ISSN 2221-3198 e-ISSN 2686-7486

Nº 4 / 2019

# **Геология** неофизика ностивные ностивные том 9

## GEOLOGY AND GEOPHYSICS OF RUSSIAN SOUTH



ISSN 2221-3198 e-ISSN 2686-7486

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук

# Геология и Геофизика Кога России Geology and Geophysics of Russian South

## Tom 9 № 4 / 2019

Владикавказ 2019

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ»

#### Главный редактор

д. ф.-м. н., проф. В. Б. Заалишвили, Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ

Заместитель главного редактора

д. ф.-м. н., проф. **И.А. Керимов**, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

Члены редакционной коллегии академик РАН В.А. Бабешко, Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону академик РАН А. Д. Гвишиани, Геофизический центр РАН, г. Москва академик РАН М.Ч. Залиханов, Высокогорный геофизический институт, г. Нальчик академик РАН С.А. Федотов, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва академик АНГ Т.Л. Челидзе, Институт геофизики им. М. Нодия, Грузия член-корр. НАНА Г.Д. Етирмишли, Республиканский Центр Сейсмологической Службы при НАНА, Азербайджан член-корр. РАН Д. Р. Каплунов, Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва член-корр. РАН А.В. Николаев, Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, г. Москва член-корр. НАН РА С.М. Оганесян, Институт геофизики и инженерной сейсмологии АН РА, Армения член-корр. РАН В.А. Снытко, Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова РАН, г. Москва Рh. D., проф. И.А. Береснев, Университет штата Айова, США

д. г.-м. н., проф. **М. Г. Бергер**, Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ

Ph. D., проф. Г.П. Ганапати, Центр по смягчению последствий стихийных бедствий и управлению, Технологический институт Веллуру, Индия

д. т. н. П. Е. Марченко, Кабардино-Балкарский научный центр РАН, г. Нальчик д. т. н., проф. И. Д. Музаев, Геофизический

д. н.н., проф. **п.д. музаев**, геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ

д. г.-м. н., проф. С. Г. Парада, Южный научный центр РАН, г. Ростов-на-Дону

д. г.-м. н., проф. Е.А. Рогожин, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

д. ф.-м. н., проф. Ю.К. Чернов, Северо-Кавказский государственный технический университет, г. Ставрополь

д. г.-м. н. В.И. Черкашин, Институт Геологии Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала

д. г. н. В.А. Широкова, Государственный университет по землеустройству, Институт истории естествознания и техники имени С.И. Вавилова РАН, г. Москва

## Ответственный секретарь

к. т. н. Д.А. Мельков, Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ

#### Выпускающий редактор

**Х.О.Чотчаев**, Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ

Высшей аттестационной комиссией (ВАК) журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

> Журнал издается с 2011 года. Периодичность издания – 4 номера в год

#### Учредитель: ВНЦ РАН

Адрес учредителя: 362027, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркуса 22 Тел.: 8 (8672) 501841 e-mail: vncran@yandex.ru http://www.vncran.ru Издатель: **Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук** Адрес издателя и редакции: 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а Тел.: 8 (8672) 764084; факс: 8(8672) 764056 е-mail: southgeo@mail.ru http://geosouth.ru

### ISSN 2221-3198 e-ISSN 2686-7486

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 29119 При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2019

Фото на обложке – Дорога на Кармадон (К.С. Харебов)

### EDITORIAL BOARD OF «GEOLOGY AND GEOPHYSICS OF RUSSIAN SOUTH» JOURNAL

### **Editor in Chief**

Vladislav B. Zaalishvili, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz

#### **Deputy Editor in Chief**

Ibragim A. Kerimov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow

## Members of Editorial board

Vladimir A. Babeshko, Academician of RAS, Southern Scientific Center of RAS, Rostov-on-Don Alexey D. Gvishiani, Academician of RAS, Geophysical Center of RAS, Moscow

Mikhail Ch. Zalikhanov, Academician of RAS, High Mountain Geophysical Institute, Nalchik Sergey A. Fedotov, Academician of RAS, Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow

**Tamaz L. Chelidze**, Academician of Georgian National Academy of Sciences (GNAS), M. Nodia Institute of

Geophysics, Georgia Gurban D. Yetirmishli, Academician of Azerbaijan

National Academy of Sciences (ANAS), Republican Seismic Survey Center of ANAS, Azerbaijan

David R. Kaplunov, Corresponding Member of RAS, Institute of Comprehensive Exploitatation of Mineral

Resources Russian Academy of Sciences, Moscow Alexev V. Nikolaev, Corresponding Member of RAS,

Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS, Moscow

Sevada M. Hovhannisyan, Academician of National Academy of Sciences of the Republic of Armenia (NAS RA) A. Nazarov Institute of Geophysics and Engineering Seismology of NAS RA, Armenia Valerian A. Snyitko, Corresponding Member of RAS, S.I.Vavilov Institute for the History of Science and Technology of RAS, Moscow

Igor A. Beresnev, Ph.D., Iowa State University, USA Mickhail G. Berger Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,

Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz Ganapathy Pattukandan Ganapathy, Ph.D, Prof.

Centre for Disaster Mitigation and Management Vellore Institute of Technology, India

Pavel E. Marchenko Dr. Sci. (Tech.), Kabardin-Balkar Scientific Center of RAS, Nalchik

Illarion D. Muzaev Dr. Sci. (Tech.), Prof., Geophysical

Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz

Sergey G. Parada Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,

Southern Scientific Center of RAS, Rostov-on-Don **Evgeniy A. Rogozhin** Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS,

Moscow

Yuriy K. Chernov Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof., North Caucasus Federal University, Stavropol

Vasiliy I. Cherkashin Dr. Sci. (Geol.-Min.), Institute of Geology of Daghestan Scientific Centre of RAS (IG DSC RAS), Makhachkala

Vera A. Shirokova Dr. Sci. (Geog.), State University of Land Use Planning, S.I.Vavilov Institute for the History of Science and Technology of RAS, Moscow

### **Executive Secretary**

Dmitry A. Melkov, Cand. Sci. (Tech.), Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz

Managing Editor

Khyisa O. Chotchaev, Geophysical Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Vladikavkaz

By the Higher Attestation Commission the Journal is included in the List of Leading Peer-reviewed Scientific Journals and Publications, in which the main scientific results of the thesis for the degree of Candidate of Science, Doctor of Science should be published.

The Journal is published since 2011. Frequency of publication - 4 issues per year

Dul	h	liel	har	
ги	U	us	nei	,

Vladikavkaz Scientific Center of RAS Founder address: 22, Markusa Str., Vladikavkaz, RNO-Alania, 362027 Russia Tel.: +7 (8672) 501841 e-mail: vncran@yandex.ru http://www.vncran.ru

Founder:

Geophysical Institute of the Vladikavkaz Scientific Center of the Russian Academy of Sciences Publisher and Editorial address: 93a, Markova Str., Vladikavkaz, RNO-Alania, 362002 Russia Tel.: 8 (8672) 764084; Fax: +7 (8672) 764056 e-mail: southgeo@mail.ru

http://geosouth.ru

ISSN 2221-3198

#### e-ISSN 2686-7486

**Subscription index in the United catalog "Press of Russia" - 29119** In the case of reproduction, a reference to the journal is obligatory.

© Geophysical Institute VSC RAS, 2019

Cover photo - Road to Karmadon (K.S. Kharebov)

9 (4) 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ
Аллабергенова Э.М. Некоторые гидрологические аспекты опустынивания Ногайского района Республики Дагестан6
<b>Давыденко Д.Б., Парада С.Г.</b> Геолого-геофизические признаки полигенно-полихронной природы золоторудных проявлений Донецкого авлакогена13
Керимов И.А., Эзирбаев Т.Б., Эльжаев А.С. Анализ методик выделения коллекторов в альб-аптских отложениях Терско-Сунженской нефтегазоносной области
Попов Ю.В., Жабин А.В., Пустовит О.Е. Минеральный состав серпентинитов тектонического меланжа Даховского кристаллического выступа (Большой Кавказ)
<b>Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О.</b> Геолого-геофизическая система «тектоника-сейсмичность» уникального Хаилинского центра высокомагнитудного роя. Юго-запад Корякского сейсмического пояса
ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА
Бергер М.Г. О причинах и механизме катастрофического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка
Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Интерференционная складчатость южного склона Большого Кавказа
<b>Свалова В.Б., Заалишвили В.Б., Ганапати Г.П., <u>Николаев А.В.</u>, ГинзбургА.А. Комплексный экологический мониторинг в России и Индии</b>
ГЕОФИЗИКА
Иванов А.В., Стриженок А.В., Супрун И.К. Методы дешифрирования геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов на основании данных дистанционного зондирования земли
ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГЕОМЕХАНИКА
Мамаев С.А., Дорофеев В.М., Мамаев А.С. Определение динамических параметров моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации
Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Мамаев А.С. О перспективных направлениях развития средств и методов повышения сейсмической безопасности территории Дагестана
== ГЕОЭКОЛОГИЯ ==
<b>Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б.</b> Композиционные вяжущие вещества из промышленных отходов
ПАМЯТЬ
Николаев Алексей Всеволодович149
Информация для авторов

## 5

## CONTENTS

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY	
Allabergenova E.M. Hydrological aspects of the Nogai steppe desertification (north-west of the Republic of Dagestan)	6
Davydenko D.B., Parada S.G. Geological and geophysical features of the polygenic-polychronous nature of the gold ore manifestations of Donetsk aulacogen	13
Kerimov I.A., Ezirbaev T.B., Eljaev A.S. Technique of Allocation of Reservoirs of Alb-Aptsky Deposits of Tersko-Sunzhensky Oil and Gas-Bearing Areas	28
Popov Yu.V., Zhabin A.V., Pustovit O.E. Mineral composition of serpentinites of the tectonic melange of the Dakhovsky crystalline protrusion (Greater Caucasus)	38
Yarotskii G.P., Chotchaev Kh.O. Geological and geophysical system "tectonics-seismicity" of the unique Khailinsk center of high-magnet swarm. South-west of the Koryak seismic belt	49
GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS	
Berger M.G. About the causes and mechanism of the catastrophic explosion-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier	63
Giorgobiani T.V., Zakaraia D.P. Interference Folding of the Southern Slope of the Greater Caucasus	72
Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Ginzburg A.A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India8	87
GEOPHYSICS	
Ivanov A.V., Strizhenok A.V., Suprun I.K. Methods of decoding of the geoecological conditions of territories of mining complexes based on the data of earth remote sensing	102
GEOTECHNOLOGY. GEOMECHANICS	
Mamaev S.A., Dorofeev V.M., Mamaev A.S. Determination of dynamic parameters of models of buildings and structures based on engineering seismometric information	111
Taymazov D.G., Mamaev S.A., Mamaev A.S. On the promising areas for the development of tools and methods of improving the seismic safety of the territory of Dagestan	126
GEOECOLOGY	
Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbiev A.B. Composite binders from industrial waste	140
MEMORY	
Nikolaev Alexey Vsevolodovich	149
Information for authors	152

## — ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ 🛛 =

VДК 556.3 DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44484

## Оригинальная статья

## Некоторые гидрологические аспекты опустынивания Ногайского района Республики Дагестан

## Э.М. Аллабергенова, аспирант 🝺

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Россия, 129337, г. Москва, ул. Ярославское шоссе, 26, e-mail: amazonka8686@mail.ru

Статья поступила: 27.05.2019, после рецензирования: 29.07.2019, принята к публикации 09.09.2019

Аннотация: Актуальность работы. Проблема опустынивания является одной из самых актуальных проблем человечества. В России наиболее остро эта проблема стоит на юге, в том числе в Республике Дагестан. Опустынивание территории Ногайского района Северного Дагестана может быть напрямую связано с повсеместным снижением уровня грунтовых вод. При прекращении питания земли грунтовыми водами, это может привести к утрате плодородия почвы; могут произойти необратимые изменения в ее составе, снизится биологическая продуктивность, растительный покров уменьшится. При длительном воздействии этот фактор может привести к глобальному разрушению не только биосферы, но и экономическому спаду на продуктивных землях Ногайской степи. Объект исследования – подземные воды. Цель работы – исследование гидрогеологических аспектов опустынивания Ногайского района Республики Дагестан. Методы исследования – наблюдения за режимом подземных вод, аэровизуальные наблюдения. Результаты работы. В статье рассмотрены проблемы нерационального использования подземных вод Ногайского района. Применение принудительных откачек в артезианских скважинах и переход на разработку более глубоких водоносных пластов усиливает общую депрессию. Учитывая, что в Ногайском районе напорные воды можно считать основным источником пополнения грунтовых вод, длительное стихийное использование водных ресурсов может привести к истощению подземных вод, что требует безотлагательных мер. В настоящее время высока антропогенная нагрузка: эксплуатируется большое количество артезианских скважин, трубопроводов. Во избежание дальнейшего расширения и усиления процессов загрязнения подземных вод Северо Дагестанского артезианского бассейна (СДАБ), большинство артезианских скважин подлежат капитальному ремонту или ликвидации. Также требуется провести повсеместную оценку состояния уровня загрязнения на территории Ногайского района для сравнительного анализа и выявления динамики роста или снижения загрязнения подземных вод. Так как из-за изношенности и коррозии оборудования скважин наблюдается сброс воды на поверхность территории в больших объемах, необходимы гидрогеологические и экологические обследования скважин территории с дальнейшим созданием зон санитарной охраны. Установившийся гидродинамический режим эксплуатации артезианских скважин в Ногайском районе способствует падению пьезометрических уровней, а также просачиванию соленых вод в водоносные горизонты, которые ведут к развитию опустынивания. С целью преодоления геоэкологических проблем, связанных с опустыниванием в Ногайском районе, необходимы всесторонние работы по мониторингу и предотвращению истощения и загрязнения ресурсов подземных вод.

**Ключевые слова:** опустынивание, подземные воды, артезианские скважины, грунтовые воды, техногенное воздействие, Ногайский район.

**Для цитирования:** Аллабергенова Э.М. Некоторые гидрологические аспекты опустынивания Ногайского района Республики Дагестан. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 6-12. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44484.

## = GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY =

DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44484

Original paper

## Hydrological aspects of the Nogai steppe desertification (north-west of the Republic of Dagestan)

## E.M. Allabergenova 厄

## Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), 26 Yaroslavskoye Shosse, Moscow 129337, Russian Federation, e-mail: amazonka8686@mail.ru

Received: 27.05.2019, revised: 29.07.2019, accepted: 09.09.2019

Abstract: Relevance. The desertification problem is one of the most pressing problems of mankind. In Russia, this problem is particularly acute in the south, including the Republic of Dagestan. Desertification of the Nogai District territory in Northern Dagestan can be directly related to the widespread decrease in groundwater levels. When there is no ground nutrition by groundwater, this may lead to loss of soil fertility; irreversible changes in its composition may occur, biological productivity and vegetation cover will decrease. In the case of prolonged exposure, this factor can lead to global destruction not only of the biosphere, but also of economic decline in the productive lands of the Nogai steppe. The object of the study is groundwater. **Aim.** To study the hydrogeological aspects of desertification in the Nogai region of the Republic of Dagestan. Methods. Observation of the groundwater regime, aerovisual observations. Results. The article considers the problems of irrational use of groundwater in the Nogai region. The use of forced pumping in artesian wells and the transition to the development of deeper aquifers reinforce general depression. Considering the fact that pressure water can be considered the main source of groundwater recharge in the Nogai region, long-term spontaneous use of water resources can lead to groundwater depletion, which requires urgent measures. Currently, the anthropogenic load is high: a large number of artesian wells and pipelines are operated. In order to avoid further expansion and intensification of groundwater pollution processes in the North Dagestan artesian basin, the majority of artesian wells are subjected to workover or liquidation. It is also required to conduct a comprehensive assessment of the pollution state level in the territory of the Nogai District for a comparative analysis and to identify the dynamics of growth or reduction of groundwater pollution. Due to the deterioration and corrosion of the equipment of the wells, large volumes of water are discharged to the surface of the territory, hydrogeological and environmental surveys of the territory's wells are necessary with the further creation of sanitary protection zones. The steady hydrodynamic state of operation of artesian wells in the Nogai region contributes to the fall of piezometric levels, as well as the seepage of salt water into aquifers, which lead to the development of desertification. In order to overcome the geoecological problems associated with desertification in the Nogai region, comprehensive work is needed to monitor and prevent the depletion and pollution of groundwater resources.

