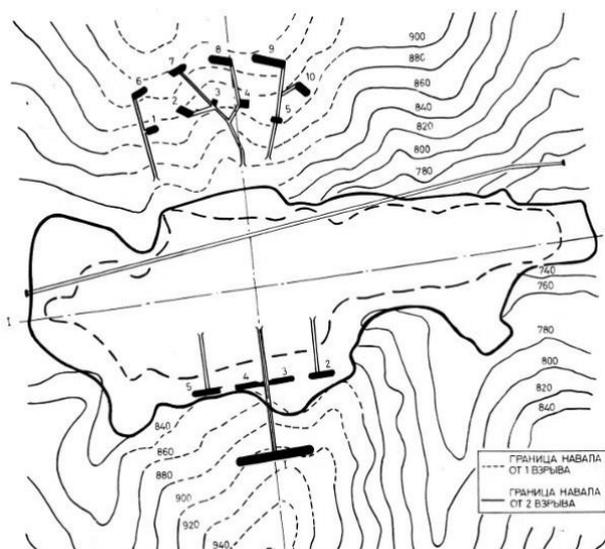


Рисунок 2. План расположения зарядов и контуры развала породы после взрывов в Медео [4]

На рисунке 3 приведены сейсмограммы взрывов 21 октября 1966 г. и 14 апреля 1967 г., зарегистрированные сейсмической станцией Талгар на удалении ~17 км. На сейсмограммах четко выделяются времена вступлений от первой и второй очередей взрывов. Можно видеть, что несмотря на то, что левобережный взрыв был значительно мощнее правобережного, его сейсмический эффект больше.

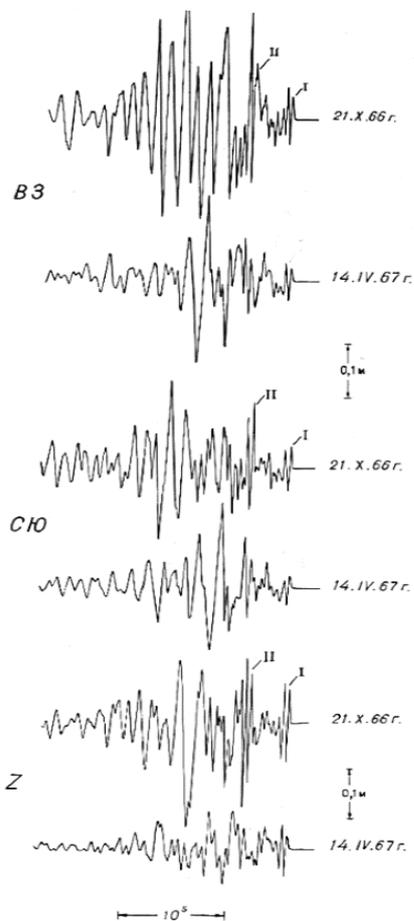


Рисунок 3. Сейсмограммы взрывов 21 октября 1966 г. и 14 апреля 1967 г. в Медео. Станция Талгар (из архива КСЭ ИФЗ АН СССР)

Средняя высота навала породы в створе плотины составила 90 м при ширине по основанию 500 м. В тело плотины брошено более 6 млн. тонн раздроб-

ленной породы. В результате взрыва часть раздробленной породы осталась на склонах. Этот материал был использован для доведения плотины до проектных размеров. Каменно-набросная плотина высотой 107 м образовала селехранилище емкостью 6,2 млн. кубометров и была сдана в эксплуатацию в 1972 г.

15–16 июля 1973 г. плотина задержала сель объемом более 4 млн. м<sup>3</sup> [1]. Однако сель, прошедший в 1973 г., заполнил селехранилище на две трети его объема, и поэтому емкость селехранилища была увеличена до 12,6 миллионов кубометров. В течение 1972–1976 гг., с целью наращивания тела плотины, вблизи нее было проведено большое количество относительно слабых взрывов. В настоящее время высота плотины составляет 144 м, длина по гребню – 530 м, ширина по основанию – 800 м. Согласно подсчетам, плотина сможет выдержать поток грязекаменной массы, втрое превышающий объем селя 1973 г.

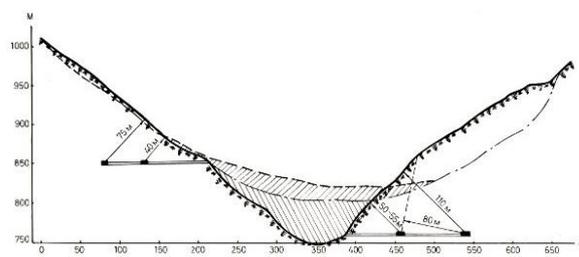


Рисунок 4. Поперечный разрез ущелья по оси плотины до и после взрыва [5]

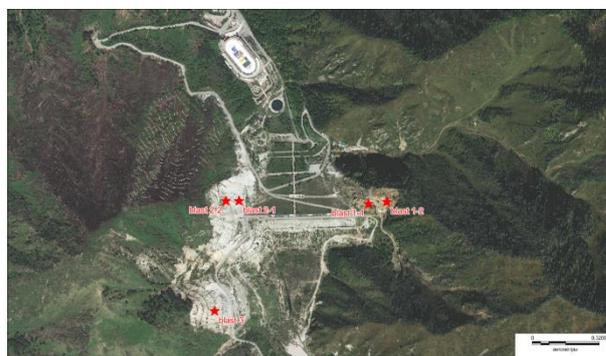


Рисунок 5. Космоснимок селезащитной плотины и эпицентры взрывов 21 октября 1966 г., 14 апреля 1967 г. и 20 ноября 1973 г. [Великанов А.Е.]

Таблица 2. Параметры взрывов для создания плотин

Название взрыва	Дата	Время	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	mb	Мощность заряда, т	Кол-во зарядов
Медео	21.10.1966	04:59:59,1	43,1512	77,0665	5,2	1689	4
Медео	21.10.1966	05:00:02,7	43,1513	77,0676	5,3	3604	1
Медео	14.04.1967	05:00:08,6	43,1514	77,0589	5,0	1121	5
Медео	14.04.1967	05:00:10,8	43,1514	77,0582	5,0	2825	5
Медео	20.11.1973	05:00:21,5	43,1467	77,0575		200	
Бурлыкя	08.02.1975	06:59:59,3	41,52	73,14	4,2	702	5
Учтерек	11.06.1989	06:59:48,4	41,644	73,289	4,9	1623	2
Камбарата	22.12.2009	05:54:33,6	41,7747	73,3312	4,4	2860	2

Примечание: координаты взрывов определены по космоснимкам высокого разрешения [А.Е. Великанов], в отличие от [3], где они даны в 1966 г. по карте.

В период проведения завершающих работ по наращиванию тела плотины, в течение 1972–1976 гг., Комплексной сейсмологической экспедицией Института Физики Земли АН СССР (КСЭ ИФЗ АН СССР) была создана сеть из 8 высокочувствительных радиотелеметрических станций вблизи Алматы. Часть сейсмодатчиков размещалась в глубоких скважинах [6], что позволило снизить уровень сейсмических шумов большого города. За период 1972–1976 гг. станциями радиотелеметрической сети (РТС) было зарегистрировано 211 взрывов, не считая взрывов, записанных только одной станцией Озеро, ближайшей к станции Медео [6]. Условия проведения взрывов в районе Медео были разнообразными – на относительно большой площади, в шурфах, скважинах, карьерах. Минимальные заряды, зарегистрированные станциями РТС, составили 0,3–0,5 т. Преобладающие энергетические классы К зарегистрированных событий составляли 5–8 по станции Талгар [6]. Самым сильным (рисунок 4, таблица 2) из зарегистрированных был взрыв 23 ноября 1973 г. ( $K=10,8$ , мощность ~200 т [6]).

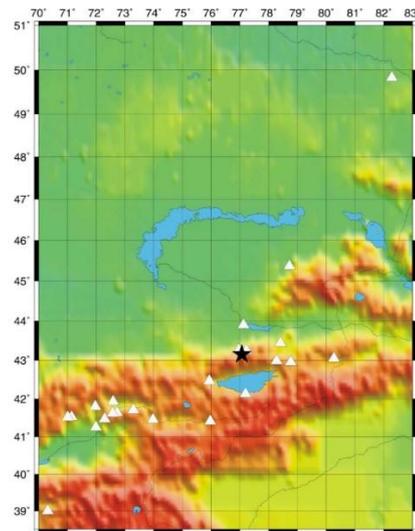
**СИСТЕМА НАБЛЮДЕНИЙ ВЗРЫВОВ В МЕДЕО И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Для проведения научных исследований ИФЗ АН СССР во время проведения взрывов в Медео установил 12 киноаппаратов и аэрофотоаппаратов, 2 самописца давления СД-725 на удалениях 1,2 и 2,5 км (для измерения параметров воздушной ударной волны), около 100 сейсмометров на удалениях 1,1–300 км (рисунок 6) [3] (для изучения сейсмического эффекта, оценки размеров сейсмоопасной зоны и выявления закономерности изменения балльности с расстоянием).

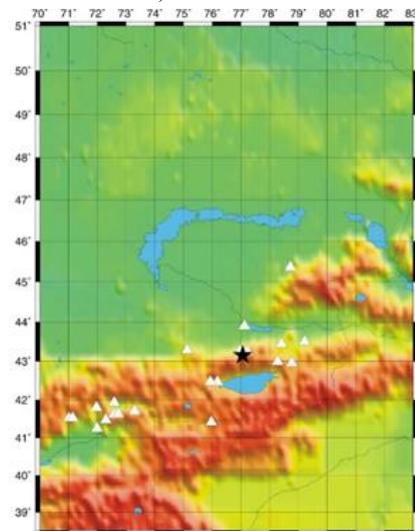
Для проведения данных исследований из архива исторических сейсмограмм КСЭ ИФЗ АН СССР были отобраны и оцифрованы сейсмические записи временных и стационарных сейсмических станций, зарегистрировавших взрывы для строительства плотины Медео. Пример оцифрованных записей взрывов 21.10.1966 г. и 14.04.1967 г. приведен на рисунке 7.

По результатам наблюдений воздушная волна взрыва 21.10.1966 г. в пунктах наблюдения «Х лет Казахстана» (удаление 1,2 км) и ПУА (удаление 2,5 км) практически полностью отсутствовала [3]. Однако инфразвуковой сигнал зарегистрирован на записях микробарографа, установленного на территории обсерватории Талгар на удалении 16,7 км (рисунок 8), время пробега акустической волны составило ~50 с.