Keywords: desertification, groundwater, artesian wells, groundwater, anthropogenic impact, Nogai District.

**For citation:** Allabergenova E.M. Hydrological aspects of the Nogai steppe desertification (north-west of the Republic of Dagestan). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 6-12. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44484.

## Введение

Опустынивание – потеря местностью сплошного растительного покрова или уничтожение биологического потенциала Земли (почвы), которое приводит к возникновению условий аналогичных условиям пустыни [Теличенко, Лаврусевич, 2016].

Ногайский район является частью Северо-Западного Дагестана и расположен на Прикаспийской низменности. Он граничит на севере с Республикой Калмыкия, на западе – со Ставропольским краем, на юге – с Чеченской Республикой и на востоке – с Тарумовским районом. С северо-запада его обрамляет р. Кума, через центральную часть проходит Сухокумский канал, а с юго-востока – Караногайский коллектор.

Опустынивание в Ногайском районе Республики Дагестан является одним из наиболее тревожных процессов, ведущих к полной деградации окружающей среды. Особую роль в усилении процесса опустынивания играет гидрогеологическое состояние рассматриваемой территории. Восточная

7

часть Терско-Кумской низменности (Ногайский район), по исследованиям [Стасюк, 2006], относится к морской террасированной равнине, где наиболее интенсивны процессы засоления почв. В [Королев, Блудушкина, 2018] отмечена связь засоления почв с развитием опустынивания и деградации в засушливых и полузасушливых регионах.

В Ногайском районе основным источником водоснабжения являются подземные воды Терско-Кумского артезианского бассейна (ТКАБ), входящего в состав более крупного Восточно-Предкавказского артезианского бассейна. Это связано с историей геологического развития территории и практически полным отсутствием поверхностного стока в этой части Дагестана. Однако, проходка многочисленных скважин (в 70-х годах XX столетия) и многолетние отборы больших объемов артезианских вод привели к нарушению естественного баланса гидродинамической системы артезианского бассейна, что, в свою очередь, привело к развитию ряда сложных геоэкологических проблем [Разумов и др., 2014]. В числе основных можно назвать истощение запасов пресных и слабоминерализованных вод, ухудшение их качества, оседание дневной поверхности в результате выработки месторождений подземных флюидов, а также опустынивание земель [Щербуль, 2006].

До середины XX века на территории Ногайского района не проводились серьезные исследования в области гидрогеологии. М. Курбанов в своей работе [Курбанов М., 2006] один из первых отметил, что «ТКАБ является гидродинамически открытым, а не наоборот, как считалось ранее», открыв начало перспективности крупнейшей на юге страны ТКАБ (21,2 тыс. км2). Это означало начало научных исследований гидрогеологии и ресурсов пресных термальных, минеральных и редкометалльных промышленных вод ТКАБ [Абдулмуталимова и др., 2016; Ибрагимова, 205].

В последующие несколько десятков лет из-за круглосуточного и бесконтрольного фонтанирования более 60, а по некоторым данным – более 100, артезианских скважин (рис. 1) образовалась крупная депрессионная воронка, которая стала причиной повсеместного понижения уровня грунтовых вод (до 17 м в районе Южно-Сухокумска). А это является одним из факторов опустынивания [Щербуль, 2008]. Интенсивная бессистемная эксплуатация артезианских скважин не позволяет рассчитывать на восстановление уровня грунтовых вод. В Ногайском районе при потребности 34,1 тыс. м3/сут. отбирается в 1,9 раз больше вод [Сулейманов, Юрченко, 2009]. Таким образом, процесс снижения уровня грунтовых вод может принять необратимый характер.



Puc. 1. Самоизливающиеся скважины вод в Ногайском районе. / Fig. 1. Self-flowing water wells in the Nogai district.

В гидрогеологическом отношении северная часть ТКАБ состоит из следующих водоносных горизонтов: средне-верхнечетвертичного аллювиального водоносного горизонта, нижнечетвертичного аллювиального бакинского горизонта, морского верхне-апшеронского, морского нижнеапшеронского и акчагыльского [Мамаев и др., 2018]. Бакинские водоносные горизонты водонасыщены на всей территории Северо-Дагестанского артезианского бассейна (СДАБ). По данным [Курбанов Л., 2012] геологический разрез СДАБ представлен чередованием мощных высокопроницаемых песчаных и водоупорных глинистых горизонтов. Области питания бассейна находятся в предгорных районах.

Натриевые и сульфатные кальциевые воды области питания подземных вод Ногайского района при движении на север и северо-восток замещаются гидрокарбонатными, а изменений минерализации при этом не наблюдается. Смешанные сульфатные и гидрокарбонатные, натриевые и кальциевые воды характерны для юго-западной части Ногайского района. На большей же части равнинного Дагестана апшеронские воды имеют гидрокарбонатно-натриевый состав и минерализацию 0,4-0,6 г/л. Дальнейшие исследования, посвященные гидродинамике равнинного Дагестана, выявили, что Ногайский район характеризуется широким распространением песчаных отложений апшеронского горизонта, это мелко-, средне- и крупнозернистые пески, мощность которых составляет 50–60 м. Дебиты большинства скважин составляли 2–15 л/сек., в некоторых случаях достигают 50 л/сек., при высоте самоизлива в начальный момент эксплуатации 16–19 м [Щербуль, 2003; Arnalds, Archer, 2013; Aubreville, 1949; Corti et al., 2011; Klein, Hirschheim, 1987; Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Zdruli et al., 2010]. Средние дебиты 90% артезианских скважин Ногайского района в начальный момент эксплуатации изменялись в пределах от 2 до 10 л/сек. Напоры в артезианских скважинах западной части бассейна в начальный период эксплуатации не превышают 25 м, в среднем составляют от 5 до 20 м (рис. 2).



Рис. 2. Карта-схема деградации территории Ногайского района [Щербуль, 2013, с. 107].

1 – величина оседания поверхности от 30 до 40 см, 2 – величина оседания поверхности от 40 до 50 см, 3 – области техногенного загрязнения артезианских вод, 4 – области деградации растительного покрова, 5 – изолинии поверхностного оседания, 6 – изолинии понижения уровня грунтовых вод, 7 – направления распространения загрязнения с артезианскими водами. /

Fig. 2. Map-scheme of degradation of the territory of the Nogai district [Scherbul, 2013, p. 107].

1 - surface sedimentation rate from 30 to 40 cm, 2 - surface sedimentation size from 40 to 50 cm, 3 - areas of man-made artesian pollution, 4 - areas of vegetation cover degradation, 5 - surface subsidence contour lines, 6 - groundwater level reduction contours, 7 - directions of the spread of pollution with artesian waters.

## Результаты исследования

В связи с вышеизложенным можно сделать вывод, что деградация ногайских земель связана с бессистемно добываемыми грунтовыми и подземными водами, которые не используются и выбрасываются на поверхность земли. Так как территория Ногайского района относится к полупустынной климатической зоне и сложена преимущественно глинистыми почвами, скорость фильтрации в которых мала, вся выбрасываемая вода с большой скоростью испаряется (скорость испарения выше, чем скорость фильтрации). Таким образом, длительное бессистемное использование артезианских скважин ведет к падению уровня грунтовых вод, что напрямую отражается на биосфере территории в целом в сочетании с антропогенными факторами. Подземные воды, хотя и являются одними из самых защищенных ресурсов от техногенного загрязнения, тем не менее, подвержены техногенному воздействию (рис. 3).



*Puc. 3. Схема последствий бессистемной и длительной добычи подземных вод. / Fig. 3.Diagram of the consequences of unsystematic and prolonged extraction of groundwater.* 

## Выводы

Для предотвращения дальнейшего развития процессов опустынивания, связанных со снижением уровня грунтовых вод в Ногайском районе, первоначально следует принять ряд мер:

- провести полную проверку всех артезианских скважин на территории Ногайского района;
- сделать капитальный ремонт скважин, нуждающихся в обновлении;
- ликвидировать неиспользуемые артезианские скважины;

• вести систематический мониторинг артезианских скважин для сравнительного анализа и выявления динамики роста или снижения уровня грунтовых вод.

## Литература

1. Абдулмуталимова Т.О. Рамазанов О.М., Гусейнова А.Ш. Низкопотенциальные геотермальные воды как источник питьевого водоснабжения населения аридных районов Северного Дагестана. / Сборник материалов Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 80-летию Магомедову М.-К.М. – Махачкала. – 2016. – С. 289–293.

2. Ахмедов К.М., Карпукович В.А., Литвин В.Н. Современные проблемы рационального использования и охраны подземных вод Терско-Кумского артезианского бассейна. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2009. – №55. – С. 55–57.

3. Королев В.А., Блудушкина Л.Б. Испарение воды из песчаных грунтов. // Инженерно-геологическое и эколого-геологическое изучение песков и песчаных массивов. / Под редакцией В.Т. Трофимова, В.А. Королева. – М. – 2018. – С. 31–36.

4. Курбанов Л.М. Проблемы микрокомпонентного загрязнения Северо-Дагестанского артезианского бассейна. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2012. – №58. – С. 185–187.

5. Курбанов М.К. Становление и развитие гидрогеологической науки в Дагестане. // Труды института геологии Дагестанского Научного центра РАН. – 2006. – №50. – С. 101–107. 6. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш., Курбанисмаилова А.С., Мамаев А.С. Геоинформационные базы данных гидрогеологических параметров артезианских скважин Терско-Кумского артезианского бассейна. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №3. – С. 51–63.

7. Разумов В.В., Молчанов Э.Н., Глушко А.Я., Разумова Н.В. К проблеме подтапливания земель на юге европейской части России. // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2014. – №73. – С. 3–28.

8. Стасюк Н.В. Особенности вековых изменений почвенного покрова Дагестана. // Аридные экосистемы. – 2006. – №29. – С. 16–26.

9. Сулейманов В.К., Юрченко С.А. О прогнозных эксплуатационных запасах вод и водообеспеченности Северного Дагестана. // Труды института геологии Дагестанского Научного центра РАН. – 2009. – №55. – С. 52–55.

10. Теличенко В.И., Лаврусевич А.А. Природоведческий словарь для строителей. – М.: НИУ МГСУ, 2016. – С. 508.

11. Щербуль З.З. Влияние изменения геофильтрационного поля Северодагестанского артезианского бассейна на экологическую ситуацию региона. // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2003. – №49. – С. 32–37.

12. Щербуль З.З. Опустынивание как следствие снижения уровня грунтовых вод. // Труды института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2006. – №50. – С. 168–170.

 Шербуль З.З. Гидродинамические аспекты проблемы опустынивания на примере Северо-Дагестанского артезианского бассейна. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2008. – №31. – С. 16–19.

14. Щербуль З.З. Экологические последствия самоизлива подземных вод в Северном Дагестане. // Труды географического общества Республики Дагестан. – 2013. – №41. – С. 105–109.

15. Arnalds O., Archer S. Rangeland Desertification / Springer Science & Business Media. – 2013. –209 p.

16. Aubreville A. Climats, forests et desertification de L'Afrique tropical. // A. Aubreville. – Parij. – 1949.

17. Corti T., Wuest M., Bresch D., Seneviratne S.I. Drought-induced building damages from simulations at regional scale. Nat // Hazards Earth Syst. Sci. – 2011. – Pp. 3335–3342.

18. Klein H.K., Hirschheim R.A. A Comparative Framework of Data Modelling Paradigms and Approaches. // The Computer Journal. – 1987. – Vol. 30. No.1. – Pp. 8–15.

19. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press, Washington, DC. – 2005. – P. 128.

20. Zdruli P., Pagliai M., Kapur S., Faz Cano A. Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation // Springer Science & Business Media. – 2010. – P. 660.

## References

1. Abdulmutalimova, T.O., Ramazanov, O.M., Guseynova, A.Sh. Low potential geothermal waters as a source of drinking water supply to the population of arid regions of Northern Dagestan. In: Materials of the All-Russian Scientific and Technical Conference dedicated to the 80th anniversary of Magomedov M.-KM., Makhachkala, 2016. pp. 289–293. (In Russ.)

2. Akhmedov K.M., Karpukovich V.A., Litvin V.N. Modern problems of rational use and protection of groundwater of the Terek-Kum artesian basin. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2009. No. 55. Pp. 55–57. (In Russ.)

3. Korolev V.A., Bludushkina L.B. Evaporation of water from sandy soils. Engineering-geological and ecological-geological study of sands and massifs. Moscow, 2018. pp. 31–36. (In Russ.)

4. Kurbanov L.M. Problems of microcomponent pollution of the North-Dagestan artesian basin. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2012. No. 58. pp. 185–187. (In Russ.)

5. Kurbanov M.K. Formation and development of hydrogeological science in Dagestan. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2006. No. 50. pp. 101–107. (In Russ.)

6. Mamaev S.A., Ibaev Zh.G., Guseinova A.Sh., Kurbanismailova A.S., Mamaev A.S. Geoinformation databases of hydrogeological parameters of artesian wells of the Terek-Kuma artesian basin. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2018. No. 3. pp. 51–63. (In Russ.)

7. Razumov V.V., Molchanov E.N., GlushkoA.Ya., Razumova N.V. To the problem of undermining of land in the south of the European part of Russia. Bulletin of the Soil Institute. V.V. Dokuchaeva. 2014. No. 73. pp. 3–28. (In Russ.)

8. Stasyuk N.V. Features of age-old changes in the soil cover of Dagestan. Arid ecosystems. 2006. No. 29. pp. 16–26. (In Russ.)

9. Suleymanov V.K., Yurchenko S.A. About the predictable operational reserves of water and water supply in Northern Dagestan. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2009. No. 55. pp. 52–55. (In Russ.)

10. Telichenko V.I., Lavrusevich A.A. Dictionary of Natural History for builders. Moscow. NRU MGSU, 2016. 508 p. (In Russ.)

11. Scherbul Z.Z. The impact of changes in the geofiltration field of the Severodagestan artesian basin on the ecological situation of the region. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2003. No. 49. pp. 32–37. (In Russ.)

12. Scherbul Z.Z. Desertification as a result of lowering groundwater levels. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2006. No. 50. pp. 168–170. (In Russ.)

13. Shcherbul Z.Z. Hydrodynamic aspects of the problem of desertification on the example of the North-Dagestan artesian basin. Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2008. No. 31. pp. 16–19. (In Russ.)

14. Scherbul Z.Z. Ecological consequences of groundwater self-discharging in Northern Dagestan. Proceedings of the geographical society of the Republic of Dagestan. 2013. No.41. pp. 105–109. (In Russ.)

15. Arnalds O., Archer S. Rangeland Desertification. Springer Science & Business Media. 2013. 209 p.

16. Aubréville A. Climats, Forêts et Désertification de l'Afrique Tropicale, Société d'Edition Géographiques, Maritimes et Coloniales, Paris, 1949, 351 p.

17. Corti T., Wuest M., Bresch D., Seneviratne S.I. Drought-induced building damages from simulations at regional scale. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2011. pp. 3335–3342.