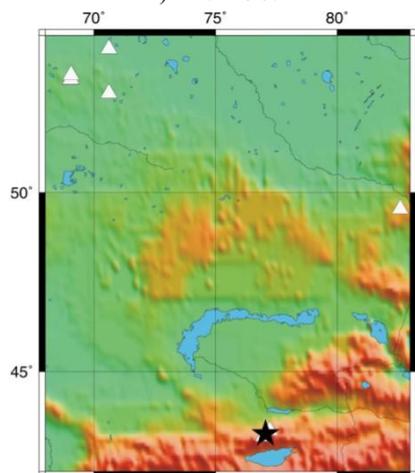
Были проведены макросейсмические исследования. Значения интенсивности сейсмического воздействия в различных пунктах при проведении первой очереди взрывов 1966 г. [3] приведены в таблице 3.



а) 21.10.1966



б) 14.04.1967



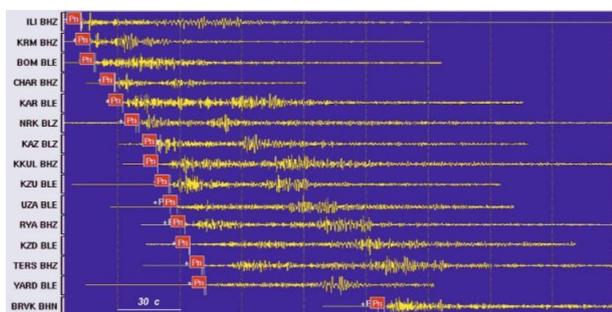
в) 20.11.1973

★ – эпицентр взрыва; △ – сейсмическая станция

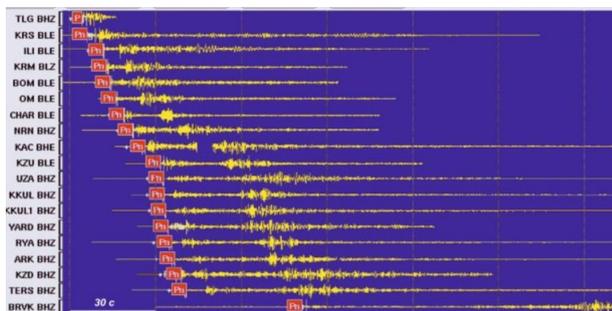
Рисунок 6. Расположение эпицентра взрывов и сейсмических станций, записи которых использованы для построения годографа

Таблица 3. Интенсивность сейсмического воздействия в различных пунктах наблюдений [3]

Пункт	Расстояние, км	Скорость, см/с	Баллы по инструментальным данным	Баллы по макро-сейсмическим данным
Медео	1,1	17	8	7
Горельник	1,7	3,2	6	6
Дом отдыха «Просвещенец»	1,8	6	6	5, 6
Минная станция	2,2	4,5	6	6
Дом отдыха № 2 Совета Министров	4,9	2,5	5	5
Астрономическая обсерватория	7,5	4,6	6	5
Достык, 103	10,5	0,26	2	3
Достык, 89	12,5	0,29	2	
Сейсмостанция Алма-Ата	15,3	1,35	4	4-5
Угол улиц Гоголя – Абылай-хана	15,2	0,6	3	
Микрорайон № 6	19	0,26	2	
Аксай	23,2	0,37	2	
Талгар	16,7	0,21	2	



а) взрыв 21.10.1966 г.



б) взрыв 14.04.1967 г.

Рисунок 7. Оцифрованные сейсмограммы взрыва в Медео (Z-компоненты или компоненты В–З, если Z-компоненты сейсмограмм не подлежали оцифровке)

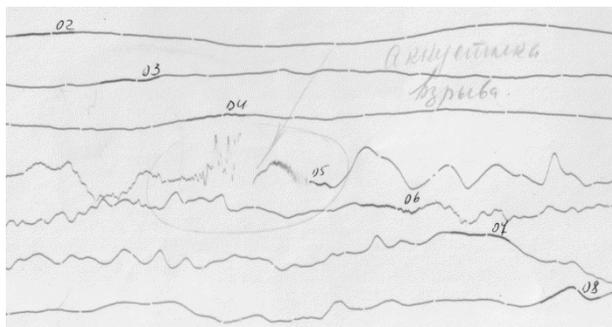


Рисунок 8. Фрагмент записи микробарографа TLG с акустическим сигналом взрыва в Медео 21.10.1966 г.

### ГОДОГРАФ ПО ВЗРЫВАМ В МЕДЕО

При определении положения гипоцентра сейсмического события широко используется годограф сейсмических волн IASPEI91 (International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior) [8]. Однако анализ результатов рутинной обработки записей событий из района Северного Тянь-Шаня показал различие наблюдаемых времен вступления основных региональных фаз по сравнению с расчетными временами вступления, полученными с использованием модели IASPEI91. Выявлены относительно большие эллипсы ошибок событий и плохое определение глубины. В связи с этим актуальной является задача анализа существующих и построения новых годографов, учитывающих специфику геологического строения региона и обеспечивающих возможность более точного определения основных параметров гипоцентров событий – землетрясений и взрывов.

Для рассматриваемого района существует несколько скоростных сейсмических моделей:

1. Скоростная модель земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня до глубин 200 км [Сабитова Т.М., Адамова А.А.], рассчитанная методами сейсмотомографии. Для создания модели использованы времена пробега P- и S-волн от 1977 региональных землетрясений, 3579 телесеismicких землетрясений и от 27 ядерных взрывов. Модель построена для района, ограниченного координатами 39–43°с.ш., 69–80°в.д. [9]. Скоростная модель Сабитовой Т.М. широко используется для локализации событий на территории Кыргызстана и ее близлежащего окружения (юго-восток Казахстана и северо-запад Китая). Для построения скоростной модели использованы данные только трех сейсмических станций на территории Казахстана: Хантау, Талгар и Подгорное [10]. Детально скоростную модель удалось построить для района южнее 43°с.ш., а для района г. Алматы и Алматинской области скоростная модель не разрабатывалась.

2. Годограф Е.А. Розовой. Этот годограф создан в 1936 г. для территории Северного Тянь-Шаня с ис-

пользованием волн  $P^*$ ,  $S^*$ ,  $S$  для эпицентральных расстояний до 800 км и средних глубин 10–15 км.

3. Годограф И.В. Горбуновой построен для Северного Тянь-Шаня для глубин 10 км с использованием  $P$  и  $S$ -волн. Годограф использовался для определения координат эпицентра событий Институтом сейсмологии и СОМЭ МОН РК до 1980 г. [11]).

4. Скоростная модель казахстанского Института сейсмологии построена на основе ретроспективных фондовых и опубликованных материалов по системе профилей глубинных сейсмических зондирований [12]. По результатам обобщения материалов региональных сейсмических зондирований земной коры (ГСЗ, ГСЗ-МОВЗ, КМПВ, профильная томография) В.И. Шацкиным проведено районирование территории Казахстана. Эти модели используются для определения координат эпицентра события в СОМЭ МОН РК с 1980 г. [11].

5. Годограф КСЭ ИФЗ АН СССР построен в результате исследований Нерсесова И.Л. и Раутиан Т.Г. по так называемому Большому профилю «Памир – р. Лена» общей протяженностью ~3500 км, пересекающему сейсмоактивные области Средней Азии, Казахстана, Алтая, Саян и Прибайкалья. Используются данные 54 станций, расположенных на профиле с интервалом 70–120 км. Для повышения точности определения эпицентра событий в районах Средней Азии привлекались наблюдения стационарной сети сейсмических станций. Годограф для эпицентральных расстояний до 3500 км построен КСЭ ИФЗ АН СССР [13].

6. Годограф Михайловой Н.Н. и др. [14] построен для территории Центрального Казахстана при эпицентральных расстояниях 0–1500 км и глубины 0 км для основных региональных фаз  $P$ ,  $P_n$ ,  $P_g$ ,  $S_n$ ,  $S$ ,  $L_g$ . Используются данные калибровочных химических взрывов, произведенных на территории Семипалатинского испытательного полигона (1997–2002 гг.), а также ядерных взрывов, произведенных на территории Семипалатинского испытательного полигона (1964–1975 гг.). На основе годографа с глубиной 0 км рассчитаны скоростные модели для разных глубин. Этот годограф широко применяется в практике создания сейсмического бюллетеня событий из районов Центрального и Восточного Казахстана в Центре данных Института геофизических исследований.

В настоящее время для исследуемого района Северного Тянь Тянь-Шаня имеется возможность уточнить скоростные модели и годографы по дополнительной новой информации. Это, прежде всего, данные по большому количеству эталонных взрывов, которые ранее не были использованы при создании скоростных моделей. Учитывая, что взрывы в Медео имеют хорошо задокументированные параметры и зарегистрированы большим количеством сейсмических станций, целесообразно, используя исторические аналоговые сейсмограммы, построить годограф основных сейсмических фаз на этой основе. Имеется

также большое число цифровых записей взрывов в карьере Котур-Булак близ Алматы, зарегистрированных на близких и региональных расстояниях сейсмическими станциями различных организаций.

Для построения годографов сейсмических волн от взрывов в Медео были отобраны архивные записи станций с хорошо определенными координатами. По первой серии взрывов 1966 г. замеры параметров записей проведены для 22 станций с эпицентральными расстояниями от 7,6 км (Обсерватория) до 842 км (Усть-Каменогорск), на которых были установлены сейсмометры СКМ и СКД; по серии взрывов 1967 г. замеры проведены для 21 станции с эпицентральными расстояниями от 0,8 км (Горельник) до 529 км (Яродар), на которых также были установлены сейсмометры СКМ и СКД; по взрывам 1973 г. замеры проведены для 8 станций с эпицентральными расстояниями от 10,2 км (ст. Озеро) до 1261 км (Чкалово) – (рисунк 6), на которых были установлены сейсмометры СКМ, РВЗТ и КСЭ. На рисунке 9 приведено распределение эпицентральных расстояний взрывов в Медео для станций, по которым проведены замеры основных параметров записей сейсмических волн  $P$ ,  $P_g$ ,  $P_n$ ,  $S$ ,  $L_g$ . На большинстве станций для сейсмограмм использовалась развертка 120 мм/мин, для станций Талгар и Алма-Ата – 240 мм/мин. При взрывах 1966 и 1967 гг. из-за того, что они не были одиночными, а подрывались с замедлением, замеры были осложнены тем, что на большинстве сейсмограмм удавалось выделить два вступления  $P$ , соответствующие подрыву первой и второй группы зарядов (рисунк 3). К сожалению, фазу  $S$  удалось выделить только для 1-го подрыва.