18. Klein H.K., Hirschheim R.A. A Comparative Framework of Data Modelling Paradigms and Approaches. The Computer Journal. 1987. Vol. 30. No.1. pp. 8–15. DOI: 10.1093/comjnl/30.1.8

19. Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis, Island Press, Washington, DC. 2005. 128 p.

20. Zdruli P., Pagliai M., Kapur S., Faz Cano A. Land Degradation and Desertification: Assessment, Mitigation and Remediation. Springer Science & Business Media. 2010. 660 p.

## = ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ =

VДК 550.8:553.078:553.41 DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44485

Оригинальная статья

## Геолого-геофизические признаки полигеннополихронной природы золоторудных проявлений Донецкого авлакогена

## Д.Б. Давыденкор, к.г.-м.н., С.Г. Парадар, д.г.-м.н.

## Южный научный центр РАН, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: parada@ssc-ras.ru

Статья поступила: 29.10.2019, после рецензирования: 26.11.2019, принята к публикации: 12.12.2019.

Аннотация: Актуальность работы. Существуют различные теории условий локализации и происхождения объекта исследования – золотых руд Донбасса: проявление посторогенного магматизма, осадочные породы, эндогенная флюидизация. В связи с появлением новых геолого-геофизических данных представляется возможным уточнение условий локализации и генезиса золотоносных руд с целью создания научно-методической основы разработки генетических и геолого-поисковых моделей золотого оруденения в геологических формациях Донбасса. Методы исследования: металлогенический анализ, математическая обработка геофизических данных, включающая оригинальную технологию объектно-ориентированной фильтрации. Результаты работы. Приведены результаты металлогенического анализа новых данных, полученных в ходе проведения геолого-поисковых и региональных геофизических работ на территории Донецкого бассейна, представляющего центральный фрагмент Днепрово-Донецкой рифтогенной системы. Установлены полихронность и полигенность золотого оруденения, соответствующие полиэтапному развитию Донецкого авлакогена. В составе золотоносных руд вычленяются два основных типа: 1) крупнообъемные зоны и залежи золото-сульфидно-прожилково-вкрапленной минерализации в песчанико-сланцевых углеродистых толщах, относящихся к осадочно-(метаморфогенно)-гидротермальному генетическому классу, связанные с литогенезом и метаморфизмом каменноугольных углеродистых отложений на доорогенном этапе развития авлакогена (Бобриковское и др. месторождения); 2) эпитермальные кварцевые жилы и локальные жильно-прожилковые зоны золото-серебряно-полиметаллической минерализации, связанные с развитием вулканоплутонических аппаратов центрального типа на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации авлакогена, выделяемые по геофизическим данным (Керчикское и др. рудопроявления). Отнесение к осадочно-(метаморфогенно)-гидротермальному генетическому классу золотоносных минерализаций бобриковского типа обосновано особенностями локализации, размещения и вещественного состава руд, а также особенностями геологического строения Донбасса, свойственными классическим рудным районам с подобным типом оруденения в углеродисто-терригенных (черносланцевых) формациях: внутриконтинентальная позиция складчатых структур и отсутствие гранитоидного магматизма, отчетливо выраженная асимметрия складчато-разрывных структур, сочетание углеродисто-терригенных и карбонатных формаций различной степени их постседиментационного преобразования, наличие стратифицированной сульфидной минерализации. Выделение мезозойских вулкано-плутонических структур центрального типа, с которыми связана эпитермальная золотоносная минерализация керчикского типа, основано на выявлении изометричных положительных аномалий магнитного поля, сопряженных с изометричными отрицательными аномалиями гравитационного поля, а также выходами магматических пород. Выявленные в Западном Донбассе к настоящему времени золотоносные руды бобриковского типа представляют собой объекты ранней доорогенной минерализации золото-сульфидно-прожилково-вкрапленного типа в углеродисто-терригенных комплексах. Выявленные в Восточном Донбассе к настоящему времени золото-серебряно-полиметаллические руды керчикского типа представляют собой позднепродуктивную стадию, связанную с регенерацией и перераспределением доорогенных золотоносных минерализаций на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации.

Ключевые слова: золото, Донбасс, авлакоген, прикладная геология, геофизика, металлогения.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках реализации государственного задания ЮНЦ РАН, № гос. регистрации проекта АААА-А19-119011190181-1.

**Для цитирования:** Давыденко Д.Б., Парада С.Г. Геолого-геофизические признаки полигенно-полихронной природы золоторудных проявлений Донецкого авлакогена. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 13-27. DOI: 0.23671/VNC.2019.4.44485.

## =GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY =

## DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44485</u>

## **Original paper**

## Geological and geophysical features of the polygenicpolychronous nature of the gold ore manifestations of Donetsk aulacogen

## D.B. Davydenko 厄, S.G. Parada 厄

Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation, e-mail: parada@ssc-ras.ru

## Received: 29.10.2019, revised: 26.11.2019, accepted: 12.12.2019

Abstract: Relevance. There are various theories for localization and origin conditions of the gold ores of Donbass that are the object of the present paper. These theories include manifestation of postorogenic magmatism, sedimentary rocks, and endogenous fluidization. Aim. To create a scientific and methodological basis for the development of genetic and geological prospecting models of gold mineralization in the geological formations of Donbass in connection with the emergence of new geological and geophysical data, it seems possible to clarify the conditions for the localization and genesis of gold ores. Methods. Metallogenic analysis, mathematical processing of geophysical data, including the original technology of object-oriented filtering. Results. The results of a metallogenic analysis of new data obtained during geological and regional geophysical explorations in the territory of the Donetsk basin, which is the central fragment of the Dnieper-Donetsk riftogenic system, are presented. The polychronism and polygenicity of gold mineralization, corresponding to the poly-phased development of Donetsk aulacogen have been established. Two main types are distinguished in the composition of goldbearing ores: 1) large-volume zones and deposits of gold-sulfide-stringer-porphyry mineralization in sandy-shale carbon strata belonging to sedimentary (metamorphic) -hydrothermal genetic class, associated with lithogenesis and metamorphism of stony-carbon metamorphism at the preorogenic stage of development of aulacogen (Bobrikovskoye and other deposits); 2) epithermal quartz veins and local veined and veinlet-disseminated zones of gold-silver-polymetallic mineralization, associated with the development of volcanoplutonic apparatuses of the central type at the stage of Mesozoic tectonic-magmatic activation of aulacogen, identified according to geophysical data (Kerchik and other ore occurrences). The assignment to the sedimentary (metamorphogenic) -hydrothermal genetic class of Bobrikovsky type gold-bearing mineralizations is confirmed by the features of localization, distribution and material composition of the ores, as well as the peculiarities of the Donbass geological structure typical of classical ore regions with a similar type of mineralization in the carbon-terrigenous (black shale) the position of folded structures and the absence of granitoid magmatism, a pronounced asymmetry of folded-discontinuous structures, a combination of carbon-terrigenous and carbonate formations of various degrees of their post-sedimentation transformation, the presence of stratified sulfide mineralization. The isolation of the Mesozoic volcanic-plutonic structures of the central type, which are associated with the epithermal gold-bearing mineralization of the Kerchik type, is based on the detection of isometric positive anomalies of the magnetic field, coupled with isometric negative anomalies of the gravitational field, as well as the outcrops of igneous rocks. The gold-bearing ores of the Bobrikov type identified in the Western Donbass to date are the objects of early preorogenic mineralization of the gold-sulfide-stringer-porphyry type in carbon-terrigenous complexes. The gold-silver-polymetallic ores of the Kerchik type discovered in the East Donbass to date represent a lateproductive stage associated with the regeneration and redistribution of pre-ogenic gold-bearing mineralizations at the stage of Mesozoic tectonic-magmatic activation.

Key words: gold, Donbass, aulacogen, applied geology, geophysics, metallogeny.

**Acknowledgments:** The research was carried out as part of the implementation of the state assignment of Southern Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, state number of a project registration AAAA-A19-119011190181-1.

**For citation:** Davydenko D.B., Parada S.G. Geological and geophysical features of the polygenic-polychronous nature of the gold ore manifestations of Donetsk aulacogen. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 13-27. (In Russ.) DOI: 0.23671/VNC.2019.4.44485.

## Введение

Под Донецким авлакогеном в настоящей статье понимается центральный, относительно обособленный фрагмент протяженной Днепрово-Донецкой рифтогенной структуры, отделяющей Украинский щит от основной части Восточно-Европейской платформы. Образовавшийся в результате неоднократного рифтогенеза с проявлениями складчатости, эффузивного и интрузивного магматизма [Granovsky, 2018], он, тем не менее, всегда изучался в основном как Донецкий угленосный бассейн (Донбасс). Из мировой практики известно, что, в подобного рода авлакогенах широко развиты многочисленные золоторудные месторождения [Guide to..., 1987; Kingham et al., 1988; Trumbull et al., 1999]. В пределах открытой части Донбасса, были установлены месторождения и рудопроявления цветных, редких и благородных металлов. Так, на территории Западной (Украинской) части Донбасса еще в начале прошлого века были выявлены месторождения сурьмы и ртути, свинца и золота, происхождение которых связывалось с позднепалеозойско-мезозойской тектоно-магматической активизацией [Шумлянский и др., 1994], однако магматические породы в коренном залегании на этих объектах не отмечаются. На территории Восточного (Российского) Донбасса рудопроявления и пункты минерализации золота выявлены только во второй половине 80-х годов прошлого столетия [Лихачев и др., 1983; Зеленщиков и др., 2001]. В начале нынешнего столетия на Керчикском рудопроявлении подсчитаны прогнозные ресурсы золота в количестве, соответствующем крупному месторождению, положительно оценены обогатимость руд и возможность их рентабельной добычи [Курбанов др., 2009]. Все это, в совокупности с падением рентабельности угледобычи, массовым закрытием шахт, сокращением рабочих мест, открывает возможности диверсификации горно-добывающей отрасли Юга России за счет новых высоколиквидных типов полезных ископаемых, в частности золота [Курбанов и др., 2009].

По поводу условий локализации и происхождения золотых руд Донбасса существуют различные точки зрения. Г.В. Зеленщиков и др. [2001], Ю.В. Неваленный и др. [2000] связывают формирование золотоносных руд с проявлением посторогенного магматизма. Ю.М. Черненко и др. [2012] по результатам геохимических исследований считают возможным источником рудных элементов осадочные породы, Д.Б. Давыденко и др. [2014] установил их связь с ареалами эндогенной флюидизации, С.Г. Парада [2014, 2017] оценил золотоносные руды Донбасса как полигенно-полихронные образования. Вместе с тем показано [Seredin, 2007], что золотоносность угленосных бассейнов может формироваться как в литогенезе, так и за счет эпигенетических процессов и может концентрироваться в угольных пластах и в осадочных породах различного состава, а также в зонах гидротермальной проработки. В связи с этим и появлением новых геолого-геофизических данных представляется возможным уточнить условия локализации и генезис золотоносных руд с целью создания научно-методической основы разработки генетических и геолого-поисковых моделей золотого оруденения в геологических формациях Донбасса.

## Материалы и методы

Использованы новые материалы, полученные производственными организациями в ходе проведения геолого-поисковых работ, изложенные в следующих производственных отчетах: Поисковые работы на золото на северном и южном флангах Керчикского рудопроявления, 2003 г.; Информационный отчет по незавершенным работам по геологическому доизучению масштаба 1:200 000 площади листов L-37-III; L-37-IV. Ростов-на-Дону, 2003 г.; Поисковые работы на золото в юго-восточной части Днепрово-Донецкого авлакогена, 2004 г.; Поисковые работы на золото на Галутинской и Грушевско-Кадамовской площади в Ростовской области, 2007 г.; Опытно-методические работы по выработке оптимальной технологии геофизических работ, 2010 г.; Поисковые работы на золото в пределах Северо-Кондаковской перспективной площади (Ростовская область), 2012 г.; Комплексные аэрогеофизические исследования (аэрогравиметрия, аэромагниторазведка) масштаба 1:50 000 – 1:100 000 в пределах листов М-37-XXII – XXIV, XXIX, XXX, XXXIV – XXXVI, М-38-XIX, XXV – XXVII, XXXI – XXXIV, L-37-III – VI, IX – XII, L-38-I – IV, VII – X, XIII – XV, XX – XXII», 2012 г. Представленные в этих отчетах новые материалы по геологическому строению, минералогии, геохимии золотоносных объектов, а также параметрам геофизических полей, подвергались обработке и металлогеническому анализу. Обработка цифровых геофизических данных осуществлялась по оригинальным методикам математического преобразования и объектно ориентированной фильтрации данных в среде ГИС ИНТЕГРО.

## Результаты и обсуждение

Первые сведения о золотоносности Восточного Донбасса, относятся к началу 80-х годов прошлого столетия, когда при проведении поисковых работ на уголь, в скважинах, пробуренных на южном крыле Шахтино-Несветаевской синклинали в пределах Керчикского поперечного поднятия, были встречены гидротермально-метасоматические образования и кварцевые жилы с повышенными содержаниями золота. С этого времени в Российской части Донбасса начинаются целенаправленные поисковые работы на золото с использованием комплекса геохимических, горнопроходческих и буровых работ. При этом основу геолого-поисковой модели составили данные по золоторудным месторождениям Западной (Украинской) части Донбасса. Руды известных там золоторудных месторождений Острый Бугор, Дьяковское, Бобриковское и др. представлены двумя минерально-морфологическими типами: пирит-арсенопиритовым и золото-серебро-полиметаллическим [Лосева и др., 2008]. Считается, что общая тектоническая позиция рудного района, состав геологических формаций, большие мощности минерализованных зон при относительно низких содержаниях золота позволяют отнести эти месторождения к черносланцевому типу [Лебедь и др., 1997]. Так, наиболее изученное Бобриковское месторождение приурочено к брахиантиклинальной складке в сводовой части Главной антиклинали Донбасса и представляет собой минерализованную зону, сложенную кварцсульфидными прожилками, жилами, полисульфидной вкрапленностью. Минерализованная зона прослеживается с поверхности до 1000 м глубины и характеризуется сложной формой в поперечных сечениях. Значимые содержания золота (4-6 г/т) установлены только в разобщенных маломощных прожилках. Валовая оценка содержаний золота в целом по минерализованной зоне показывает очень низкие значения. По результатам оценки австралийской компании «Korab Resources», по стандартам JORC, ресурсы Бобриковского месторождения составляют 102,6 тонн золота и 507 тонн серебра при содержаниях золота около 1 г/т, а серебра – 9,4 г/т. [https://ekonomika/korab...]. Использование охарактеризованной выше модели позволило выявить в пределах Главной и Южной антиклиналей проявления золотоносных минерализаций, объединенных в Грушевскую, Кадамовскую, Галутинскую, Барило-Крепинскую и Северо-Кондаковскую перспективные площади, а также Чернореченское, Барило-Крепинское, Галутинское и Керчикское рудопроявления. Однако поисково-оценочные работы на Керчикском рудопроявлении выявили широкое развитие магматических пород, что не было учтено используемой моделью. В связи с этим возникла необходимость изучения закономерностей распределения и условий локализации золотоносных минерализаций и разработки геолого-поисковой модели с учетом магматического фактора для Восточного Донбасса.

На рисунке 1 показаны все рудопроявления, точки минерализации и площади, где обнаружены признаки металлических полезных ископаемых в пределах Ростовской области и месторождения Украинской части Донбасса. На схеме учтены все сведения о признаках рудных полезных ископаемых, полученные ранее в ходе проведения геолого-съемочных и поисковых работ в конце прошлого и начале нынешнего столетия.



Рис. 1. Схема размещения месторождений и проявлений рудных полезных ископаемых Донбасса.

1–11 – стратифицированные образования: 1 – исаевская свита (C<sub>2-3</sub>is): песчаники, алевролиты, аргиллиты с пластами известняков и линзами каменных углей (мощность более 1000 м); 2 – горловская свита (C<sub>2</sub>gl): песчаники, алевролиты, аргиллиты с пластами известняков и каменных углей (мощность 1040-1550 м);

3– алмазная свита ( $C_2$ al): алевролиты, песчаники, аргиллиты с пластами известняков и каменных углей (мощность 540-800 м); 4 – каменская свита (C2km): песчаники, алевролиты, аргиллиты с пластами известняков и каменных углей (мощность 1075-1300 м); 5 – белокалитвенская свита (C<sub>3</sub>bk): алевролиты, песчаники, аргиллиты с пластами известняков и углей (мощность 620-850 м); 6 – смоляниновская свита (C<sub>2</sub>sl): алевролиты, песчаники, аргиллиты с пластами известняков и углей (мощность 1550–1800 м); 7–10 — дьяковская серия ( $C_2dk$ ): 7 — нерасчлененные отложения ( $C_2dk$ ): аргиллиты, алевролиты, редко песчаники (мощность более 3310 м); 8 – верхняя пачка (C<sub>2</sub>dk<sub>3</sub>): алевролиты, ритмичное переслаивание алевролитов и песчаников (мощность 820–880 м); 9 – средняя пачка (C<sub>2</sub>dk<sub>2</sub>): алевролиты, аргиллиты, в верхней части выдержанные пласты песачаников (мошность 500-540 м); 10 – нижняя пачка (C<sub>2</sub>dk<sub>1</sub>): переслаивание алевролитов и песчаников, прослои аргиллитов (мощность более 2000 м); 11 – нерасчлененные нижне-среднекаменноугольные отложения (С1,-2): аргиллиты, алевролиты, песчаники, в основании известняки (мощность более 3000 м); 12-13 – интрузивные породы: 12 – средне-позднеюрский миусско-керчикский комплекс лампрофировый ( $\chi J_{2,3}mk$ ): дайки и субсогласные тела камптонитов (<sup>с</sup>хJ<sub>2-3</sub>mk), мончикитов (<sup>тп</sup>хJ<sub>2-3</sub>mk), спессартитов (<sup>s</sup>xJ<sub>2-3</sub>mk); 13 – ранне-среднеюрский несветаевский комплекс трахиандезит-андезитовый  $(J_{1-2}ns)$ : a – лакколиты и пластообразные тела дацитов  $(\zeta J_{1-2}ns)$ ;  $\delta$  – силлы, штоки и субсогласные тела андезитов (а $J_{1,2}$ ns), андезибазальтов (а $\beta J_{1,2}$ ns), андезидацитов  $(\alpha\zeta J_{1,2}ns)$ , штоки кварцевых диоритов  $(q\delta J_{1,2}ns)$ ; в – субсогласные пластовые тела трахиандезитов  $(\tau \alpha J_{1.2} ns); \ r$  — крутопадающие и пологие дайки дацитов ( $\zeta J_{1.2} ns$ ), андезидацитов ( $\alpha \zeta J_{1.2} ns$ ), андезитов  $(\alpha J_{1-2}ns)$ , андезибазальтов  $(\alpha \beta J_{1-2}ns)$ , долеритов  $(\beta J_{1-2}ns)$ , трахиандезитов  $(\tau \alpha J_{1-2}ns)$ , диоритов  $(\delta J_{1-2}ns)$ ; 14 – разрывные нарушения: а – главные: А – Персиановский, Б – Сулино-Константиновский, В – Северный; б-второстепенные; 15-южнаяграница (предполагаемая) Днепрово-Донецкого авлакогена; 16-поперечные зоны повышенной трещиноватости, соответсвующие глубинным разломам; 17 – площади проведенных ранее поисковых работ на золотое оруденение: 1) Северо-Кондаковская, 2) Галутинская, 3) Грушевско-Кадамовская, 4) Аютинская, 5) Кондаковская, 6) Южно-Донбасская; 18-золоторудные месторождения (а), рудопроявления (б) и точки минерализации (в): Острый бугор (2), Дьяковское (3), Бобриковское (4), Чернореченское (7), Керчикское (8), Барило-Крепинское (9), Галутинское (10); 19 – свинцовые месторождения (а) и точки минерализации (б): Есауловское (1), Центрально-Нагольчанское (5), Нагольно-Тарасовское (6); 20–22 – точки минерализации: 20 – цинка, 21 меди, 22 – железа; 23–26 – геохимические аномалии и шлиховые ореолы: 23 – литохимические аномалии в коренных породах, 24 – литохимические аномалии в рыхлых отложениях, 25 - гидрохимические аномалии ртути и шлиховые ореолы киновари, 26 – аномальные значения химических элементов в отдельных точках; 27 – Государственная граница с Украиной /

## Fig. 1. The layout of deposits and occurrences of ore minerals of Donbass.

1-11 – stratified formations: 1 – Isaevskaya Formation ( $C_{2-3}$ is): sandstones, siltstones, mudstones with limestone layers and coal lenses (thickness more than 1000 m); 2 - Gorlovskaya Formation ( $C_{2}gl$ ): sandstones, siltstones, mudstones with layers of limestone and coal (thickness 1040–1550 m); 3 – diamond suite (C<sub>2</sub>al): siltstones, sandstones, mudstones with layers of limestone and coal (thickness 540–800 m); 4 – Kamenskava Formation ( $C_2$ km): sandstones, siltstones, mudstones with layers of limestone and coal (thickness 1075– 1300 m); 5 – Belokalitvenskaya Formation ( $C_2bk$ ): siltstones, sandstones, mudstones with layers of limestone and coal (thickness 620–850 m); 6 – Smolyaninovskaya suite ( $C_{2}$ sl): siltstones, sandstones, mudstones with layers of limestone and coal (thickness 1550–1800 m); 7-10 - Dyakovo series ( $C_2dk$ ): 7 - undivided deposits ( $C_2dk$ ): mudstones, siltstones, rarely sandstones (thickness more than 3310 m);  $8 - \text{upper member } (C_2 dk3)$ : siltstones, rhythmicinterbedding of siltstones and sandstones (thickness 820–880 m); 9 – middle pack ( $C_2dk2$ ): siltstones, mudstones, sandstone layers in the upper part (thickness 500-540 m);  $10 - lower pack (C_2dk1)$ :interbedding of siltstones and sandstones, mudstones (thickness more than 2000 m); 11 – undivided lower-middle Carboniferous deposits  $(C_{1-2})$ : mudstones, siltstones, sandstones, limestone at the base (thickness more than 3000 m); 12-13 – intrusive rocks: 12 – Middle Late Jurassic Mius–Kerchik complex lamprophyric ( $\chi_{J_{2-3}}mk$ ): dykes and sub-consonant bodies of camptonites  $(c\chi J_{2-3}mk)$ , monchichites  $(m\eta\chi J_{2-3}mk)$ , spessartites  $(s\chi J_{2-3}mk)$ ; 13 – the Early–Middle Jurassic Nesvetaev complex of trachyandesite–andesite  $(J_{1-2}ns)$ : a - laccoliths and stratiformbodies of dacites ( $\zeta J_{1-2}ns$ ); b – forces, rods and sub–consonants of andesites ( $\alpha J_{1-2}ns$ ), and esite basalts ( $\alpha \beta J_{1-2}ns$ ) <sub>2</sub>ns), and esidocytes ( $\alpha \zeta J_{1-2}ns$ ), stocks of quartz diorites ( $q \delta J_{1-2}ns$ ); c – sub–consonant reservoir bodies of trachyandesites ( $\tau \alpha J_{1-2}ns$ ); d – steeply dipping and gentle dykes of dacites ( $\zeta J_{1-2}ns$ ), and esidacites ( $\alpha \zeta J_{1-2}ns$ ), andesites ( $\alpha J_{1-2}ns$ ), and esites ( $\alpha \beta J_{1-2}ns$ ), dolerites ( $\beta J_{1-2}ns$ ), trachyandesites ( $\tau \sigma J_{1-2}ns$ ), diorites ( $\delta J_{1-2}ns$ ); 14 – disruptive violations: a – principal: A – Persianovsky, B – Sulino–Konstantinovsky, C – Northern; b – secondary; 15 – the southern border (alleged) of the Dnieper–Donetsk aulacogen; 16 – transverse zones of increased fracture, corresponding to deep faults; 17 – areas of earlier prospecting for gold mineralization: 1) Severo-Kondakovskaya, 2) Galutinskaya, 3) Grushevsko-Kadamovskaya, 4) Ayutinskaya, 5) Kondakovskaya, 6) South Donbass; 18 – gold ore deposits (a), ore occurrences (b) and mineralization points (c): Sharp hill (2), Dyakovskoe (3), Bobrikovskoe (4), Chernorechenskoye (7), Kerchikskoye (8), Barilo-Krepinsky (9), Galutinskoe (10); 19 – lead deposits (a) and mineralization points (b): Esaulovskoye (1), Central Nagolchanskoye (5), Nagolno–Tarasovskoye (6); 20–22 – mineralization points: 20 – zinc, 21 copper, 22 – iron; 23–26 – geochemical anomalies and concentrate halos: 23 – lithochemical anomalies in bedrock, 24 – lithochemical anomalies in loose sediments, 25 – hydrochemical anomalies of mercury and sludge halos of cinnabar, 26 – anomalous values of chemical elements at individual points; 27 – State border with Ukraine

Показаны также магматические породы, выявленные на поверхности и по результатам бурения. Очевидно, что наиболее актуальными в практическом отношении являются золоторудные проявления.

Чернореченское рудопроявление расположено вблизи северной окраины пос. Маломечетного Семикаракорского района Ростовской области в пойме р. Дон. Изучено буровыми скважинами глубиной от 250 до 740 м. По данным [Зеленщиков и др., 2006] рудовмещающими породами являются каменноугольные отложения каменской, алмазной и горловской свит среднего карбона, перекрытые палеогеновыми и четвертичными отложениями. Мощность последних достигает 45 м. Характерной особенностью является широкое развитие интрузивных пород ранне-среднеюрского несветаевского комплекса, в меньшей степени – лампрофиров средне-позднеюрского миусско-керчикского комплекса. Рудопроявление приурочено к юго-западному крылу Кондаковской антиклинали, осложненной региональным Сулино-Константиновским взбросом и серией других мелких разломов.

Золотоносная минерализация с содержанием золота до 8 г/т развита в терригенных отложениях среднего карбона, и приурочена к зонам тектонической и метасоматической проработки в экзо- и эндоконтактах штокообразного тела андезито-дацитов. Минерализацию можно отнести к золотосульфидному прожилковато-вкрапленному минерально-морфологическому типу. В составе золотоносных прожилков и вкрапленности преобладают пирит, халькопирит, подчиненное значение имеют галенит и сфалерит. Распределение золота крайне неравномерное.

Барило-Крепинское рудопроявление расположено вблизи одноименного населенного пункта в Родионово-Несветайском районе, на правом берегу р. Крепкая. Выявлено при поисковых работах в 2004 году. По данным [Зеленщиков и др., 2005] строение рудного поля определяется развитием тектонических зон субширотного простирания, в пределах которых отмечаются серии сближенных субсогласных кварцевых и кварц-анкеритовых брекчированных жил, залегающих в алевролит-аргиллитовой толще. Общая мощность жильных зон 50–100 м. Протяженность отдельных жил обычно не превышает 3–5 м, в отдельных случаях достигает десяти и более метров. Жилы обычно четковидные, с частыми раздувами и пережимами, мощность их от первых сантиметров до 0,5 м.

На отдельных участках в пределах кварцевожильных зон установлена интенсивная сульфидная минерализация. Рудные минералы представлены в основном галенитом, реже халькопиритом и сфалеритом. В жилах они распределены крайне неравномерно и приурочены в основном к зальбандам, пережимам и местам выклинивания, а также к участкам брекчирования вмещающих пород, в которые, как правило, переходят по простиранию (возможно и по падению) кварцевые жилы. Наиболее распространенная форма выделения сульфидных минералов – гнездообразные скопления (до 2-3 см), отмечаются также мелкая вкрапленность, тонкое прожилкование и сплошные сульфидные руды, образующие каемки в зальбандах жил и скопления в зонах их выклинивания, мощностью до 1-2 см. Спектральный анализ рудных проб, отобранных с поверхности каменноугольных отложений, показал значения содержаний Аи от сотых долей до первых г/т. Кроме Аи установлены высокие содержания Pb, Zn, Cu, Bi, As, Sb и Ag. В тяжелой фракции шлиховых проб, отобранных из коры выветривания, обнаружены десятки знаков самородного золота, а также галенит, сфалерит, халькопирит, пирит и барит. Данная минеральная ассоциация (галенит-сфалерит-халькопирит-барит+самородное золото) и заметно повышенные содержания Ag, Sb по сравнению с Bi, As, Au в рудной минерализации, свидетельствуют о возможно верхнерудном денудационном срезе, по аналогии с детально изученными золото-полиметаллическими и золоторудными объектами Нагольного кряжа [Резников, 1993; Шумлянский и др., 1994].

Керчикское рудопроявление является наиболее изученным [Княжев и др., 1987; Грановская, 1992; Зеленщиков и др., 2001; Парада, 2014; Давыденко, 2016 и др.]. Рудопроявление располагается к северо-западу от Чернореченского и локализовано в висячем крыле Персиановского ступенчатого взброса. Приурочено рудопроявление к северному флангу куполовидной складки, образованной в результате осложнения широтной антиклинали первого порядка поперечным (меридиональным) валообразным поднятием. С запада рудное поле ограничено меридиональным взбросом. Севернее рудопроявления этот взброс не прослеживается. Особенности структурной позиции Керчикского проявления свидетельствуют о формировании структуры рудного поля в обстановке тектонического сжатия по продольной (широтной) оси в условиях взаимодействия пересекающихся разломов [Peacock et al., 2017]. Рудное поле характеризуется также развитием сульфидно-вкрапленной минерализации в углеродисто-терригенных толщах.

Рудовмещающий разрез Керчика представлен чередованием углистых аргиллитов, алевролитов и песчаников с редкими маломощными прослоями известняков и каменных углей. В основании этого разреза залегает относительно мощный пласт известняка. Венчает его пласт угля. Среднекаменноугольные породы рудного поля с угловым несогласием перекрыты платформенными отложениями палеогеновой и неогеновой систем, суммарная мощность которых в пределах рудопроявления составляет от 40 до 80 м. В строении Керчикского рудного поля принимает участие близвертикальное трубообразное субвулканическое тело трахиандезитов несветаевского магматического комплекса. Площадь его горизонтального сечения по результатам бурения чуть более 0,3 кв. км. К югу от него и вниз по стратиграфической вертикали бурением установлены силлы андезито-базальтов. Калий-аргоновый возраст трахиандезитов и андезито-базальтов 165-188 млн лет [Грановская, 1992]. Среднекаменноугольные осадочные образования и среднеюрские магматические породы прорваны дайками биотитовых андезитов, мончикитов, камптонитов и спессартитов раннемелового миусского лампрофирового комплекса.

Внедрение трахиандезитов сопровождалось интенсивными метасоматическими преобразованиями вмещающих терригенных и карбонатных пород на расстояние до 1000 м к северу и югу и до 250 м к западу и востоку от интрузива. Характер метасоматических преобразований зависит от состава эпипород. По аргиллитам и алевролитам развиваются типичные березиты пирит-кварц-серициткарбонат-хлоритового состава, переходящие по мере удаления от контакта интрузива в кварцсерицитовые или в кварц-альбит-серицитовые с пиритом образования. Песчаники вблизи контакта с трахиандезитами преобразуются в сливные кварциты. Затем степень окварцевания песчаников постепенно уменьшается. По известнякам развиваются гранатовые скарны с пирит-пирротиновой минерализацией, а по углям – халькопирит-пирит-пирротиновые руды с новообразованиями амфибола и пироксена. Калий-аргоновый возраст метасоматитов составляет 165–180 млн лет, совпадая с возрастом интрузивных пород миусского комплекса.