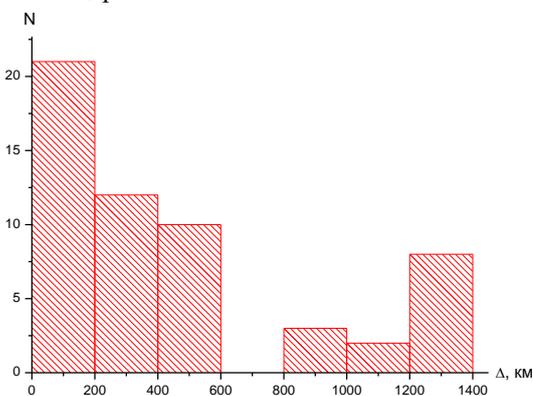


Рисунок 9. Распределение эпицентральных расстояний взрывов в Медео

Годограф, построенный по результатам регистрации взрывов в Медео для волн  $P_n$ ,  $S$ ,  $L_g$ , приведен на рисунке 10.

Годографы основных региональных типов волн строились с использованием линейного регрессионного анализа данных. Времена пробега основных региональных сейсмических фаз в зависимости от эпицентрального расстояния представлены уравнениями (таблица 4).

Таблица 4. Уравнения времен пробега основных типов сейсмических волн для взрывов Медео

Фаза	Расстояние, км	Время пробега	Скорость, км/с
P	10–250	$0,268+0,1649*\Delta$	6,06
Pn	250–1400	$13,004+0,117*\Delta$	8,52
S	10–250	$1,181+0,280*\Delta$	3,57
Lg	250–1400	$7,071+0,272*\Delta$	3,67

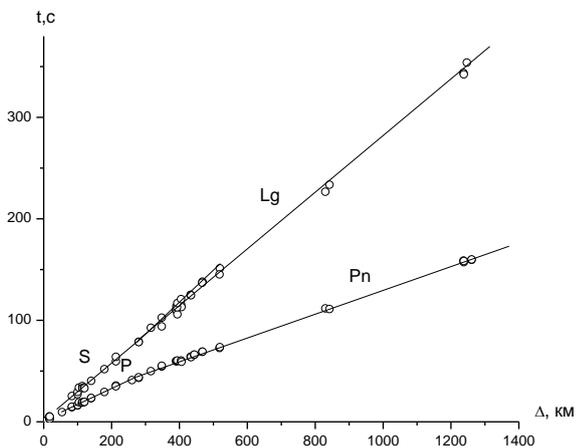


Рисунок 10. Годограф волн Pn, S, Lg по результатам регистрации взрывов в Медео

Из рисунка 10 видно, что некоторые расстояния обеспечены информацией о временах пробега недостаточно представительно, кроме того, не удалось построить годограф волн P<sub>g</sub> и S<sub>n</sub>. Для дополнения годографов использованы данные других эталонных взрывов, произведенных в районе Северного Тянь-Шаня, – в карьере Котур-Булак вблизи г. Алматы.

**ГОДОГРАФ ПО ВЗРЫВАМ В КАРЬЕРЕ КОТУР-БУЛАК**

Карьер Котур-Булак (рисунок 11) работает с 2003 г., имеет координаты 43,2711°с.ш. и 77,1057°в.д., рядом с ним на расстоянии 4,6 км находится сейсмическая станция Котур-Булак СОМЭ МОН РК. Карьер компактный по размеру, взрывы достаточно мощные, записываются большим количеством станций на расстоянии до 844 км (станция Курчатов). Для задачи построения годографа были отобраны взрывы, зарегистрированные станцией Котур-Булак и большим количеством других станций (рисунок 11). Примеры сейсмограмм котур-булакского взрыва 28 июля 2012 г. ( $t_0=8-40-16,1$ ,  $m_{rv}=3,2$ ,  $K=7,2$ ) приведены на рисунке 12-а – записи станции KNDC (Алматы) на расстоянии 9,3 км и на рисунке 12-б – записи других станций Института геофизических исследований.

Всего для построения годографа были обработаны записи 66 котур-булакских взрывов за 2003–2016 гг., сделано 1641 замеров по 39 сейсмическим станциям (рисунок 11). Диапазон энергетических классов  $K=4,7\div 7,8$ ,  $m_{rv}=2,3\div 3,8$ , диапазон эпицентральных расстояний  $\Delta=4,6\div 844$  км (рисунок 13).

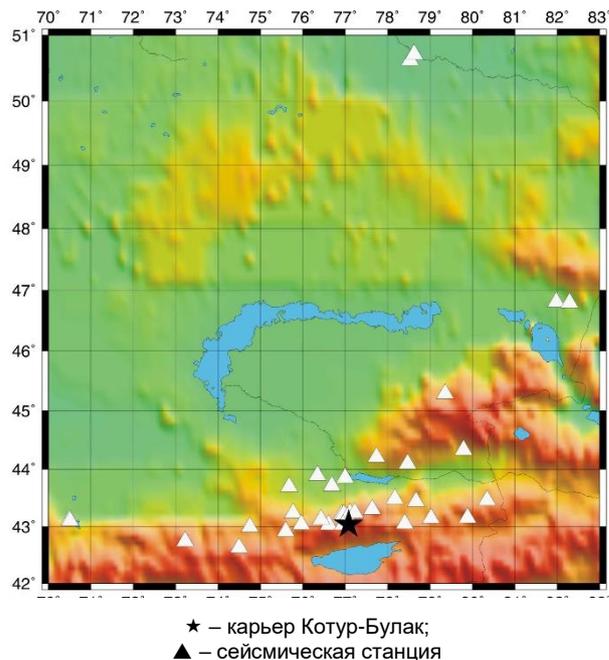
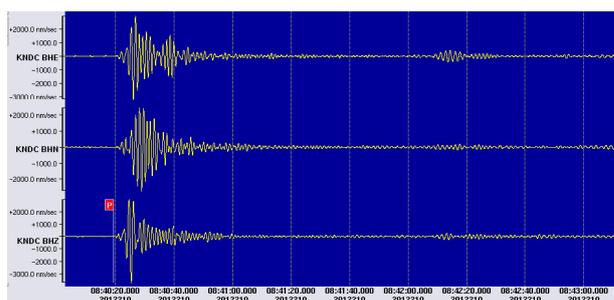
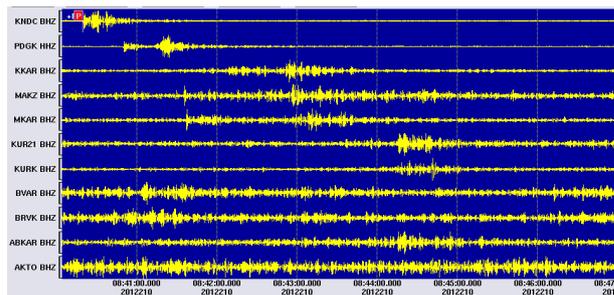


Рисунок 11. Расположение карьера и сейсмических станций, записи которых использованы для построения годографа



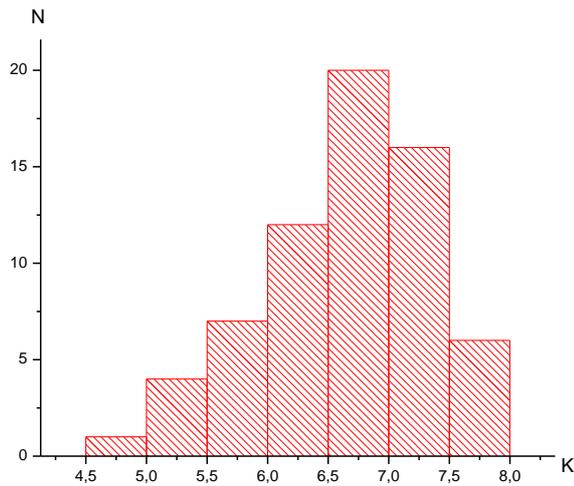
а) станция KNDC, фильтр 0,6 Гц



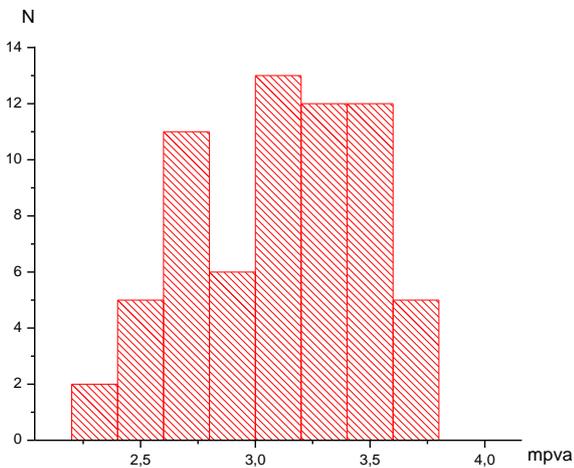
б) станции сети ИГИ МЭ РК

Рисунок 12. Сейсмограммы взрыва Котур-Булак 28 июля 2012 г. ( $t_0=8-40-16,1$ ,  $m_{rv}=3,2$ ,  $K=7,2$ ) (Z-компонента)

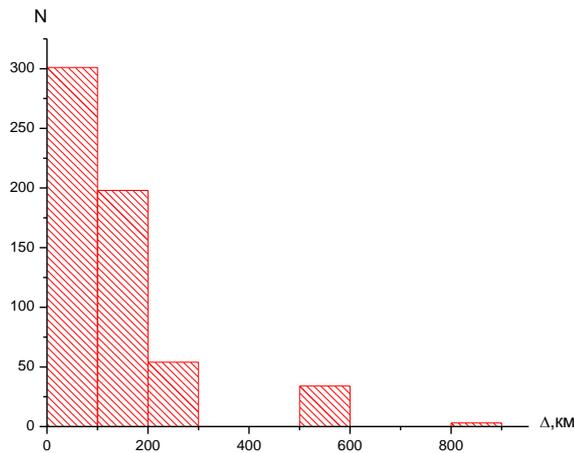
Времена пробега основных региональных сейсмических фаз в зависимости от эпицентрального расстояния для котур-булакских взрывов представлены уравнениями (таблица 5). Годограф сейсмических волн от взрывов Котур-Булак приведен на рисунке 14.