Золоторудные тела представлены многократными брекчиями, сцементированными сульфиднокварцевыми, сульфидно-кварц-карбонатными и сульфидно-карбонатными гидротермалитами, которые распространены еще и в виде скопления прожилков, пересекающих ранние метасоматиты, не измененные интрузивные и осадочные породы. Возраст этих гидротермалитов 91–97 млн лет. По данным Н.В. Грановской [1992] в них выделяются в качестве главных рудных минералов пирит, галенит, сфалерит, марказит; второстепенных – халькопирит, арсенопирит, блеклые руды, бурнонит, айкинит, самородное золото, самородный висмут, самородный мышьяк, мельниковит, гематит, лимонит, аурипигмент и киноварь. В андезитах иногда отмечаются молибденито-кварцевые прожилки и вкрапленность пирротина. Нерудные минералы представлены кварцем, кальцитом, анкеритом, доломитом, диккитом, гидрослюдами и цеолитами. Весь этот комплекс низкотемпературных метасоматитов и рудообразующих минералов обнаруживает сходство с оруденением «карлинского типа» в теригенно-карбонатных породах [Константинов и др., 2000].

Оценить перекрытые молодыми отложениями геологические формации Восточного Донбасса на наличие золотого оруденения керчикского типа представляется возможным с помощью геофизических данных. Об этом свидетельствует опыт улучшения геологических моделей оруденения в северной Германии с помощью малоамплитудных магнитных аномалий [Skiba Peter et al., 2016]. Путем преобразования по оригинальной авторской методике [Неваленный и др., 2000; Давыденко, 2006] первичных данных магнитного поля была получена карта локальных аномалий магнитного поля для окрестностей Керчикского рудопроявления [Давыденко, 2016]. Оказалось, что участок рудопроявления расположен в северной части крупной по площади положительной магнитной аномалии (рис. 2).



Рис. 2. Карта локального аномального поля для района Керчикского рудопроявления по результатам аэромагнитной съемки масштаба 1:25000. Зеленый прямоугольник в северной части положительной аномалии – площадь Керчикского рудопроявления. /

Fig. 2. Map of the local anomalous field for the region of Kerchik ore occurrence according to the results of an aeromagnetic survey at a scale of 1:25000. A green rectangle in the northern part of the positive anomaly is the area of the Kerchik ore manifestation.

По совокупности данных детальной гравиразведки и результатам бурения, вскрывшего маломощные дайки и жилы андезитов несветаевского комплекса, можно предположить на глубине крупный шток основных пород, что могло бы объяснить наличие этой крупной по площади положительной магнитной аномалии. Однако, гравитационный минимум, оконтуривающий последнюю, плохо согласуется с круто «падающим» штоком на глубине. Возможно, определенная часть магнитной аномалии обусловлена метасоматитами в верхней части разреза рудно-магматической системы. Обращает на себя внимание наличие дугообразных элементов в структуре магнитного поля (особенно хорошо они прослеживаются после вычитания аномального поля, обусловленного глубинной частью рудо-магматической системы). Скорее всего, в данном случае имеем дело с крупным по площади, эродированным палеовулканическим аппаратом.

Действительно, известные на сегодняшний день рудные тела Керчикского проявления морфологически представлены двумя относительно изометричными штокверками, приуроченными к метасоматически измененным осадочным и магматическим породам в северном и южном экзо- и эндоконтактах интрузива трахиандезитов. Охарактеризованные выше геолого-структурные условия их локализации в совокупности с особенностями минерального состава оруденения более всего соответствуют эпитермальным месторождениям золото-серебряных руд, пространственно связанным с вулкано-тектоническими постройками. Вместе с тем, многие черты минерального состава Керчикского рудопроявления, в частности слагающие штокверк кварцевые и карбонатно-кварцевые прожилки с полисульфидной минерализацией и относительно крупным свободным золотом, напоминают позднепродуктивную ассоциацию известных крупнообъемных месторождений в углеродистотерригенных толщах (Майское на Чукотке, Кумтор в Кыргызстане, Карлин в США и др.), которая на

перечисленных месторождениях, несмотря на высокие содержания золота, не оказывает существенного влияния на общие запасы золота в них. Промышленную значимость этих месторождений определяют, как известно, масштабы и интенсивность рассеянной осадочно-диагенетической, катагенетической и (или) метаморфогенной вкрапленности сульфидов железа и мышьяка с тонкодисперсным золотом [Константинов и др., 2000; Parada, 2002]. Такого типа минерализация фиксируется как в пределах самого Керчикского рудопроявления, так и за его пределами. Наряду с кварцево-жильно-прожилковой минерализацией, связанной с постмагматическими гидротермальными процессами, она отмечается в терригенных породах в форме стратифицированных участков вкрапленной и прожилково-вкрапленной золотосодержащей сульфидной (преимущественно пиритовой) минерализации. Сульфидоносные алевролиты образуют невыдержанные по простиранию линзы и слои незначительной мощности, простирающиеся за пределы Керчикского рудного поля. Содержание золота в них от сотых долей до первых граммов на тонну. Причем повышенные содержания золота отмечаются часто в керне скважин, не имеющем каких-либо прожилков и признаков гидротермально-метасоматической переработки [Грановская, 1992]. В контурах штокверковой зоны на эти сульфидоносные горизонты накладывается более поздняя юрская и раннемеловая минерализации, что приводит к регенерации и переотложению раннего золота и укрупнению его частиц. Учитывая эти данные, а также особенности геохимической специализации рудовмещающих пород [Черненко и др., 2012] можно предположить, что выявленная золотоносная сульфидно-вкрапленная минерализация в углеродистотерригенных толщах Восточного Донбасса имеет литогенную природу, и может быть обнаружена далеко за пределами Керчикского рудопроявления.

Кроме прямых признаков, об этом свидетельствуют следующие геологические особенности Восточного Донбасса, свойственные, согласно [Константинов и др., 2000], классическим рудным районам с крупнообъемным золото-сульфидно-вкрапленным оруденением: 1) внутриконтинентальная позиция складчатых структур и отсутствие гранитоидного магматизма; 2) сочетание углисто-терригенных и карбонатных формаций различной степени их постседиментационного преобразования; 3) наличие стратифицированной осадочно-диагенетической сульфидной минерализации; 4) широкое развитие мощных зон смятия, рассланцевания и будинирования пород, фиксирующих региональные взбросы и надвиги в узлах пересечения их со скрытыми разломами фундамента; 5) отчетливо выраженная асимметрия складчато-разрывных структур; 6) неоднократные проявления тектоно-магматической активизации с внедрением щелочных малых интрузий магматических пород среднегоосновного состава. К этому следует добавить нормальный калиевый тип щелочности терригенных пород Донбасса, что по данным [Рагаda, 2002], является признаком первично литогенной природы сульфидно-вкрапленной минерализации. Кроме того, обращают внимание повышенные содержания некоторых рудных элементов, включая золото, не только во вмещающих породах, но и в углях Донбасса и продуктах их сжигания [Кизильштейн и др., 1995; Gamov et al., 2016; Admakin et al., 2019].

В изложенном контексте, установленную на Керчикском рудопроявлении низкотемпературную аргиллизитовую мышьяково-ртутную минерализацию, можно отнести к «карлинскому типу», что расширяет перспективы существенно карбонатных уровней литолого-стратиграфического разреза Восточного Донбасса на обнаружение тонкодисперсных сульфидно-вкрапленных руд.

Таким образом, в соответствии с приведенными данными, можно предположить, что выявленные к настоящему времени Керчикские руды представляют собой лишь позднепродуктивную стадию более крупных стратифицированных объектов золото-сульфидно-вкрапленного типа в углеродисто-терригенных комплексах, связанную с регенерацией и перераспределением золота в постмагматические стадии на этапах ранне-среднеюрской и средне-позднеюрской тектоно-магматических активизаций. Подобная модель полигенно-полихронного оруденения расширяет перспективы золотоносности Восточного Донбасса за счет возможного наличия крупнообъемных золотоносных прожилково-вкрапленных и вкрапленных минерализаций в углеродисто-терригенных (черносланцевых) формациях, а также пластовых и субпластовых минерализаций «карлинского типа» в терригеннокарбонатных и карбонатных формациях.

Золоторудные проявления Северо-Кондаковского участка расположены в северо-восточной части Восточного Донбасса. В геологическом отношении описываемый район характеризуется повсеместным развитием каменноугольных отложений, смятых в складки различных порядков. В дизьюнктивных зонах тектонически переработанные породы подвержены гидротермально-метасоматическим преобразованиям джаспероидного типа, что сопровождалось формированием многочисленных кварцевых прожилков и жил несущих большей частью сульфидную минерализацию [Давыденко и др., 2014]. В выявленных фрагментах минерализованных зон локализуется рассредоточенная прожилковая и прожилково-вкрапленная золото-кварц-сульфидная минерализация. Падение этих зон крутое, мощность их до 100 и более метров, а протяженность колеблется от 600 м до 2500 м. Выявленная золото-кварц-сульфидная минерализация прослежена буровыми скважинами до глубин 180–200 м. Химические анализы бороздовых и керновых проб показывают значительный разброс содержаний золота: от сотых долей г/т до 11,14 г/т.

По результатам гравиметрической съемки масштаба 1:50000 и аэромагнитной съемки масштаба 1:25000 составлены карты локальных (остаточных) аномалий для основной части Северо-Кондаковской площади с отображением результатов поисковых работ (рис. 3).



Рис. 3. Схематические карты потенциальных полей для Северо-Кондаковской площади (A – изолинии локальных аномалий поля ∆g в редукции Буге по результатам гравиметрической съемки масштаба 1: 50000, Б – изолинии локальных аномалий поля ∆Ta по результатам аэромагнитной съемки масштаба 1:25000). 1 – точки поисковых скважин, пробуренных специалистами (a – с отрицательным результатом, б – золоторудная минерализация вскрыта); 2 – осевая зона положительной аномалии ∆g кольцеобразной формы; 3 – поисковые участки «Южгеологии» в пределах Северо-Кондаковской площади (1 – Трофимовский, 2 – Удодовский, 3 – Чумаковский, 4 – Каменно-Бродский);4 – профили шнекового бурения и отбора проб с поверхности карбона для геохимических анализов. /

Fig. 3. Schematic maps of potential fields for Severo-Kondakovskaya Square (A – isolines of local anomalies of the field ∆g in the Bouguer reduction according to the results of gravimetric surveying at a scale of 1: 50000, B – isolines of local anomalies of the field ∆Ta according to the results of aeromagnetic surveying at a scale of 1:25000). 1 – points of exploratory wells drilled by specialists (a – with a negative result, b – gold mineralization opened); 2 – axis zone of positive anomaly 1g of a ring-shaped form; 3 – prospecting sections of Yuzhgeologiya within the North Kondakovskaya area (1 – Trofimovsky, 2 – Udodovsky, 3 – Chumakovsky, 4 – Kamenno-Brodsky); 4 – profiles of auger drilling and carbon surface sampling for geochemical analyzes.

Основное внимание на карте гравитационного поля привлекает положительная аномалия (более – 0,3 мГл) кольцеобразной формы (центральная часть площади). При этом пониженным значениям (менее –0,5 мГл) локального поля силы тяжести (внутри кольца) соответствует положительная локальная аномалия магнитного поля (2 нТл, что вполне обеспечено технической точностью аэромагнитометра, равной 0,1 нТл). Такое сочетание гравитационного и магнитного полей может быть связано с наличием магматических пород кислого состава. Данное предположение подтверждается наличием выявленного нами тела высококалиевых риолитов, аналогичных встреченным на окраине п. Трофимов и описанных в работе [Давыденко и др., 2014].

Следует отметить, что по данным геологоразведочных работ наиболее золотоносная зона №1 располагается как раз в пределах участка совмещения аномалий Δg и ΔTa.

Таким образом, золотоносные минерализации Северо-Кондаковской площади могут быть связаны с проявлением магматизма кислого состава, в отличие от золотоносных минерализаций Керчикского рудопроявления, где проявлены магматические образования среднего состава.

## Заключение

По результатам металлогенического анализа и математической обработки геофизических данных, включающих оригинальную технологию объектно-ориентированной фильтрации, установлены полихронность и полигенность золотого оруденения, соответствующие полиэтапному развитию Донецкого авлакогена.

В составе золотоносных руд вычленяются два основных типа: 1) крупнообъемные зоны и залежи золото-сульфидно-прожилково-вкрапленной минерализации в песчанико-сланцевых углеродистых толщах, относящихся к осадочно-(метаморфогенно)-гидротермальному генетическому классу, связанные с литогенезом и метаморфизмом каменноугольных углеродистых отложений на доорогенном этапе развития авлакогена (Бобриковское и др. месторождения); 2) эпитермальные кварцевые жилы и локальные жильно-прожилковые зоны золото-серебряно-полиметаллической минерализации, связанные с развитием вулкано-плутонических аппаратов центрального типа на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации авлакогена, выделяемых по геофизическим данным (Керчикское и др. рудопроявления).

Отнесение к осадочно-(метаморфогенно)-гидротермальному генетическому классу золотоносных минерализаций бобриковского типа обосновано особенностями локализации, размещения и вещественного состава руд, а также особенностями геологического строения Донбасса, свойственными классическим рудным районам с подобным типом оруденения в углеродисто-терригенных (черносланцевых) формациях: внутриконтинентальная позиция складчатых структур и отсутствие гранитоидного магматизма, отчетливо выраженная асимметрия складчато-разрывных структур, сочетание углеродисто-терригенных и карбонатных формаций различной степени их постседиментационного преобразования, наличие стратифицированной сульфидной минерализации.

Выделение мезозойских вулкано-плутонических структур центрального типа, с которыми связана эпитермальная золотоносная минерализация керчикского типа, основано на выявлении изометричных положительных аномалий магнитного поля, сопряженных с изометричными отрицательными аномалиями гравитационного поля, а также выходами магматических пород.

Выявленные в Западном Донбассе к настоящему времени золотоносные руды бобриковского типа представляют собой объекты ранней доорогенной минерализации золото-сульфидно-прожил-ково-вкрапленного типа в углеродисто-терригенных комплексах.

Выявленные в Восточном Донбассе к настоящему времени золото-серебряно-полиметаллические руды керчикского типа представляют собой позднепродуктивную стадию, связанную с регенерацией и перераспределением доорогенных золотоносных минерализаций на этапе мезозойской тектоно-магматической активизации.

Промышленную значимость выявленных золоторудных объектов определяют, как известно, масштабы и интенсивность рассеянной осадочно-диагенетической, катагенетической и (или) метаморфогенной вкрапленности сульфидов железа и мышьяка с тонкодисперсным золотом.

## Литература

1. Грановская Н.В. Минералогия и термобарогеохимия золота в Юго-Восточном Донбассе. // Записки ВМО. – 1992. – №4. – С. 29–42.

2. Давыденко Д.Б. ГИС ИНТЕГРО в комплексе работ по гдп-200 при прогнозировании рудоносности площадей Восточного Донбасса. // Геоинформатика. – 2006. – №2. – С. 29–38.

3. Давыденко Д.Б. Возможности применения математического анализа космоснимков при прогнозировании месторождений золота на площадях Восточного Донбасса. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №3. – С. 23–37.

4. Давыденко Д.Б., Давыденко Е.Д., Исаев В.С., Клещенков А.В., Мохов А.В., Парада С.Г. Опыт выявления и изучения зон эндогенной флюидизации комплексом дистанционных и газогеохимических методов. // Вестник Южного научного центра. – 2014. – Т. 10. №1. – С. 25–34.

5. Зеленщиков Г.В., Курбанов Н.К., Кучеревский П.Г., Радаева Т.П. Перспективы золотоносности Припятско-Днепрово-Донецкого авлакогена. // Руды и металлы. – 2001. –№2. – С. 26–35.

6. Зеленщиков Г.В., Макарюха С.В., Радаева Т.П. Особенности геологического строения и золотоносность Барило-Крепинского рудопроявления в Восточном Донбассе. // Стратегия развития минерально-сырьевого комплекса Приволжского и Южного федерального округов на 2006 и последующие годы. Тез. Докладов научно- практической региональной конференции. Саратов. – 2005. – С 143-144.

7. Зеленщиков Г.В., Макарюха С.В., Радаева Т.П. Геологическое строение и рудоносность Черноречинского проявления золота в Восточном Донбассе. // Проблемы геологии, геоэкологии и минерагении юга Росси и Кавказа. – Новочеркасск. – 2006. – Т.1. –С. 256–262.

8. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицглуз А.Л., Парада С.Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 176 с.

9. Княжев А.С., Терентенко Н.А., Лихачев В.А., Зеленщиков Г.В., Устиненко М.И. О последовательности минералообразования Керчикского рудопроявления. Геологическое строение и полезные ископаемые Ростовской области. – Ростов н/Д: РГУ, 1987. – С. 95–100.

10. Константинов М.М., Некрасов Е.М., Сидоров А.А., Стружков С.Ф. Золоторудные гиганты России и Мира. – М.: Научный мир, 2000. – 272 с.

11. Курбанов Н.К., Рышков М.М. Создание нового центра золотодобычи на южной геополитической окраине Российской Федерации (ЮФО) на основе прогноза и оценки благородных и цветных металлов в пределах Северо-Кавказской и Днепрово-Донецкой металлогенических провинций. // Сб. Состояние минерально-сырьевой базы Юга России и перспективы ее развития: материалы научнопрактической конф., 21-22 мая 2009 г. – Ростов н/Д: «НОК», 2009. – С. 13–27.

12. Лебедь Н.И., Кулиш Е.А. Основные аспекты золотоносности Украины и первоочередные задачи поисковых и оценочных работ. // Проблемы золотоносности недр Украины. Сб. науч. трудов. – Киев. – 1997. – С. 5–19.

13. Лихачев В.А., Зеленщиков Г.В., Терентенко Н.А. Новое рудопроявление цветных и благородных металлов в Восточном Донбассе. // Сб. «Геология и полезные ископаемые Нижнего Дона». – Ростов н/Д. – 1983. – С. 9–13.

14. Лосева О.В., Рогаченко А.М. О золотоносности зоны крупных линейных складок в Нагольном кряже (обзор). // Металлогения древних и современных океанов. – 2008. – №14. – С. 250–254.

15. Неваленный Ю.В., Давыденко Д.Б., Макарюха С.В., Зеленщиков Г.В. Прогнозирование золотого оруденения в условиях закрытой территории Восточного Донбасса на основе геолого-геофизических данных. // Компьютерное обеспечение государственной программы Геолкарта-200. – Ессентуки. – 2000. – С. 148-149.

16. Парада С.Г. Перспективные геолого-промышленные типы рудопроявлений золота в Ростовской области. // Вестник Южного научного центра РАН. – 2014. – Т. 10. №4. – С. 53–60.

17. Парада С.Г. Перспективные типы месторождений и рудопроявлений золота Юга России. // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №1. – С. 57–72.

18. Резников А.Н. Некоторые вопросы геологии и оценки месторождений золота в Нагольном кряже. // Геологический журнал. – 1993. – №5. – С. 138–141.

19. Черненко М.Ю., Трощенко В.В. Геохимическая специализация магматических и осадочных

пород Керчикской рудовмещающей структуры (Восточный Донбасс). // Вестник Южного научного центра РАН. – 2012. – Т. 8. №4. – С. 50–57.

20. Шумлянский В.А., Демихов Ю.Н., Деревская Е.И., Дудар Т.В., Зеленский С.А., Зинчук И.Н., Ивантишина О.М., Курило М.В., Сынгаевский Е.Д. Геолого-генетическая модель Бобриковского золото-полиметаллического месторождения. // Геологический журнал. – 1994. – С. 95–106.

21. Admakin L.A., Parada S.G. Statistical Allocation of the Parageneses of Minor Elements from the Associations in Fossil Coals. // Doklady Earth Sciences. – 2019. – Vol. 485, P. 1. – Pp. 260–263. – DOI: 10.1134/S1028334X19030012.

22. Gamov M.I., Levchenko S.V., Rylov V.G., Rybin I.V., Trufanov A.V. Metal-containing coals of the East Donetsk basin: regularities of formation and integrated-use prospects. // Geology and geophysics. – 2016. – V. 57. No. 8. – Pp. 1161–1170.

23. Granovsky A.G. Magmatism and stages of the tectonic evolution in the Donets folded structure, Eastern Donets basin. // Geotectonics. – 2018. – T. 52. No. 4. – Pp. 485–498. –DOI: 10.1134/S0016852118040039.

24. Guide to the metallogenic map of endogenic ore de posits of China 1:4 000 000 Beijing. // Econ. Geol. – 1987. – V. 80(6). – Pp. 73–81.

25. Kingham K. G., Ashley R. P. Deposits of disseminated gold ores, recently discovered in China. // Econ. Geol. – 1988. – V. 83(7). – Pp. 1462–1467.

26. Parada S.G. The Lithogenic Nature of Some Gold Deposits in Carbonaceous–Terrigenous Sequences. // Lithology and Mineral Resources. – 2002. – V. 37. No. 3. – Pp. 270–282.

27. Peacock D.C.P., Nixon C.W., Rotevatn A., Sanderson D.J. Interacting faults. // J. Struct. Geol. – 2017. – V. 97. – Pp. 1–22.

28. Seredin V.V. Distribution and formation conditions of noble metal mineralization in coal-bearing basins. // Geology of Ore Deposits. – 2007. – T. 49. No.1. – Pp. 1–30.

29. Skiba P., Gabriel G., Krawczyk C.M., Kiinig M. et al. On the use of small amplitude magnetic anomalies for the improvement of geological models: Case studies from Northern Germany. // Z. Dtsch. Ges. Geowiss. – 2016. – V. 167. No. 2-3. – Pp. 131–148.

30. Trumbull R.B., Morteani G. Gold metallogeny in the Sino-Korean platform (examples from Hebei province, № E China). // Econ. Geol. – 1999. – V. 73(4). – Pp. 1277–1283.

31. https://ekonomika/korab-resources-prekratila-finansirovanie-proekta-dlya-osvoeniyamestorozhdeniya-zolota-i-serebra-v-bobrikovo-55887.htm

## References

1. Granovskaya N.V. Mineralogy and thermobarogeochemistry of gold in the South-Eastern Donbass. WMO notes. 1992. No. 4. pp. 29-42. (In Russ.)

2. Davydenko D.B. GIS INTEGRO in a complex of works on GDP-200 at forecasting of ore-bearing areas of East Donbass. Geoinformatics. 2006. No. 2. pp. 29-38. (In Russ.)

3. Davydenko D.B. Possibilities of application of the mathematical analysis of space images at forecasting of deposits of gold on the areas of East Donbass. Geology and Geophysics of South Russia. 2016. No. 3. pp. 23-37. (In Russ.)

4. Davydenko D.B., Davydenko E.D., Isaev V.S., Kleshchenkov A.V., Mokhov A.V., Parada S.G. Experience of identification and study of endogenous fluidization zones by a complex of remote and gas-geochemical methods. Bulletin of the southern scientific center. 2014. Vol. 10. No. 1. pp. 25-34. (In Russ.)

5. Zelenshchikov G.V., Kurbanov N.K., Kucherevskii P.G., Radaeva T.P. Prospects of gold mineralization in the Pripyat-Dniprove-Donets aulacogen. Ores and metals. 2001. No. 2. pp. 26-35. (In Russ.)

6. Zelenshchikov G.V., Makaryukha S.V., Radaeva T.P. Features of the geological structure and gold content of the Barilo-Krepinsky ore occurrence in the Eastern Donbass. Strategy of development of mineral resource complex of the Volga and southern Federal districts for 2006 and subsequent years. Thesis of reports of scientific and practical regional conference. Saratov. 2005. pp. 143-144. (In Russ.)

7. Zelenshchikov G.V., Makaryukha S.V., Radaeva T.P. Geology and ore potential Chernorechenskoe occurrences of gold in the Eastern Donbass. Problems of Geology, Geoecology and Mineralogy of the South of Russia and the Caucasus. Novocherkassk. 2006. Vol. 1. pp. 256-262. (In Russ.)

8. Kizil'shtein L.Ya., Dubov I.V., Shpitsgluz A.L., Parada S.G. Components of ash and slag TPP. Moscow. Energoatomizdat. 1995. 176 p. (In Russ.)

9. Knyazhev A.S., Terentenko N.A., Likhachev V.A., Zelenshchikov G.V., Ustinenko M.I. On the sequence of ore mineral formation Kerchick ore.Geological structure and minerals of the Rostov region. Rostov n/D. Rostov state University. 1987. pp. 95-100. (In Russ.)

10. Konstantinov M.M., Nekrasov E.M., Sidorov A.A., Struzhkov S.F. Gold giants of Russia and the World. Moscow. Scientific world. 2000. 272 p. (In Russ.)

11. Kurbanov N.K., Ryshkov M.M. Creation of a new gold mining center on the southern geopolitical outskirts of the Russian Federation (SFD) on the basis of the forecast and evaluation of precious and non-ferrous metals within the North Caucasus and Dnieper-Donetsk metallogenic provinces. State of the mineral resource base of the South of Russia and prospects for its development: Materials of scientific and practical conference., May 21-22, 2009. Rostov n/D. "NOC". 2009. pp. 13-27. (In Russ.)

12. Lebed' N.I., Kulish E.A. Main aspects of the gold content of Ukraine and the priority tasks of search and evaluation works. Proceedings of Problems of gold bearing subsoil of Ukraine. Kiev. 1997. pp. 5-19. (In Russ.)

13. Likhachev V.A., Zelenshchikov G.V., Terentenko N.A. New ore occurrence nonferrous and precious metals in the Eastern Donbass. Proceedings of "Geology and minerals of the Lower don". Rostov n/D. 1983. pp. 9-13. (In Russ.)

14. Loseva O.V., Rogachenko A.M. On the gold mineralization zones of large linear folds in the ridge nagol'noe (review). Metallogeny of ancient and modern oceans. 2008. No. 14. pp. 250-254. (In Russ.)

15. Nevalennyi Yu.V., Davydenko D.B., Makaryukha S.V., Zelenshchikov G.V. Forecasting of gold mineralization in the conditions of the closed territory of Eastern Donbass on the basis of geological and geophysical data. Computer support of the state program Geolkarta-200. Essentuki. 2000. pp. 148-149. (In Russ.)

16. Parada S.G. Promising geological and industrial types of gold ore occurrences in the Rostov region. Bulletin of the southern scientific center of RAS. 2014. Vol. 10. No. 4. pp. 53-60. (In Russ.)

17. Parada S.G. Promising types of gold deposits and ore occurrences in the South of Russia. Geology and Geophysics of Southern Russia. 2017. No. 1. pp. 57-72. (In Russ.)

18. Reznikov A.N. Some aspects of the Geology and evaluation of deposits of gold in nagol'noe ridge. Geological journal. 1993. No. 5. pp. 138-141. (In Russ.)

19. Chernenko M.Yu., Troshchenko V.V. Geochemical specialization of magmatic and sedimentary rocks of the Kerchik ore-containing structure (Eastern Donbass). Bulletin of the Southern Scientific Center of RAS. 2012. Vol. 8. No. 4. pp. 50-57. (In Russ.)

20. Shumlyanskii V.A., Demikhov Yu.N., Derevskaya E.I., Dudar T.V., Zelenskii S.A., Zinchuk I.N., Ivantishina O.M., Kurilo M.V., Syngaevskii E.D. Geological and genetic model of Bobrikov gold-polymetallic Deposit. Geological journal. 1994. pp. 95-106. (In Russ.)

21. Admakin L.A., Parada S.G. Statistical Allocation of the Parageneses of Minor Elements from the Associations in Fossil Coals. Doklady Earth Sciences. 2019. Vol. 485, P. 1. pp. 260–263. – DOI: 10.1134/S1028334X19030012.

22. Gamov M.I., Levchenko S.V., Rylov V.G., Rybin I.V., Trufanov A.V. Metal-containing coals of the East Donetsk basin: regularities of formation and integrated-use prospects. Geology and geophysics. 2016. Vol. 57. No. 8. pp. 1161–1170.

23. Granovsky A.G. Magmatism and stages of the tectonic evolution in the Donets folded structure, Eastern Donets basin. Geotectonics. 2018. Vol. 52. No. 4. pp. 485–498.DOI: 10.1134/S0016852118040039.

24. Guide to the metallogenic map of endogenic ore de posits of China 1:4 000 000 Beijing. Econ. Geol. 1987. Vol. 80(6). pp. 73–81.

25. Kingham K. G., Ashley R.P. Deposits of disseminated gold ores, recently discovered in China. Econ. Geol. 1988. Vol. 83(7). pp. 1462–1467.

26. Parada S.G. The Lithogenic Nature of Some Gold Deposits in Carbonaceous–Terrigenous Sequences. Lithology and Mineral Resources. 2002. Vol. 37. No. 3. pp. 270–282.

27. Peacock D.S.P., Nixon S.W., Rotevatn A., Sanderson D.J. Interacting faults. J. Struct. Geol. 2017. Vol. 97. pp. 1–22.

28. Seredin V.V. Distribution and formation conditions of noble metal mineralization in coal-bearing basins. Geology of Ore Deposits. 2007. Vol. 49. No.1. pp. 1–30.

29. Skiba P., Gabriel G., Krawczyk C.M., Kiinig M. et al. On the use of small amplitude magnetic

anomalies for the improvement of geological models: Case studies from Northern Germany. Z. Dtsch. Ges. Geowiss. 2016. Vol. 167. No. 2-3. pp. 131–148.

30. Trumbull R.B., Morteani G. Gold metallogeny in the Sino-Korean platform (examples from Hebei province, No. E China). Econ. Geol. 1999. Vol. 73(4). pp. 1277–1283.

31.https://ekonomika/korab-resources-prekratila-finansirovanie-proekta-dlya-osvoeniya-mestorozhdeniya-zolota-i-serebra-v-bobrikovo-55887.htm

## = ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ 😑

VДК 550.8.056 (470.66) DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44486</u>

Оригинальная статья

## Анализ методик выделения коллекторов в альб-аптских отложениях Терско-Сунженской нефтегазоносной области

И.А. Керимов 问 <sup>1,2</sup>, д.ф.-м.н., Т.Б. Эзирбаев<sup>1</sup>, к.т.н., А.С. Эльжаев<sup>1</sup>, к.г.-м.н.