а) по энергетическому классу K



б) по magnitude mрva



в) по расстоянию

Рисунок 13. Распределения для взрывов Котур-Булак

Таблица 5. Уравнения времен пробега основных типов сейсмических волн для взрывов Котур-Булак

Фаза	Расстояние, км	Уравнение	Скорость
P	10–250	$0,764+0,162*\Delta$	6,19
Pn	250–850	$13,456+0,114*\Delta$	8,76
Pg	250–850	$-1,999+0,168*\Delta$	5,96
S	10–250	$2,056+0,278*\Delta$	3,59
Lg	250–850	$0,154+0,281*\Delta$	3,56

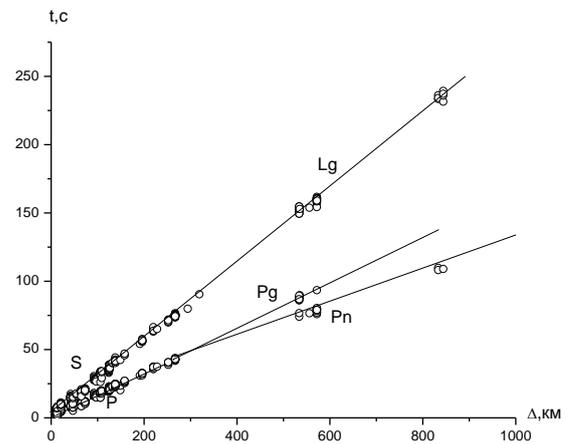


Рисунок 14. Годограф по результатам регистрации взрывов Котур-Булак

**ГОДОГРАФ ПО ВЗРЫВАМ БУРЛЫКИЯ И УЧТЕРЕК**

Взрывы Бурлыкя и Учтерек в Токтогульском районе Киргизской ССР проведены на расстояниях менее 15 км от места строительства плотин Камбаратинских ГЭС в целях обоснования проектов создания этих плотин и изучения сейсмоэффектов от взрывов непосредственно в районе строительства (таблица 2). Строительство Камбаратинской ГЭС-2 было возобновлено в 2008 г. на основе приостановленного в конце 1980-х годов и ныне дорабатываемого проекта. Для образования тела плотины в её створе на правом берегу р. Нарын 22 декабря 2009 г. были произведены взрывы двух зарядов взрывчатых веществ массой 700 и 2160 т с временным интервалом в 1,7 с [16]. Для анализа отобрано и обработано 120 сейсмических записей, зарегистрированных станциями, расположенными на локальных и региональных расстояниях от взрывов. По результатам замеров времен вступления рассчитаны времена пробега основных региональных фаз и построены годографы [16].

$$t(Pn) = 10,86 + 0,12 * \Delta \quad (1)$$

$$t(Pg) = 0,57 + 0,17 * \Delta \quad (2)$$

$$t(Sn) = 16,91 + 0,21 * \Delta \quad (3)$$

$$t(Lg) = 0,91 + 0,29 * \Delta, \quad (4)$$

где t, с – время пробега соответствующей волны.

Полученные значения скорости продольных и поперечных волн для взрывов, проведенных в Северном Тянь-Шане, больше, чем для Камбаратинских взрывов.

**СВОДНЫЙ ГОДОГРАФ ПО ВЗРЫВАМ В МЕДЕО И В КАРЬЕРЕ КОТУР-БУЛАК**

В таблице 6 приведены результаты расчета сводных годографов сейсмических волн от взрывов как в Медео, так и в карьере Котур-Булак для эпицентральных расстояний от 10 до 1400 км.

Таблица 6. Уравнения времен пробега основных типов сейсмических волн для взрывов Медео и Котур-Булак

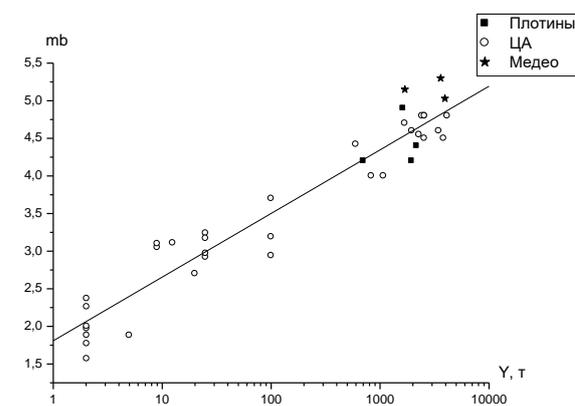
Фаза	Расстояние, км	Уравнение	Скорость
P	10–250	$1,139+0,158*\Delta$	6,32
Pn	250–1400	$12,393+0,117*\Delta$	8,53
Pg	250–850	$-1,999+0,168*\Delta$	5,96
S	10–250	$2,464+0,275*\Delta$	3,64
Lg	250–850	$1,075+0,279*\Delta$	3,59

Примечание: скорость P-волны для расстояний до 10 км составляет 5,2 км/с.

**ДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ХИМИЧЕСКИХ ВЗРЫВОВ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ**

Изучение динамических параметров химических взрывов имеет важное значение для ряда таких задач, как определение мощности в тротиловом эквиваленте взрыва по сейсмическому эффекту, оценка воздействия на сооружения, планирование калибровочных взрывов, а также для задач обнаружения несанкционированных подземных ядерных взрывов и др. Экспериментально установлено, что отнесенная к очагу энергия сейсмических волн  $E_c$ , возбуждаемых взрывом сейсмических волн, зависит от упругих и поглощающих свойств горных пород, вмещающих взорванный заряд и характеризуемых скоростью продольных волн  $V_p$ , плотностью  $\rho$ , пористостью и водонасыщенностью [17]. При взрывах зарядов равной мощности, помещенных в штольни/скважины одного и того же размера, но пройденных в различных горных породах, энергия сейсмических волн тем больше, чем больше скорость волн и плотность вмещающих горных пород, а также их водонасыщенность. Кроме того, важную роль при этом играет глубина заложения заряда. В [17] проведен детальный анализ сейсмических эффектов двух 100-тонных калибровочных взрывов Омега-2 (1999 г.) и Омега-3 (2000 г.), проведенных на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) в одной и той же штольне горного массива Дегелен. Было установлено, что сейсмическая энергия второго взрыва значительно меньше, чем первого, что связано с влиянием разрушенности геологической среды. На рисунке 15 приведена зависимость магнитуды от мощности, построенная для исследовательских и калибровочных взрывов на СИП за 1961–2002 гг., взрывов в Медео,

Байпазы, промышленных и исследовательских взрывов в Центральной Азии, а также Токтогульских взрывов. Видно, что сейсмический эффект взрыва Бурлыкя и Байпазы хорошо согласуется с данными других взрывов в регионе. У взрыва Учтерек, а также у правобережных взрывов Медео сейсмический эффект оказался выше, а у Камбараты и левобережных взрывов Медео – ниже по отношению к предсказанному средней зависимостью (рисунок 15).



○ – сильный промышленный/исследовательский взрыв на территории Центральной Азии; ■ – взрывы Байпаза, Бурлыкя, Учтерек, Камбарата; ★ – Медео

Рисунок 15. Зависимость магнитуды  $m_b$  от мощности взрывов

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Для взрывов 21 октября 1966 г., 14 апреля 1967 г. и 20 ноября 1973 г., произведенных в районе Медео (Северный Тянь-Шань) при строительстве селезащитной плотины, изучены кинематические и динамические параметры записей временных и стационарных сейсмических станций из архива исторических сейсмограмм КСЭ ИФЗ АН СССР. Собраны сведения о макросейсмических проявлениях взрывов в г. Алматы и прилегающей территории.

Построен сводный годограф для района Северного Тянь-Шаня вблизи г. Алматы по данным взрывов в Медео и взрывов на карьере Котур-Булак. Проведено сравнение этого годографа с годографом, построенным по данным мощных промышленных и исследовательских взрывов, произведенных с целью строительства дамб в Кыргызстане: 8 февраля 1975 г. – Бурлыкя, 11 июня 1989 г. – Уч-Терек, 22 декабря 2009 г. – Камбарата.

Полученные результаты можно будет использовать для улучшения локализации сейсмических событий и для моделирования системы раннего предупреждения г. Алматы.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Флейшман, С.М. Сели / С.М. Флейшман. – Ленинград: Гидрометеиздат. – 1978. – 314 с.
2. Проскурин, В.Н. Алма-Ата от А до Я в калейдоскопе событий //Электронный ресурс: <http://vernoye-almaty.kz/a-z.shtml>
3. Кевлишвили, П.В. Взрыв в Медео. Предварительный отчет по результатам научных наблюдений, проведенных экспедициями ИФЗ АН СССР. / П.В. Кевлишвили, А.Н. Ромашов, Т.В. Раутиан [и др.]. – Москва-Алма-Ата, 1966. – 82 с.

4. Родионов, В.Н. Применение крупных взрывов на строительстве плотин / В.Н. Родионов, А.Н. Ромашов // Peaceful nuclear explosions 111. – Vienna: International Atomic Energy Agency, 1974.
5. Adushkin, V.V. Seismic and source characteristics of large chemical explosions / V.V. Adushkin, V. N. Kostuchenko, L. M. Pernik [et al]. – М.: IDG, 1995. – 334 p.
6. Гальперин, Е.И. Изучение сейсмического режима крупных промышленных центров / Е.И. Гальперин, И.Л. Нерсесов, Л.М. Воровский, Р.М. Гальперина, А.И. Чесноков. – М.: Наука, 1978. – 188 с.
7. Соколова, И.Н. Исторические записи взрывов для создания селезащитной плотины в Медео / И.Н. Соколова, И.Б. Алещенко // Тезисы IX Международной конференции «Мониторинг ядерных испытаний и их последствий», 08–12 августа 2016 г., Алматы. – С. 134–136.
8. Bormann, P. Ed. New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP-2). – Potsdam: Deutsches GeoForschungs-zentrum GFZ. IASPEI, 2012.
9. Бакиров, А.Б. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью / отв. редактор ред. А.Б. Бакиров. - Бишкек: Илим. – 2006. – 116 с.
10. Соколова, И.Н. О характеристиках сейсмического шума на периодах, близких к 1,7 с, по данным станций Северного Тянь-Шаня / И.Н. Соколова, Н.Н. Михайлова // Вестник НЯЦ РК, 2008. – Вып. 1. – С. 48–53.
11. Mikhailova, N.N. Present Status of the Network for Seismic Observations in Kazakhstan / N.N.Mikhailova, A.K. Kurskeev // Journal of Earthquake Prediction Research. – Vol.4, N.5. – 1995. – P. 497–506.
12. Шацлов, В.И. Скоростные модели земной коры Казахстана / В.И. Шацлов [и др.]. – Алматы: Евразия, 1993. – 105 с.
13. Нерсесов, И.Л. Кинематика и динамика сейсмических волн на расстояниях до 3500 км от эпицентра // И.Л. Нерсесов, Т.Г. Раутиан // Экспериментальная сейсмика. Труды ИФЗ АН СССР. – М.: Наука, 1964. – С. 63–87.
14. Михайлова, Н.Н. Годограф сейсмических волн по результатам регистрации сигналов от химических взрывов / Н.Н. Михайлова, И.Л. Аристова, Т.И. Германова // Вестник НЯЦ РК: Геофизика и проблемы нераспространения, 2002. – Вып. 2 (10). – С. 46–54.
15. Khalturin, V. I. The seismic signal strength of chemical explosions / V. I. Khalturin, T.G.Rautian, P. G. Richards // Bull. Seism. Soc. Am., 1998, v. 88. – P. 1511–1524.
16. Аристова, И.Л. Сопоставление кинематических и динамических параметров мощных химических взрывов Бурлыкя, Учтерек и Камбарата / И.Л. Аристова, Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – Вып. 1. - С. 51–56.
17. Михайлова, Н.Н. Сравнение калибровочных взрывов Омега-2 и Омега-3 по сейсмическим данным на региональных расстояниях / Н.Н. Михайлова, И.Н. Соколова // Вестник НЯЦ РК: Геофизика и проблемы нераспространения. – 2002. – Вып. 2. – С. 36–45.