<sup>1</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет им. акад. М.Д. Миллионщикова, Россия, 364051, Чеченская Республика, г. Грозный, пр-т им. Х.А. Исаева, д. 100, e-mail: kerimov@ifz.ru;

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва,

## ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1

Статья поступила: 10.11.2019, после рецензирования: 30.11.2019, принята к публикации: 08.12.2019

Аннотация: Актуальность работы. Выделение коллекторов нефти и газа и определение эффективных мощностей является важнейшим этапом при подсчете запасов нефти и газа. От результатов, полученных на данном этапе, напрямую зависит экономическая целесообразность ввода в эксплуатацию интервала, обладающего, признаками коллектора, фильтрационными характеристиками. Пределам таких характеристик коллекторов соответствуют кондиционные граничные значения, эти значения являются условными и могут меняться, исходя из технического уровня разработки месторождений нефти или газа на момент проведения исследований. В современных условиях быстрого развития совершенных методов разработки и изменением экономических запросов кондиционные граничные значения изменяются довольно в широких пределах. Альбаптские отложения Терско-Сунженской нефтегазоносной области (ТСНО) относятся к сложным типам порово-трещинного коллекторов, и представлены породами песчаноалеврито-глинистых компонент. Объект исследования - нефтегазовые коллекторы. Цель работы – анализ методик выделения коллекторов. Методы исследования: традиционная методика выделения коллекторов и методика на основе технологии интерпретации данных геоинформационных систем (ГИС). Результаты работы. Экспериментальные исследования, проведенные на образцах кернов, взятых из терригенных отложений ТСНО, позволили установить основные особенности этих отложений, обосновать основные петрофизические зависимости и определить их коллекторские свойства. Проведена переинтерпретация фондовых материалов результатов данных ГИС и лабораторного анализа кернов из ряда скважин основных пробуренных на нижнемеловые отложения ТСНО и предложена более совершенная методика обработки и интерпретации данных ГИС терригенных пород. В данной работе рассмотрены ранее применявшаяся методика и пример интеграции методики выделения коллекторов на основе технологии обработки и интерпретации данных ГИС в нижнемеловых терригенных отложениях ТСНО. Важной особенностью методики комплексной интерпретации, реализованной в технологии ESKS автоматизированной системы обработки и интерпретации данных геофизических исследований скважин Gintel, является определение широкого спектра петрофизических параметров, характеризующих литологическую и флюидальную неоднородность изучаемых отложений. Это позволяет более обосновано решать задачи разведки и разработки месторождений. Методика интерпретации данных ГИС обеспечивает определение набора геологических характеристик пород, используя которые можно определить геологическую неоднородность изучаемой толщи пород, построить детальную трехмерную геологическую модель всех продуктивных пластов в разрезе и определить их подсчетные параметры. Детальность определения геологических характеристик пород напрямую зависит от комплекса данных каротажа, зарегистрированных в скважинах. Однако особенностью методики является использование системы петрофизических моделей и алгоритмические приемы обработки, которые позволяют получить максимум геологической информации об изучаемых породах даже при ограниченном комплексе данных ГИС.

Ключевые слова: пористость, проницаемость, интерпретация, коллектор.

**Для цитирования:** Керимов И.А., Эзирбаев Т.Б., Эльжаев А.С. Анализ методик выделения коллекторов в альбаптских отложениях Терско-Сунженской нефтегазоносной области. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9(4): 28-37. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44486.

## =GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY =

## DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44486</u>

## **Original paper**

## Technique of Allocation of Reservoirs of Alb-Aptsky Deposits of Tersko-Sunzhensky Oil and Gas-Bearing Areas

## I.A. Kerimov<sup>[]</sup><sup>1,2</sup>, T.B. Ezirbaev<sup>1</sup>, A.S. Eljaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov, 100 Kh.A. Isaeva, Grozny 364051, Russian Federation, e-mail: kerimov@ifz.ru;

<sup>2</sup>Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10/1 B. Gruzinskaya Str., Moscow123995, Russian Federation

Received: 10.11.2019, revised: 30.11.2019, accepted: 08.12.2019

Abstract: Relevance. The identification of oil and gas reservoirs and the determination of the efficiency of oil column is the most important step in estimation of oil and gas reserves. The economic feasibility of putting into operation an interval with reservoir and filtration characteristics directly depends from the results obtained at this stage. The limits of such reservoir characteristics correspond to conditional boundary values. These values are conditional and may vary, based on the technical level of oil or gas-field development at the exploration time. In modern conditions of rapid development of skilled development methods and changing economic demands, conditional boundary values vary widely. Albaptic sediments of the Tersk-Sunzhensk oil and gas region (TSOGR) are complex types of pore-fractured reservoirs, and are represented by rocks of sandy-silty-clay components. The objects of the study are oil and gas reservoirs. Aim. The analysis of methods for the reservoir identification. Methods. Traditional methodology for reservoir identification and a methodology based on the technology of data interpretation from geographic information systems (GIS). Results. Experimental studies conducted on core samples taken from terrigenous sediments of TSOGR allowed one to establish the main features of these deposits, substantiate the main petrophysical dependencies and determine their reservoir properties. Reinterpretation of the stock materials of the results of well logging data and laboratory analysis of cores from a number of wells drilled on the Lower Cretaceous deposits of TSOGR was carried out and a better method for processing and interpretation of well log data of terrigenous rocks was proposed. In this paper, the previously applied methodology and an example of the integration of reservoir extraction methods based on the technology of processing and interpretation of well log data in the Lower Cretaceous terrigenous deposits of TSOGR are considered. An important feature of the complex interpretation technique implemented in ESKS technology of the Gintel automated geophysical data processing and interpretation system is the determination of a wide range of petrophysical parameters characterizing the lithological and fluid heterogeneity of the explored deposits. This allows solving more reasonably the exploration and development problems of deposits. The method of interpreting GIS data provides the determination of a set of geological characteristics of rocks, the use of which can help to determine the geological heterogeneity of the explored rock stratum, builded a detailed three-dimensional geological model of all productive formations in a section and determined their estimated parameters. The detail of determining the geological characteristics of the rocks directly depends on the complex of logging data recorded in the wells. However, a feature of the technique is the use of a system of petrophysical models and algorithmic processing methods that makes it possible to get the maximum geological information about the explored rocks, even with a limited set of GIS data.

Keywords: Alb-Aptskiy deposits, porosity, permeability, reservoir properties, effective thickness of beds.

**For citation:** Kerimov I.A., Ezirbaev T.B., Eljaev A.S. Technique of Allocation of Reservoirs of Alb-Aptsky Deposits of Tersko-Sunzhensky Oil and Gas-Bearing Areas. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 28-37. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44486.

## Введение

Перспективы нефтегазоносности Терско-Сунженской нефтегазоносной области (ТСНО) связываются с поисками залежей нефти и газа в меловом комплексе пород [Керимов и др., 2016; Минерально-сырьевые ресурсы..., 2015; Ямаханов и др., 2012; Шнурман, 2003]. В альб-аптских отложениях нижнемелового нефтегазоносного комплекса пород ТСНО выявлен ряд залежей нефти и газа. Альб-аптские отложения ТСНО относятся к сложным типам порово-трещинных коллекторов, и представлены породами песчано-алеврито-глинистых компонент. Выделение коллекторов нефти и газа и определение эффективных мощностей является важнейшим этапом при подсчете запасов нефти и газа. От результатов, полученных на данном этапе, напрямую зависит экономическая целесообразность ввода в эксплуатацию интервала, обладающего, признаками коллектора, фильтрационными характеристиками. В связи с этим весьма актуальным является совершенствование методов выделения терригенных коллекторов по геофизическим данным [Хасанов, Эзирбаев, 2009; Эзирбаев, 2011, 2012а, б; Kerimov, 2018].

### Традиционная методика выделения коллекторов

Чтобы корректно выделить коллектор в разрезе следует использовать качественные и количественные показатели.

Качественные критерии – это: уменьшение диаметра ствола скважины по данным каверномера; аномальные показания метода ПС; уменьшение значений показаний на диаграмме гамма-метода; расхождение кривых потенциал – градиент микрозондов а также правомерное изменение амплитуд кривых различных методов электрического каротажа, характеризующихся разной глубинностью [Александров, Дергунов, 1978; Керимов и др., 2016; Ruchko, Kurgansky, 2015].

К количественным критериям относятся: одновременное выполнение составного критерия  $\Delta U_{\Pi C} > \Delta U_{\Pi C,\kappaon} \lor J_{\Gamma K} < J_{\Gamma K,\kappaon}$ ; диапазон изменения удельного электрического сопротивления породы  $\rho_{MIH} \div \rho_{Mark}$ ; граничная величина коэффициента пористости  $K_{n,cp}$ ; граничная величина коэффициента абсолютной проницаемости  $K_{np,cp}$ ; граничная величина содержания связанной воды  $K_{e,c6,cp}$ ; наличие в прослое подвижных флюидов  $K_{e,n} + K_{H(c)} > 0$ .

Однако исключить абсолютно все ошибки получаемых результатов нельзя даже при комплексном использовании всех качественных и количественных признаков.

Значительная часть продуктивных пластов изучаемого района характеризуется двухслойными кривыми БКЗ, число которых с ростом глубины залегания изучаемых отложений только увеличивается. Наличие двухслойных кривых БКЗ в продуктивных пластах объясняется, в основном, отсутствием проникновения фильтрата бурового раствора в матрицу пород, высокой глинистостью отложений, а также определенным соотношением коэффициентов остаточной водонасыщенности и нефтенасыщенности, при котором удельное сопротивление пласта равно удельному сопротивлению зоны проникновения.

К тому же некоторые качественные признаки коллекторов также не являются однозначными так, примером является сужение диаметра скважины и положительные приращения на диаграммах микрозондов, поскольку альб-аптские коллекторы характеризуются преимущественно номинальным или несколько увеличенным диаметром. Исключение составляют высокопористые пласты песчаников, против которых наблюдается некоторое уменьшение диаметра скважин.

Из изложенного следует, что качественные признаки коллекторов имеют существенные ограничения, в связи с чем и возникает необходимость применения геофизических способов выделения коллекторов, основанные на использовании количественных критериев.

Для начала сопоставляя значения относительной аномалии по ( $\alpha_{\Pi C}$ ) и двойного разностного параметра ГК ( $i_{\gamma}$ ) в интервалах, по которым имеются наиболее точные результаты испытаний, в поле координат выделяется область коллекторов и неколлекторов (рис. 1).



Рис. 1. Сопоставление аномалии ПС с двойным разностным параметром ГК по различным нижнемеловым месторождениям Терско-Сунженской нефтегазоносной области. /

Fig. 1. Comparison of the well potential anomaly with the double difference gamma ray logging parameter for various Lower Cretaceous deposits of the Tersk-Sunzhensk oil and gas region.

Величина α<sub>ПС</sub> отражает степень заполнения порового пространства пород глинистым материалом, а значение  $i_{y}$  – содержание глинистого и алевритового компонента. Поэтому комплексное использование этих параметров позволяет охарактеризовать поверхностные – активные свойства матрицы пород, а следовательно, в определенной степени и коэффициент остаточной водонасыщенности. Так как имеется связь между пористостью и содержанием глинистого и алевритового материала то сопоставление  $\alpha_{\Pi C}$ - $i_{\gamma}$  учитывает также с некоторым приближением и коллекторские свойства пород. Для более точного определения кондиционного значения коэффициента пористости необходим независимый способ оценки К<sub>n</sub>, например, акустический или нейтронный гамма-каротаж. Ранее для альб-аптских отложений Карабулак-Ачалукского и Малгобек-Вознесенского месторождений было установлено кондиционное значение коэффициента пористости, равное 8% [Меркулов, 1968; Методические указания..., 1979; Разработка методов..., 1980; Ezirbaev et al., 2018]. Для глубокозалегающих альб-аптских отложений площадей Старогрозненская, Хаян-Корт, Эльдарово и Ястребиная такая же величина пористости определена по данным акустического каротажа (АК). При отсутствии материалов АК выделение низкопористых пластов с повышенным содержанием карбонатного материала можно осуществить по кривым нейтронного гамма-каротажа (НГК), кондиционное значение двойного разностного параметра НГК (*i<sub>ny</sub>*), полученное по кривым распределения этого параметра для пластов с притоком и без притока, и для различных месторождений изменяется от 0,41 до 0,5.

Обоснование кондиционных значений физических параметров для порово-трещинных коллекторов по данным анализов кернов нецелесообразно, т.к. в этом случае исследуются только емкостные свойства матрицы породы, и не учитывается основная характеристика коллектора – фильтрационная, определяемая трещиноватостью. Это положение подтверждается графиками сопоставления коэффициентов пористости с проницаемостью, (рис. 2) и графиками зависимости α<sub>ПС</sub> от глинистости и пористости (рис. 3), построенными по данным результатов лабораторного анализа керна [Разработка методов..., 1980].

На графиках видно, что проницаемость изучаемых пород слабо связана с коэффициентом пористости. Но тем не менее даже для слабоглинистых участков проницаемость матрицы редко превышает 1-2 мД, что также является обоснованием того что коллекторы альб-аптских отложений являются порово-трещинными.

Таким образом, выделение эффективных мощностей в разрезе альб-аптских отложений ТСНГО сводится к следующему:

 По комплексу промыслово-геофизических данных изучаемый разрез расчленяется на однородные пласты.

2. Проводится первичная попластовая обработка геофизических диаграмм по известным методикам [Латышова, 1966; Методические указания..., 1979].

Интерпретация диаграмм ПС сводится к проведению «нулевой» линии (линии «глин») и отсчету от нее существенных значений амплитуд ПС. Как правило, в ранее принятых подсчетах запасов нефти эта величина ПС использовалась для последующих расчетов и выделения коллекторов.

Однако в отсчитанные значения амплитуды ПС необходимо вводить поправки, учитывающие влияние мощности, удельных сопротивлений пластов и вмещающих пород. В противном случае значения ПС получатся заниженными в среднем на 15%. Исправление значения амплитуд ПС ( $\Delta U_{\Pi C}$ ) используется для расчета относительных аномалий ПС ( $\alpha_{\Pi C}$ )

$$\alpha_{nc} = \frac{\Delta U_{nc}}{E_{nc}^{cr}} \tag{1}$$

где  $E_{\pi c}^{c\tau}$  – статистическая амплитуда ПС.

$$E_{\Pi C}^{CT} = Kt \lg \frac{\rho_{\phi}}{\rho_{e}}$$
(2)

$$Kt = 70, 7\frac{t+273}{298} \tag{3}$$

где t – температура пласта, °С.

В качестве опорных пластов при обработке материалов ГК выбираются размытые участки альб-

аптских глин и плотные пласты песчаников с карбонатным цементом. Далее рассчитывается двойной разностный параметр ГК (*i*<sub>v</sub>)

$$i_{\gamma} = \frac{I_{\gamma} - I_{\gamma}^{\min}}{I_{\gamma}^{\max} - I_{\gamma}^{\min}}$$

$$\tag{4}$$

Интерпретация диаграмм нейтронного гамма-каротажа сводится к отсчету против изучаемых пластов существенных значений и введению в них поправок на влияние канала ГК, интегрирующего ячейки и диаметр скважины. Исправленное значение *In* используется для расчета двойного разностного параметра НГК (*i*<sub>nv</sub>)

$$i_{n\gamma} = \frac{I_{n\gamma} - I_{n\gamma}^{\min}}{I_{n\gamma}^{\max} - I_{n\gamma}^{\min}},$$
(5)

где  $I_{n\gamma}^{\min}, I_{n\gamma}^{\max}$  – показания НГК против опорных пластов.

За опорные пласты принимаются интервалы плотных верхнемеловых известняков или плотных песчаников с карбонатным цементом и альбские глины.

3. Полученные значения  $\alpha_{\Pi C}$  и  $i_{\gamma}$  наносятся на соответствующую палетку ( $\alpha_{\Pi C} - i_{\gamma}$ ); интервалы разреза, попадающие на палетке в область неколлекторов, исключаются из дальнейшей обработки.

4. По данным акустического каротажа определяется пористость пластов, находящихся в поле  $\alpha_{\Pi C} - i_{\gamma}$  в области коллекторов, и сравнивается с кондиционным значением  $K_n=8\%$ . Пласты  $K_n<8\%$  исключаются из обработки.