## МЕДЕУДЕ СЕЛ ТАСҚЫНЫНАН ҚОРҒАУ БӨГЕТІН ЖАСАУ ҮШІН ЖҮРГІЗІЛГЕН ЖАРЫЛЫСТАРДЫҢ ТАРИХИ СЕЙСМИКАЛЫҚ ЖАЗБАЛАРЫ

И.Н. Соколова

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Медеуде бөгетті салу үшін жүргізілген жарылыстардың сипаттамалары (1966 ж. 21 қазан, 1967 ж. 14 сәуір және 1973 ж. 20 қараша), Алматы қ. осы жарылыстардың макросейсмикалық көріністері туралы мәліметтер, сондай-ақ Орталық Азияда бөгеттің құрылысын жүргізу кезінде қуатты өнеркәсіп және зерттеу жарылыстарымен салыстырғандағы сейсмикалық әсер қарастырылды. Тарихи мұрағаттық сейсмограммалар негізінде құрылған жақын және аймақтық арақашықтағы негізгі аймақтық фазалардың годографы, сондай-ақ Алматы қ. маңындағы Солтүстік Тянь-Шань ауданы үшін жиынтық годограф суреттелді. Қырғызстанда 2009 ж. 22 желтоқсанда болған қуатты Қамбар ата жарылысының жазбалары бойынша құрылған годографпен салыстыру жүргізілді. Алынған нәтижелер сейсмикалық оқиғаларды оқшаулауды жақсарту үшін және Алматы қ. ерте ескерту жүйесін моделдеу үшін пайдаланылуы мүмкін.

## HISTORICAL SEISMIC RECORDS OF EXPLOSIONS, CARRIED OUT TO CREATE THE MUD DAM IN MEDEO

I.N. Sokolova

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The author studied characteristics of explosions in Medeo (October 21, 1966, April 14, 1967 and November 20, 1973) implemented for construction of the dam, information on macro-seismic occurrences of these explosions in Almaty city as well as seismic effect in comparison with strong industrial and research explosions during the construction of dams in Central Asia. A travel-time curve of main regional phases for close and regional distances was described; it was constructed on the basis of historical archived seismograms as well as a composite travel-time curve for the region of Northern Tien Shan near Almaty. There was a comparison drawn with the travel-time curve, constructed on records of a strong Kambarata explosion on December 22, 2009, in Kyrgyzstan. The obtained results may be used to improve localization of seismic events and modeling of early warning system in Almaty.

УДК 550.8.621.039.9(24)

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ФИЛЬТРАЦИИ В СУГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ  
(НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТВАЛА ТЭЦ-2 г. АЛМАТЫ)****Шайторов В.Н., Ефремов М.В., Мариненко В.А., Жолдыбаев А.К., Кушербаева Н.Н.,  
Шульга М.В., Шевченко В.П., Максимов Е.М.***Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Приведены результаты исследования возможностей повышения достоверности геофизических данных при выявлении зон фильтрации в суглинистых грунтах на основе расширения числа изучаемых информативных параметров. Кроме традиционно используемого естественного электрического поля (ЕП), привлечены вызванная поляризация (ВП) и газопроницаемость. Показана эффективность усовершенствованной технологии на примере выявления локальных мест фильтрации в золотвале № 1 ТЭЦ-2 г. Алматы.

**ВВЕДЕНИЕ**

Обеспечение безопасной эксплуатации промышленных объектов, расположенных в местах распространения структурно неустойчивых пород, таких как слабопроницаемые грунты повышенного увлажнения, напрямую связано с наличием достоверных данных об изменении деформационных свойств основания таких объектов. Как показала практика [1, 2], особенно актуальной эта проблема является для глинистых грунтов при их обводнении вследствие нисходящей фильтрации поверхностных вод. Поэтому одной из важных задач инженерно-геологических исследований является выявление участков сосредоточенной фильтрации воды.

Традиционные методы изучения фильтрационных процессов базируются на применении гидрогеологического опробования (опытные наливки в шурфах и скважинах). Данная технология достаточно трудоемка, малопроизводительна и практически не приемлема при обследовании значительных площадей по плотной сети наблюдения. В таких условиях для выявления и изучения фильтрационных процессов, как показано в [3–5], перспективно привлечение геофизических методов, в частности, методов естественного электрического поля (ЕП) и электрического сопротивления.

В [6] применение метода ЕП обосновано образованием электрического поля при движении жидкости в пористой среде. При этом участки со нисходящей фильтрацией отмечаются пониженными значениями потенциала ЕП, а восходящей – повышенными значениями. Интенсивность наблюдаемого поля тем выше, чем меньше мощность перекрывающей толщи и чем выше значения электрического сопротивления вмещающих пород по сравнению с зоной фильтрации. Из приведенных закономерностей следует, что в электропроводящих суглинистых грунтах не следует ожидать интенсивных аномалий фильтрационного происхождения. Кроме того, известно [6], что аномальные эффекты в методе ЕП, сходные с фильтрационными процессами, часто образуются за счет формирования диффузионно-адсорбционных потенциалов, связанных с различием пористости грунтов и

минерализации поровой жидкости. В приповерхностной части грунтов диффузионно-адсорбционные поля существенно зависят от климатических и погодных условий влажности, температуры, минерализации вод. Эти поля наблюдаются совместно с фильтрационными и разделить их, как правило, не представляется возможным.

Осложняющим фактором при диагностике природы аномальных эффектов, связанных с инфильтрацией воды, является также наличие в грунтах электропроводящих объектов – металлических труб, различных коммуникаций. Они выступают как «природные гальванические элементы», неравномерно окисляющиеся по глубине, что проявляется в создании локальных отрицательных аномалий ЕП, которые по конфигурации могут быть сходными с фильтрационными.

Методы электрического сопротивления для изучения фильтрационных потоков [4, 5] применяют благодаря уменьшенному удельному электрическому сопротивлению грунтов в зоне влияния фильтрационного потока за счет их повышенной влажности и водонасыщенности. Однако в электропроводящих суглинистых грунтах этот признак фильтрационных потоков часто бывает ненадежным. Поэтому методы электрического сопротивления (в различных модификациях профилирования и зондирования) при выявлении и изучении фильтрационных потоков, как правило, используют в качестве дополнительных к методу ЕП.

В данной статье, приведены результаты привлечения (кроме естественного поля) таких параметров, как поляризуемость и газопроницаемость для выявления зон фильтрации в грунтах, в первую очередь, суглинистых. Полагалось, что присутствие золы может выступать в качестве поляризуемого материала, создающего эффект вызванной поляризации как за счёт ионной проводимости, так и из-за наличия в нем гематита [7]. При этом зоны с повышенной водопроницаемостью должны проявиться локальными шлейфами аномально повышенной поляризуемости, а, учитывая данные из [8] о пропорциональной зависимости газо- и водопроницаемости в различных ти-

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ФИЛЬТРАЦИИ В СУГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ  
(НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОВАЛА ТЭЦ-2 г. АЛМАТЫ)**

пов глинистых пород – положительными газовыми аномалиями.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ УЧАСТОК**

Информационную основу при рассмотрении вопроса о возможном повышении достоверности геофизических данных при выявлении фильтрационных зон в структурно неустойчивых суглинистых грунтах составили данные экспериментальных съёмок на золоотвале ТЭЦ-2 в г. Алматы. Экспериментальный участок представляет блоковую структуру проседания, сформировавшуюся в зоне тектонического нарушения, проявленной в рельефе дневной поверхности в виде оврага глубиной порядка 20 м (палеоруло реки Каргалинка). Конструктивно золоотвал (рисунок 1) представляет чашу размером 330–450×11400 м накопителя золы с ограждающими подпорными дамбами из местных лессовидных суглинков с уплотнением грунта высотой 6–20 м и шириной по гребню 7,5–8,5 м. Верхняя часть разреза до глубины порядка 8–10 м сложена золой с включением мелкого шлака: до 2–3 м – зола сухая и слабовлажная с электрическим сопротивлением (по данным ВЭЗ) порядка 100–300 Ом×м; ниже – влажность золы возрастает с понижением электрического сопротивления до значений порядка 20–25 Ом×м. Подстилающие золу лессовидные суглинки мощностью порядка 18–30 м слабоводостойкие с прослоями и линзами водонасыщенных песков. Насыщенные высокоминерализованной водой такие неоднородные грунты характеризуются минимальными значениями электрического сопротивления – от 2–3 до 10–20 Ом×м. Грунтовые воды, приуроченные к пескам и суглинкам с прослоями песков, встречаются на глубинах 20–25 м.

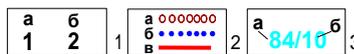
Данная площадка представляет интерес как один из примеров среды пониженной прочности с неравномерным уплотнением, для которой экологически важной является задача выявления и контроля за ослабленными зонами с повышенной фильтрацией воды. Аналогичные задачи актуальны для мест размещения различных ответственных объектов, возведенных на осадочных суглинистых породах, в том числе, объектов атомной энергетики.

**МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ СЪЕМОК**

Измерения на экспериментальном участке (рисунок 1) проведены методами ЕП, ВП и атмогеохимии.

*Метод естественного электрического поля (ЕП).* Площадная съемка проведена для общей оценки фильтрационной обстановки с выявлением (по аномально пониженным значениям потенциала ЕП) вероятных участков с повышенной вертикальной фильтрацией воды. Измерения выполнены способом потенциала согласно требованиям [9] с использованием электроразведочного приёмника ВПФ-210м (разработка РГП ИГИ) и медно-сульфатных неполяризующихся электродов. Сеть наблюдений 40×10 м со сгущением до 20×10 м (в южной половине площадки с наиболее сложным характером поля ЕП).

Достигнутая относительная погрешность съёмки – не хуже ±5 %, что вполне удовлетворяет требованиям [10].



1 – профили электроразведочных съёмок: (а) ЕП, (б) ДЭЗ-ВП, (в) по которым приведены примеры интерпретации данных ДЭЗ-ВП; 2 – номера профилей (числитель – номер в десятках метров, знаменатель – пикет в метрах)

*Рисунок 1. Схема профилей на экспериментальном участке методами ЕП и ДЭЗ-ВП*

*Метод дипольного электрического зондирования (ДЭЗ-ВП).* Площадная съемка выполнена для оценки степени неоднородности разреза на глубинах от 1 до 15–20 м по поляризуемости, с выделением локальных изменений этого параметра, пространственно увязанных с аномальными зонами ЕП. Измерения выполнены с использованием генератора ГЭР-65W-500V и измерителя ВПФ-8к (разработки РГП ИГИ) дипольной установкой с питающей и приёмной линиями, ориентированными по профилю (схема «диполь – диполь»). Получение данных по распределению поляризуемости в заданном интервале глубин обеспечено зондированиями в каждой точке по 8 срезам путём изменения расстояния между центрами питающей и приёмной линиями. Для обеспечения исследования разреза до глубины не менее 20 м размеры питающего и приёмного диполей составляли 5 м, расстояние между их центрами – от 5 до 40 м, шаг наблюдений – 5 м. При детальных съёмках на глубину порядка 5 м размеры обоих диполей уменьшены до 1 м, шаг наблюдений составлял 2 м. Достигнутая относительная погрешность съёмки была не хуже ±5 %, что соответствует требованиям [10].

*Атмогеохимическая съёмка.* Площадная съёмка содержания газа-индикатора  $\text{CO}_2$  выполнена для проверки зон фильтрации, выделенных по электрическим параметрам, а также для оценки относительной водопроницаемости этих зон по сформированным локальным газовым потокам в покровных отложениях, непосредственно над разуплотненными ослабленными структурами [11], что широко используется в инженерной геологии [12]. Содержание газа-индикатора  $\text{CO}_2$  измерялось газоанализатором X-am 7000 (Dräger, Германия). Пробы почвенного воздуха отбирались из шпуров глубиной ~0,5 м специальным пробоотборником с шагом 5 м, а при сгущении – с шагом до 1 м. Повышение точности данных обеспечивалось за счет выполнения измерений в двух рядом пройденных шпурах. Расхождение в обоих измерениях не превышало  $\pm 20\%$ , что соответствует требованиям [13].

### РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ СЪЕМОК

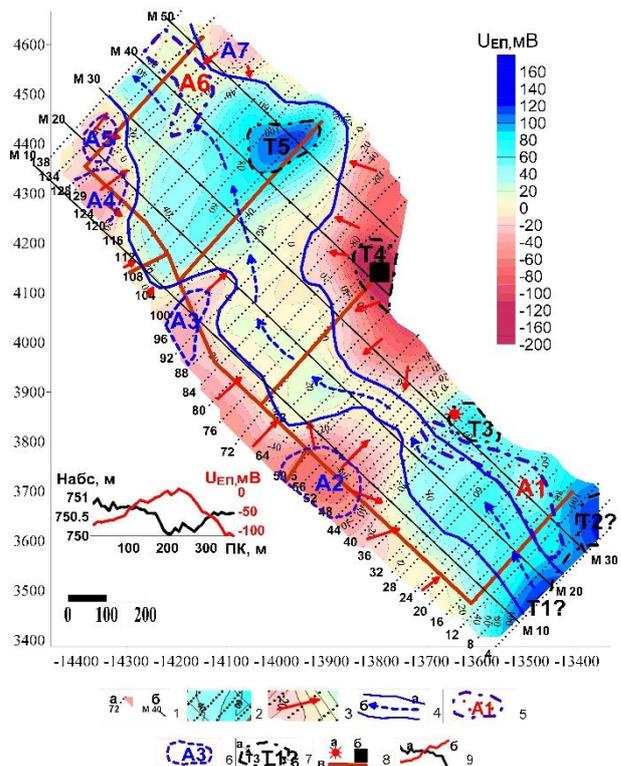
#### Оценка фильтрационной обстановки по аномальным эффектам естественного электрического поля

Результаты площадной съёмки потенциала естественного поля приведены на рисунке 2.

Как видно из рисунков 2-а, б, основная закономерность состоит в возрастании значений потенциала ЕП от бортов дамбы к центральной части золоотвала при одновременном понижении высотных отметок рельефа накопителя. Такое «обратное» соотношение этих параметров согласно [6], однозначно объясняется фильтрационным происхождением и в данном случае вызвано, судя по значительному перепаду значений потенциала ЕП (до  $\geq 100$  мВ) и размером аномальной зоны ( $>100$  м), – стоком поверхностных вод, в том числе и по погребенному рельефу. В этой связи, область, прилегающая к зонам с максимальным значением потенциала, проинтерпретирована как палеоруслу реки Каргалинка, долина которой расширена в юго-восточной и северо-западной частях золоотвала.

Для оценки фильтрационных свойств суглинистого экрана практический интерес представляют линейно вытянутые зоны с пониженными значениями потенциала ЕП. Наиболее значимые из них – зоны А1 и А6. Зона А1 шириной ~40–60 м прослежена в юго-восточной прибортовой части золоотвала от дамбы до шахтного водозабора. Зона А6, шириной ~40–80 м, – прослежена на северном фланге золоотвала. Эти зоны имеют простирание, согласное с простиранием одной из тектонических структур, проявленных на дневной поверхности в виде оврага. В области влияния таких геодинамических структур, как правило, происходят наибольшие деформации и ухудшение прочностных свойств покровных отложений, частью которых является и противофильтрационный экран. По этим признакам аномальные зоны А1 и А6 отнесены к зонам фильтрационного происхождения.

Выделен ряд других локальных неоднозначно диагностируемых аномальных зон – А2, А3, А4, А5 и А7, –, расположенных в части, прилегающей к северо-западному (профили 88–128) и северному (профили 120–134) бортам дамбы. Аномальные зоны А3 и А4 пространственно связаны с областями сопряжения элементов дренажной системы, содержащей металлоконструкции и поэтому вполне возможна и техногенная их природа.



1 – номер (в десятках метров): (а) профиля, (б) магистрали; 2 – точки наблюдений и изолинии  $U_{\text{EP}}$ ; 3 – направление стока по рельефу; 4 – палеоруслу реки: (а) контур, (б) направление водотока; 5 – зона водопоглощения по данным ЕП; 6 – локальные зоны предполагаемого фильтрационно-диффузионного происхождения; 7 – аномальные зоны, вызванные техногенными объектами: (а) установленными, (б) предполагаемыми; 8 – техногенные объекты: (а) шахтный водозабор, (б) погребенные стальные трубы, (в) элементы дренажной системы; 9 – графики: (а) рельефа дневной поверхности, (б) ЕП

Рисунок 2. Экспериментальный участок: (а) общая фильтрационная обстановка по данным электроразведки методом ЕП, (б) графики рельефа дневной поверхности и ЕП по профилю 59,5

Особенностью поля потенциала является наличие в нём нескольких аномальных зон – Т1?, Т2?, Т3, Т4 и Т5, – со значениями потенциала, превышающими фоновые на  $\pm 100$  мВ и более.

Аномальные зоны Т1? и Т2? расположены в юго-восточной прибортовой части дамбы золоотвала, где трубопроводы параллельны профилям 4, 6 и 8 и находятся в непосредственной близости от них. Но учитывая сходную техногенную нагрузку дамбы на северо-западном фланге золоотвала, в районе профилей 134 и 138, где подобных эффектов не установлено,

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ФИЛЬТРАЦИИ В СУГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ  
(НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТОВАЛА ТЭЦ-2 г. АЛМАТЫ)**

предположено, что аномальные зоны Т1? и Т2? вызваны неоднородностью вещественного состава грунтов, слагающих юго-восточную часть дамбы золоотвала. Диагностика аномальной зоны Т3 как техногенной особых затруднений не вызывает, так как она находится в области влияния металлоконструкций шахтного водозабора.

Аномальные зоны Т4 и Т5 (как представляющие собой диполь) проинтерпретированы согласно [6] как вызванные протяженным электропроводящим объектом на глубине. Предположение полностью подтверждено результатами вскрышных работ, которыми обнаружены два фрагмента стального трубопровода, а также анализом проб суглинистого экрана в пределах аномальной зоны Т4 (точки 1 и 3) и на удалении от неё (точки 4, 5 и 6). Анализы всех проб показали примерно одинаковые плотностные и водофизические свойства без видимых признаков проявления фильтрационных процессов.

**Определение связи аномальных зон в поле электрического потенциала с локальными повышениями водопроницаемости противофильтрационного экрана**

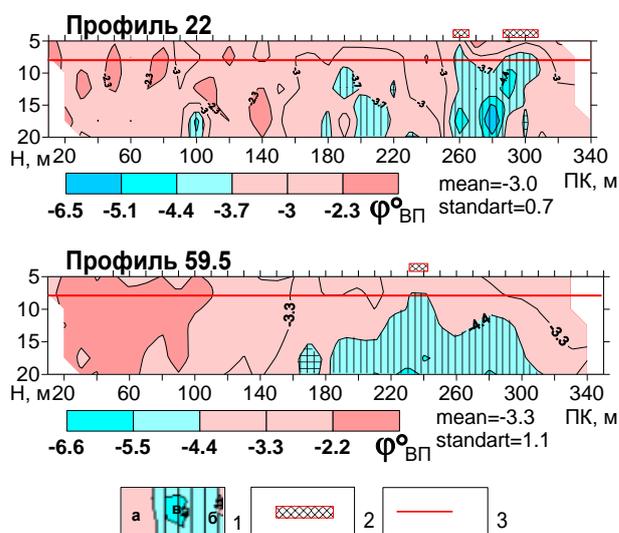
Выполнены исследования по оценке глубинности аномальных зон естественного электрического поля и по локализации мест с повышенной водопроницаемостью в действующем суглинистом экране.

Решение первой задачи осуществлялось в условиях максимальной (порядка 9 м) мощности золы в южной половине золоотвала съемкой по опорным профилям методом ДЭЗ-ВП с шагом 10 м на глубину 20–25 м. Информативность применённой технологии рассмотрена на примере аномальной зоны А1 в сечении профилей 22 и 59,5 (рисунок 3).

Локальные зоны аномально повышенных значений поляризуемости выявлены преимущественно в центральных и восточных частях профилей и прослежены до глубин, существенно превышающих положение действующего (~8–9 м) и погребенного (~12–15 м) противофильтрационных суглинистых экранов, что свидетельствует о высокой миграционной способности поляризуемого материала. На восточном фланге профиля 22, а также профилей 32 и 44, области повышенной поляризуемости удовлетворительно совпадают с аномальной зоной пониженных значений потенциала естественного поля ЕП (А1). Таким образом, наличие поляризуемого материала на глубине фактически подтвердило фильтрационную природу этой аномальной зоны. При этом, судя по глубине распространения аномальной поляризуемости, фильтрация воды происходит не только в действующем, но и погребенном суглинистых экранах.

Для локализации мест с повышенной водопроницаемостью в действующем суглинистом экране выполнены исследования, включавшие детализирующие электроразведочную методом ДЭЗ-ВП и атмогеохимическую съёмки в золоотвале с остаточной мощностью золы порядка 1 м после её выемки. Для

изучения пространства, прилегающего к противофильтрационному экрану, глубинность съемки ДЭЗ-ВП была ограничена ~4,5 м.



mean – средние значения поляризуемости по каждому профилю;  
standart – стандартное отклонение от среднего  
1 - изолинии фазы вызванной поляризации и области со значениями:  
(а) фоновыми (не более стандартного отклонения от средних значений),  
(б) повышенными (превышает стандартное отклонение от среднего),  
(в) аномально повышенными (более удвоенного стандартного отклонения от среднего); 2 – проекция на дневную поверхность предполагаемой зоны повышенной фильтрации в суглинистом экране на глубине 8 м по геофизическим данным; 3 – ориентировочная глубина залегания кровли суглинистого экрана

Рисунок 3. Профили 22 и 59,5. Выявление зон фильтрации в суглинистом экране на глубине 8 м по данным ДЭЗ-ВП

На рисунке 4 приведен пример такой локализации по профилям 12, 22 и 59,5. Как видно из этого рисунка, по наиболее контрастным аномалиям ВП однозначно установлено наличие поляризуемого материала на восточных флангах профилей 12 и 22 на глубинах от 1 до 2–3 м, что, наиболее вероятно, вызвано субвертикальной фильтрацией раствора золы на этих участках действующего противофильтрационного экрана. Аналогичные эффекты получены по профилям 18, 24, 26 и 32. По профилю 59,5 область повышенной поляризуемости установлена глубже действующего противофильтрационного экрана. Такая же повышенная глубина получена по всем профилям, расположенным севернее профиля 32, что, наиболее вероятно, связано с ранее имевшими место фильтрационными явлениями в прежнем погребенном противофильтрационном экране. В целом по результатам детализирующих съемок ДЭЗ-ВП представилось возможным не только уточнить геометрические параметры зон с аномально повышенной поляризуемостью, но и оценить их пространственную связь с неоднородностью суглинистого экрана и зоной А1 в поле ЕП, предположительно обусловленной фильтрационными процессами.

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ФИЛЬТРАЦИИ В СУГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ  
(НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТВАЛА ТЭЦ-2 г. АЛМАТЫ)**

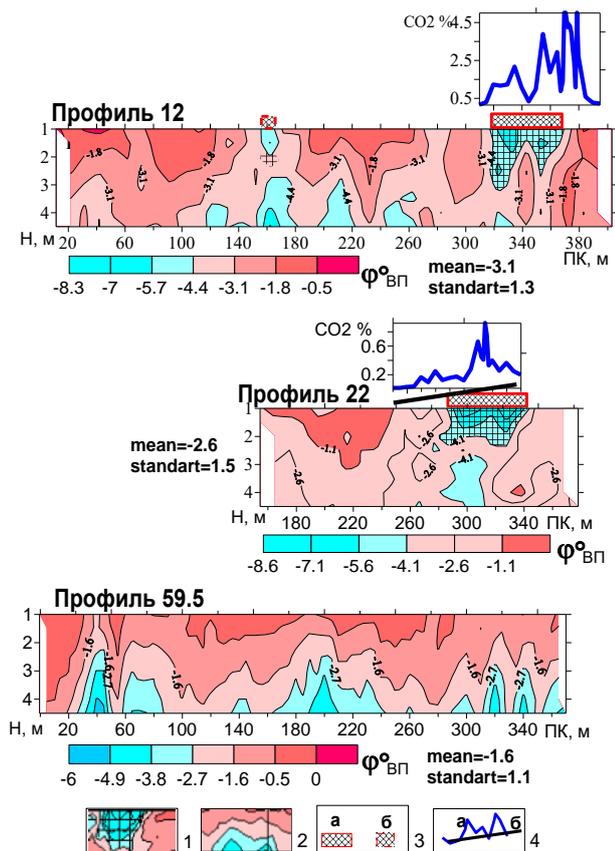


Рисунок 4. Профили 12, 22 и 59,5. Локализация выявленных зон фильтрации в суглинистом экране на глубине 1 м по данным ДЭЗ-ВП с заверкой атмогеохимической съёмкой

Решение вопроса о связи аномалий естественного поля и вызванной поляризации с повышенной водопроницаемостью противofильтрационного экрана получено на основе данных атмогеохимической съёмки по профилям 12, 20, 22, 24, 26 и 32. По аномально повышенному содержанию  $CO_2$  в почвенном воздухе (при фоновых значениях порядка 0,02–0,03 %) определены области с повышенной газопроницаемостью. При этом максимальные значения  $CO_2$  (2,5–4,7 %) установлены по профилю 12 в интервале ПК 345–370. Далее на север значения максимального содержания  $CO_2$  в почвенном воздухе существенно (практически в 50 раз) снижаются вплоть до 0,8 % в аномальной зоне по профилю 22 и до 0,5 % по профилю 24. С учетом [8], где отмечена пропорциональная зависимость газо- и водопроницаемости для различных типов глинистых пород, полученные эффекты можно объяснить повышенной водопроницаемостью суглинистого экрана.

Характерной особенностью газопроницаемых зон является их приуроченность к областям с повышенной поляризуемостью, что свидетельствует о правомочности интерпретации последних как обусловленных локальными (в сечении профилей) зонами с повышенной водопроницаемостью.

Для заверки выявленных зон с повышенной поляризуемостью и газопроницаемостью в различных частях аномальной зоны А1 пройдены выработки, вскрывшие суглинистый экран (рисунок 5), отображены пробы и определены в них содержание золошлаков, влажность и плотность.



Рисунок 5. Профиль 12, ПК370. Результаты заверки аномальных зон с повышенной поляризуемостью и газопроницаемостью

Рисунок 5. Профиль 12, ПК370. Результаты заверки аномальных зон с повышенной поляризуемостью и газопроницаемостью

Результаты заверки подтвердили геофизические данные о наличии и положении в разрезе участков с повышенной фильтрацией воды в противofильтрационном экране.

**Фильтрационная обстановка на экспериментальном участке по геофизическим данным**

На рисунке 6 приведена схема расположения локальных участков с повышенной фильтрацией воды в противofильтрационном экране золоотвала с использованием данных ЕП и детализационных работ методом ДЭЗ-ВП по уточнению природы геофизических аномалий после выемки золы.

Основные зоны повышенной водопроницаемости локализуются в восточной прибортовой части дамбы золоотвала – зона А1 и группа зон А6-1, 2, 3 по палеоруслу реки Каргалинка. Группа зон А 6-1, 2, 3 входят в аномальную зону ЕП (А6), которая по данным ДЭЗ-ВП существенно неоднородна по водопроницаемости и состоит из трех локальных участков с общим северным простиранием.

Существенно меньшие размеры имеют зоны А8 и А9, расположенные в юго-западной (А8) и западной (А9) частях дамбы золоотвала, и без явных признаков фильтрационных процессов в поле ЕП они отнесены к предположительно связанными с фильтрационными процессами в суглинистом теле противofильтрационного экрана.

**ВЫЯВЛЕНИЕ ЗОН ФИЛЬТРАЦИИ В СУГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ПО ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАННЫМ  
(НА ПРИМЕРЕ ЗОЛОТВАЛА ТЭЦ-2 г. АЛМАТЫ)**



1 – номера профилей (числитель - номер в десятках м, знаменатель – пикет, м); 2 – профили съемки методом ДЭЗ-ВП: (а) до выемки золы, (б) после выемки золы; (3, 4) – зоны с повышенной фильтрацией воды в противодиффузионном экране, выделенные по поляризуемости : 3 – контрастной аномалией; 4 – менее контрастной аномалией; 5 – р. Каргалинка: (а) долина, (б) русло

*Рисунок 6. Схема расположения локальных участков повышенной фильтрации воды в противодиффузионном экране по электроразведочным данным*

Составленная схема в целом позволила определить области А6-1, 2, 3, А8 и А9 золоотвала для первоочередного детального изучения и уточнения северной границы повышенной водопроницаемости в зоне А1. Обязательным условием для такого изучения подобных объектов является предварительная выемка золы с остаточной её мощностью порядка 1–1,5 м, обеспечит детальное изучение суглинистого

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Барац, Н.И. Механика грунтов: Учебное пособие / Н.И. Барац. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2008. – 106 с.
2. Рекомендации по методике прогноза изменения строительных свойств структурно неустойчивых грунтов при подтоплении / ПНИИИС, научн.ред. Р.С. Зянгиоров.– М.: Стройиздат, 1984. – 156 с.
3. Климентов, П.П. Методика гидрогеологических исследований: Учебник для геологоразведочных и горных вузов и факультетов / П.П. Климентов, В.М. Кононов . – М.: Высш. школа, 1978. – 408 с.
4. Огильви, А.А. Основы инженерной геофизики / А.А. Огильви. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
5. Методы геофизики в гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1985.
6. Семенов, А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. 3-е изд., перераб. и доп. / А.С. Семенов – Л.: Недра, 1980. – 446 с.
7. Комаров, В.А. Электроразведка методом вызванной поляризации – Л.: Недра, 1980 – 390 с.
8. Гольдберг, В.М. Проницаемость и фильтрация в глинах / В.М. Гольдберг, Н.П. Скворцов. – М.: Недра, 1986. – 160 с.
9. РСН 64-87. Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка. – Введ. 1998.01.01, актуал. 2011.17.06. – М.: Госстрой РСФСР.
10. Инструкция по электроразведке / ред. Рейхерт Л.А. – Л.: Недра, 1984 – 534 с.
11. Селюков, Е.И. Краткие очерки практической микрогеодинамики / Е.И. Селюков, Л.Т. Стигнеева. – СПб.: Питер, 2010. – 176 с.

экрана и получение достоверных данных по особенностям его фильтрующих свойств.

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Предложена геофизическая технология для выявления зон фильтрации в суглинистых грунтах с использованием расширенного набора изучаемых информативных параметров: ЕП, ВП, содержание CO<sub>2</sub> в почвенном воздухе. Применение этой технологии на экспериментальном участке (золоотвал № 1, секции № 1 ТЭЦ-2 г. Алматы) привело к следующим видам:

1. Аномальные эффекты естественного электрического поля позволяют выявить зоны, связанные с фильтрационными процессами и получить общую характеристику фильтрационной обстановки на участке.

2. Пространственная взаимосвязь параметров поляризуемости и газопроницаемости с зонами пониженных значений потенциала естественного электрического поля обусловлена нисходящей фильтрацией воды в суглинистом экране. Это создает возможность разбраковки аномальных зон естественного электрического поля, что существенно повышает достоверность и информативность геофизических данных при выявлении и локализации зон нисходящей фильтрации воды в суглинистых грунтах.

3. Наличие и положение зон с повышенной фильтрацией воды в противодиффузионном экране, выявленные с применением опробованного комплекса параметров подтверждены горными выработками (канавами) и результатами анализа проб суглинки.

4. Составленная схема расположения локальных участков повышенной фильтрации воды в противодиффузионном экране может служить основой для принятия организационно-технических решений по устранению фильтрации воды.

5. Аналогичные работы могут быть проведены в местах размещения других ответственных объектов, возведенных на осадочных суглинистых породах, в том числе, объектов атомной энергетики.

12. Рябоштан, Ю.С. Инженерно-технические изыскания и проектирование фундаментов в Донбассе / Ю.С. Рябоштан // в сб. «Тезисы докладов научно-технической конференции». – М., 1983.  
13. Инструкция по геохимическим методам поисков рудных месторождений. – М.: Недра, 1983. – 191 с.

**ГЕОФИЗИКАЛЫҚ ДЕРЕКТЕР БОЙЫНША САЗДАҚ ТОПЫРАҚТАРДА СҮЗІЛУ ЗОНАЛАРЫН  
АНЫҚТАУ (АЛМАТЫ Қ. ЖЭЦ-2 КҮЛҮЙІНДІСІНІҢ МЫСАЛЫНДА)**

**В.Н. Шайторов, М.В. Ефремов, В.А. Мариненко, А.К. Жолдыбаев, Н.Н. Кушербаева,  
М.В. Шульга, В.П. Шевченко, Е.М. Максимов**

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Зерделенетін ақпараттаушы параметрлердің сандарын кеңейту негізінде саздақ топырақтарда сүзілу зоналарын анықтау кезіндегі геофизикалық деректердің шынайлығын арттыру мүмкіндіктерін зерттеудің нәтижелері келтірілген. Әдетте пайдаланылатын табиғи электр өрісінен (ТӨ) басқа поляризациялану және газ өткізгіштік келтірілген. Алматы қ. №1 ЖЭЦ-2 күлүйіндісіндегі сүзілудің жергілікті орындарын анықтау мысалында жетілдірілген технологияның тиімділігі көрсетілген.

**IDENTIFICATION OF FILTRATION ZONES IN LOAMY GROUND BASED ON GEOPHYSICAL DATA  
(AT THE EXAMPLE OF CINDER DUMP OF CHP-2 PLANT IN ALMATY)**

**V.N. Shaytorov, M.V. Efremov, V.A. Marinenko, A.K. Zholdybayev, N.N. Kusherbayeva,  
M.V. Shulga, V.P. Shevchenko, E.M. Maksimov**

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The authors presented results of the research of opportunities to increase the truthfulness of geophysical data when identifying filtration zones in loamy ground based on the expansion of a number of studied informational parameters. Besides the traditionally used natural self-potential (SP), polarization ability and gas permeability were engaged. The efficiency of improvement of technologies was demonstrated at the example of identifying local filtration places in the cinder dump No.1 of CHP-2 plant in Almaty.

## СПИСОК АВТОРОВ

- Ali S.M., 33  
An V.A., 28  
Bazargur M., 5  
Chelyubeyeva T.V., 28  
Jargalsaikhan B., 5  
Manduul U., 5  
Nepreina K.S., 28  
Shanker D., 33  
Singh M., 33  
Аленько А.В., 66, 75  
Аристова И.Л., 51, 81, 98  
Бахтин Л.В., 69  
Ботов А.А., 54  
Великанов А.Е., 51, 98  
Гвишиани А.Д., 44  
Гордиенко Д.Д., 37  
Добрынина А.А., 21
- Ефремов М.В., 138  
Жолдыбаев А.К., 138  
Казаков Е.Н., 124  
Комаров И.И., 37  
Копничев Ю.Ф., 106, 114  
Кунаков В.Г., 124  
Кушербаева Н.Н., 138  
Ларина Т.Г., 63  
Максимов Е.М., 120, 138  
Мариненко В.А., 120, 138  
Михайлова Н.Н., 12, 81  
Мукамбаев А.С., 12, 81  
Пестов Е.Ю., 66  
Полешко Н.Н., 81  
Романов А.М., 54, 58, 63, 66,  
69, 75  
Саньков В.А., 21
- Саттарова А.М., 88  
Сергеев Н.Н., 63  
Смирнов А.А., 12  
Смирнов Ю.А., 37  
Соколов А.Н., 124  
Соколова И.Н., 106, 114, 128  
Татаринов В.Н., 44  
Токаев Д.Н., 69, 75  
Усманова М.Т., 88  
Фролов З.Н., 75  
Чечельницкий В.В., 21  
Шайторов В.Н., 63, 138  
Шевченко В.П., 120, 138  
Шульга М.В., 138



---

## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи предоставляются в электронном виде (на CD, DVD диске или по электронной почте присоединенным [attachment] файлом) в формате MS WORD и печатной копии.

Текст печатается на листах формата А4 (210×297 мм) с полями: сверху 30 мм; снизу 30 мм; слева 20 мм; справа 20 мм, на принтере с высоким разрешением (300-600 dpi). Горизонтальное расположение листов не допускается.

Используются шрифт Times New Roman высотой 10 пунктов для обычного текста и 12 пунктов для заголовков. Пожалуйста, для заголовков используйте стили (Заголовок 1, 2...) и не используйте их для обычного текста, таблиц и подрисовочных подписей.

Текст печатается через одинарный межстрочный интервал, между абзацами – один пустой абзац или интервал перед абзацем 12 пунктов.

В левом верхнем углу должен быть указан индекс УДК. Название статьи печатается ниже заглавными буквами. Через 3 интервала после названия, печатаются фамилии, имена, отчества авторов и полное наименование, город и страна местонахождения организации, которую они представляют. После этого, отступив 2 пустых абзаца или с интервалом перед абзацем 24 пункта, печатается аннотация к статье на русском языке, ключевые слова и основной текст. В конце статьи, после списка литературы, повторяются блоки «название, авторы, организации, аннотация, ключевые слова» на казахском и английском языке.

Максимально допустимый объем статьи – 10 страниц.

### **При написании статей необходимо придерживаться следующих требований:**

- Статья должна содержать аннотации на казахском, английском и русском языках (130-150 слов) с указанием ключевых слов, названия статьи, фамилии, имени, отчества авторов и полного названия организации, города и страны местонахождения, которую они представляют.
- Ссылки на литературные источники даются в тексте статьи цифрами в квадратных [1] скобках по мере упоминания. Список литературы следует привести по ГОСТ 7.1-2003.
- Иллюстрации (графики, схемы, диаграммы) должны быть выполнены на компьютере (ширина рисунка 8 или 14 см), либо в виде четких чертежей, выполненных тушью на белом листе формата А4. Особое внимание обратите на надписи на рисунке – они должны быть различимы при уменьшении до указанных выше размеров. На обороте рисунка проставляется его номер. В рукописном варианте на полях указывается место размещения рисунка. Рисунки должны быть представлены отдельно в одном из форматов \*.tif, \*.gif, \*.png, \*.jpg, \*.wmf с разрешением 600 dpi.
- Математические формулы в тексте должны быть набраны как объект Microsoft Equation или MathType. Химические формулы и мелкие рисунки в тексте должны быть вставлены как объекты Рисунок Microsoft Word. Следует нумеровать лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

### **К статье прилагаются следующие документы:**

- 2 рецензии высококвалифицированных специалистов (докторов наук) в соответствующей отрасли науки;
- выписка из протокола заседания кафедры или методического совета с рекомендацией к печати;
- акт экспертизы (экспертное заключение);
- сведения об авторах (в бумажном и электронном виде): ФИО (полностью), наименование организации и ее полный адрес, должность, ученая степень, телефон, e-mail.

Текст должен быть тщательным образом выверен и отредактирован. В конце статья должна быть подписана автором с указанием домашнего адреса и номеров служебного и домашнего телефонов, электронной почты.

Статьи, оформление которых не соответствует указанным требованиям, к публикации не допускаются.

---

---

**Ответственный секретарь** к.ф.-м.н. В.А. Витюк  
тел. (722-51) 3-33-35, E-mail: VITYUK@NNC.KZ

**Технический редактор** И.Г. Перепелкин  
тел. (722-51) 3-33-33, E-mail: IGOR@NNC.KZ

---

**Адрес редакции:** 071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б  
<https://www.nnc.kz/publications/bulletin.html>

---

© Редакция журнала «Вестник НЯЦ РК», 2019

---

**Свидетельство о постановке на учет №17039-Ж от 13.04.2018 г.**  
Выдано Комитетом информации Министерства информации и коммуникаций Республики Казахстан

---

---

Тираж 300 экз.

---

Выпуск набран и отпечатан в типографии  
**Национального ядерного центра Республики Казахстан**  
071100, Казахстан, г. Курчатов, ул. Бейбіт атом, 2Б