5. Значения  $i_{n\gamma}$  – интервалов сравниваются с соответствующим кондиционным значением  $i_{n\gamma}$ . К коллекторам относят пласты с  $i_{n\gamma} < i_{n\gamma}$ .

К факторам, снижающим достоверность выделения эффективных мощностей, относятся: 1) влияние нефтенасыщенности на относительную аномалию ПС, особенно при высокой относительной глинистости пород; 2) отсутствие в ряде случаев надежных опорных пластов при интерпретации данных ГК и НГК.

Проведенный анализ материалов показал, что в целом методика, принятая в то время, гарантировала оценку коллекторских свойств и нефтенасыщенности альб-аптских отложений, но с рядом недостатков, которые и были учтены в усовершенствованной методике, описываемой далее в статье.

## Методика выделения коллекторов на основе технологии интерпретации данных ГИС в терригенных отложениях ТАВС

В данной методике для оценки свойств пород и выделения коллекторов используется система петрофизических моделей пористости, модели связанной воды и проницаемости.

Для интерпретации данных методов нейтронного гамма- и акустического каротажей используются петрофизические модели водородосодержания и акустического метода исследования скважин [Эзирбаев, 2012a; Luthi, 2001; Darwin, Julian, 2008]. Применимость данных моделей к альб-аптским отложениям Терско-Сунженской нефтегазоносной области была обоснована автором статьи и опубликована в одной из предыдущих работ [Эзирбаев, 2011].

Петрофизические модели водородосодержания  $\omega_{HK}$ , V/V и  $\Delta t$ , мкс/м записываются формулами:

$$\omega_{HK} = K_n \omega_{MC} + \omega_{CK} \cdot \theta + \omega_{num} \tag{1}$$

$$\frac{1}{\Delta t_n} = \frac{K_n}{\Delta t_{\infty}} + \frac{(1 - K_n)^2}{170 + \Delta t_{c\kappa} \cdot \theta}$$
(2)

 $K_n$  – общая пористость породы (суммарный объем всех пор породы);

 $\Delta t_{\infty}, \omega_{\infty}$  – интервальное время пробега акустической волны в жидкости, насыщающей поровое пространство; водородосодержание флюида внутри порового пространства породы  $\omega_{\alpha} = 1$ ;

 $\Delta t_{c\kappa}, \omega_{c\kappa}$  – предельная величина интервального времени пробега акустической волны в скелете породы и водородосодержание скелета (соответствуют глине);

 $\theta$  – коэффициент адсорбционных явлений, изменяющийся в диапазоне от 0 до 1, имеющий величину:  $\theta = 0$  – для электрически нейтральной породы,  $\theta = 1$  – для пород, сложенных глинами. В реальных породах коэффициент  $\theta < 0.8$ .

Коэффициент адсорбционных явлений  $\theta$  является функцией пористости  $K_n$  и водонасыщенности  $K_e$  породы, а также интегрального электрического заряда поровых каналов, выраженного величиной ионной емкости породы  $Q_n$  (моль/л) и минерализации пластовой воды  $C_e$  (моль/л), насыщающей породу:

$$\theta = f(Q_n, K_n, K_s, C_s), \tag{3}$$

Также для достоверного выделения и определения величины проницаемости коллекторов терригенных пород альб-аптского возраста необходимо установить объем связанной воды  $K_{e.ce}$  в порах.

Модель связанной воды, которая была использована при интерпретации данных ГИС по месторождениям ТСНО, записывается формулой:

$$K_{g,cg} = \frac{1}{1 + f_g \cdot c \cdot \frac{K_n \cdot K_g}{(Q_n + Q_0)}} + b \cdot K_{an}, \qquad (4)$$

где  $f_{e} = \sqrt{C_{e}}/(1 + \sqrt{C_{s}})$  – ионная активность минерализованного раствора внутри порового пространства,  $C_{e}$ , г/л;  $Q_{0}$ - и c – эмпирические константы, определяемые при адаптации модели к реальным породам; b – коэффициент, определяющий долю молекулярно связанной воды, объемное содержание которого равно  $K_{av}$ .

В модели (4) величину  $Q_n$  можно заменить на значение глинистости породы  $K_{2n}$ , используя формулу  $Q_n = K_{2n} \cdot Q_{2n} \cdot \delta_{2n}$ .

На рисунке 2 показана зависимость  $K_{a.ce} = f(K_n, K_{np})$ , полученная по данным лабораторного анализа кернов (а) и по данным интерпретации комплекса ГИС проведенного на нижнемеловых отложениях различных месторождений изучаемой области (б). На эту зависимость нанесены кривые  $K_{a.ce} = f(K_n)$ , рассчитанные по модели (4) при разных величинах заряда поровых каналов: 0, 0,01, 0,1, 0,3 и 1 моль/г. На рисунках видно, что точки расположились ниже уровня заряда 0,3 моль/г, что соответствует глинам изучаемого разреза. На графике наблюдается, что с ростом пористости и проницаемости доля связанной воды снижается.



Рис. 2. Корреляционная связь К<sub>в.св</sub>=f(K<sub>n</sub>, K<sub>np</sub>), а) по данным керна, б) по данным результатов интерпретации материалов ГИС. Линии К<sub>в.св</sub>=f(K<sub>n</sub>), рассчитанные по модели К<sub>в.св</sub>. /

Fig. 2. Correlation  $K_{v,sv} = f(K_p, K_{pv})$ , a) according to the core data, b) according to the interpretation results of the well logging data. Lines  $K_{v,sv} = f(K_p)$ , calculated according to the model  $K_{v,sv}$ 

Как видно из сравнения графиков на рисунке 2, по данным ГИС наблюдается та же закономерность изменения доли связанной воды в породе, что и по данным керна. Это говорит о том, что модель (4) может быть использована для расчета остаточной водонасыщенности коллекторов пород нижнего мела в изучаемом районе.

Петрофизическая модель  $K_{np} = f(K_n, K_{s.cs})$  была применена для определения коэффициента абсолютной проницаемости коллекторов, данная модель описывается формулой, выведенной В.Н. Кобрановой [Кобранова, 1962; Waxman, Smits, 1968]; в нее же включен эмпирический коэффициент *C*, заменяющий в формуле трудно оцениваемые параметры (удельная поверхность, извилистость, толщина диффузного слоя) и отражающий изменение структурной неоднородности породы как функции ее относительной пористости:

$$K_{np} = CK_n \frac{\left(1 - K_{e,ce}\right)^r}{K_{e,ce}^{q}}$$
<sup>(5)</sup>

где  $C = b^{\frac{K_n}{K_n 0}}$  – структурный коэффициент породы, *r* и *q* – эмпирические константы.

На основе математического моделирования с учетом данных по керну для разреза изучаемых пород установлено, что  $K_{n0} = 2\%$ , b = 1,7, r = 0,5 и q = 1.

На рисунке 3 приведено сопоставление коэффициентов проницаемости измеренных на керне  $(K_{np,\kappa})$  и рассчитанных по модели  $(K_{np,m})$ . На графике наблюдается хорошее сопоставление сравниваемых данных во всем диапазоне изменения  $K_{np}$  пород коллекторов (0,5–100 мд).



*Рис. 3. Сопоставление величин абсолютной проницаемости измеренных на керне (Кпр.к) и рассчитанных по модели (5) (Кпр.т) (а) и статистических кривых распределения (б). /* 

Fig. 3. Comparison of absolute permeability values measured on core  $(K_{pr,k})$  and calculated by model (5)  $(K_{pr,l})$  (a) and statistical distribution curves (b).

По описанной методике была проведена переинтерпретация данных ГИС из нескольких десятков скважин ряда месторождений ТСНО. Были получены данные подтверждающие ранее полученные результаты выделения коллекторов, а также дополнительно выявлены пласты, отвечающие всем признакам нефтеносных коллекторов [Хасанов, Эзирбаев, 2009; Эзирбаев, 2011, 2012а, б].

## Выводы

На сегодняшний день в свете разработанных автоматизированных систем обработки и интерпретации данных ГИС, позволяющих получить более детальную картину слагающих разрез пород и изменившихся параметров граничных кондиционных значений, было бы целесообразно провести переинтерпретацию имеющихся фондовых материалов и дополнительные исследования на малоизученных альб-аптских коллекторах нефти и газа ТСНО.

Применение новой более совершенной методики интерпретации данных ГИС позволит поновому подойти к исследованию геологической неоднородности и нефтегазоносности меловых отложений на территории Терско-Сунженской нефтегазоносной области.

Полная переинтерпретация данных ГИС по всему фонду скважин позволит более объективно выделить в толще нижнемеловых отложений ТСНО геологические тела, которые могут содержать углеводороды, которые не были вовлечены в разработку в предыдущий период эксплуатации месторождений по причинам не полного их геологического изучения.

## Литература

1. Александров Б.Л., Дергунов Э.Н. О влиянии теплового поля в приствольной части скважины на данные электрометрии. // Экспресс-информация. – 1978. – №9. – С. 8–13.

2. Керимов И.А., Даукаев А.А., Бачаева Т.Х. Ресурсный потенциал месторождений нефти и газа Чеченской Республики // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том V. Коллективная монография. – Грозный. – 2016. – С. 124–131.

3. Кобранова В.Н. Физические свойства горных пород (петрофизика): учебное пособие для вузов. – М.: Гостоптехиздат, 1962. – 490 с.

4. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических методов исследования скважин. – М.: Недра, 1966. – 172 с.

5. Меркулов А.В. Коллекторские свойства аптских отложений продуктивных горизонтов площади Карабулак-Ачалуки. // Труды СевКавНИПИнефть. Вып. 4. Геология и нефтегазоносность Восточного Предкавказья. – Грозный. – 1968. – С. 30–36.

6. Методические указания по интерпретации к приборам серии Э. // А.Г. Барминский и др. – Грозный: СКТБ ПГ, 1979. – 68 с.

7. Минерально-сырьевые ресурсы Чеченской Республики. // Под ред. Керимова И.А., Аксенова Е.М. – Грозный: Грозненский рабочий, 2015. – 512 с.

8. Разработка методов выделения и оценки глубокозалегающих терригенных аптских коллекторов ЧИАССР по данным промысловой геофизики (окончательный отчет). // Н.В. Демушкина и др. – Грозный: СКТБ ПГ, 1980. – 419 с.

9. Хасанов М.А., Эзирбаев Т.Б. Петрофизические характеристики терригенных нижнемеловых продуктивных коллекторов Терско-Сунженской нефтегазоносной области как основа интерпретации данных ГИС. // Каротажник. – 2009. – №8(185). – С. 3–9.

10. Шнурман И.Г. Изучение терригенных коллекторов Предкавказья по результатам геофизических исследований скважин. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2003. – 397 с.

11. Эзирбаев Т.Б. Методика интерпретации данных ГИС в терригенных алеврито-глинистых и трещиноватых породах на примере отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. // Автореферат на соискание ученой степени к.т.н. – М.: МГРИ, 2012а. – 29 с.

12. Эзирбаев Т.Б. Обоснование моделей каротажей пористости для альб-аптских отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. // Геофизические методы исследования Земли и ее недр: Материалы VIII международной научно-практической конференции молодых специалистов «Геофизика 2011». 3-7 октября 2011. / Под ред. С.В. Аплонова, В.П. Кальварской, В.Н. Трояна. – СПб.: СПбГУ, 2012б. – С. 83–85.

13. Эзирбаев Т.Б. Обоснование моделей каротажей пористости для альб-аптских отложений Терско-Сунженской нефтегазоносной области. // Тезисы доклада на VIII международной научно-практической конференции молодых специалистов «Геофизика 2011». – СПб. – 2011. – С. 113–116.

14. Ямалханов И.А., Висмурадов А.В., Керимов И.А. Минерально-сырьевая база Чеченской Республики: ее состояние, проблемы и перспективы развития. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Материалы II Всероссийской научно-технической конференции. – Грозный: Академия наук Чеченской Республики, 2012. – С. 73–90.

15. Darwin V. Ellis, Julian M. Singer. Well logging for earth scientists. // Springer-Verlag New York Inc. – 2008.

16. Ezirbaev T.B., Khasanov M.A., Elzhaev A.S., Gatsaeva S.S.A. Determining reservoir type in lower cretaceous terrigenic sediments of Tersko-Sunzhensky oil and gas bearing region. // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018) International Symposium on Engineering and Earth Sciences. «Advances in Engineering Research». – 2018. – Pp. 471–474.

17. Kerimov I.A. Starogroznenskoye field: oil and gas production and seismic activity. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering, IPDME 2018 – Transportation of Mineral Resources. "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science". – 2018. – Pp. 072004.

18. Luthi S. Geological Well Logs: Their Use in Reservoir Modeling. // Springer. – May 11, 2001. – 373 p.
19. Ruchko K., Kurgansky V.M. The results of interpretation the data of electric and pulsed neutronneutron logging methods for the study of low-resistivity reservoirs, example is terrigenous sediments of the Dnieper-Donets basin. // Conference Proceedings, 14th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, May 2015. – Pp. 1–5.

20. Waxman M.H., Smits L.J.M. Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands. // Soc. Pet. Eng. Journal. - June, 1968. – Pp. 107–122.

#### References

1. Aleksandrov B.L., Dergunov E.N. About the influence of the thermal field in the near-wellbore part of the well on electrometry data. Express information. 1978. No. 9. pp. 8–13. (In Russ.)

2. Kerimov I.A., Daukaev A.A., Bachaeva T.Kh. Resource potential of oil and gas fields of the Chechen Republic. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Volume V. Collective monograph. Grozny. 2016. pp. 124–131. (In Russ.)

3. Kobranova V.N. Physical properties of rocks (petrophysics): a textbook for universities. Moscow. Gostoptekhizdat, 1962. 490 p. (In Russ.)

4. Latyshova M.G. A practical guide for interpreting diagrams of geophysical methods for researching wells. Moscow. Nedra, 1966. 172 p. (In Russ.)

5. Merkulov A.V. The reservoir properties of the Aptian deposits of the productive horizons of the Karabulak-Achaluki area. Proceedings of SevKavNIPIneft. Vol. 4. Geology and oil and gas potential of the Eastern Ciscaucasia. Grozny. 1968. pp. 30–36. (In Russ.)

6. Guidelines for the interpretation of the series E devices. A.G. Barminskii et al. Grozny. SKTB PG, 1979. 68 p. (In Russ.)

7. Mineral resources of the Chechen Republic. Ed. Kerimov I.A., Aksenov E.M. Grozny. Grozny worker, 2015. 512 p. (In Russ.)

8. Development of methods for isolating and evaluating deep-lying terrigenous Aptian reservoirs of the Chechen-Ingush Autonomous Soviet Socialist Republic according to the data of field geophysics (final report). N.V. Demushkin et al. Grozny. SKTB PG, 1980. 419 p. (In Russ.)

9. Khasanov M.A., Ezirbaev T.B. Petrophysical characteristics of terrigenous Lower Cretaceous productive reservoirs of the Tersk-Sunzhensk oil and gas region as the basis for the interpretation of GIS data. Logger. 2009. No. 8 (185). pp. 3–9. (In Russ.)

10. Shnurman I.G. Study of terrigenous collectors of the pre-Caucasus region based on the results of geophysical studies of wells. Krasnodar. Prosveschenie-Yug. 2003. 397 p. (In Russ.)

11. Ezirbaev T.B. Methodology for the interpretation of well log data in terrigenous silty-clayey and fractured rocks using the example of deposits of the Tersk-Sunzhensk oil and gas region. Ph.D Abstract. M. MGRI, 2012a. 29 p. (In Russ.)

12. Ezirbaev T.B. Substantiation of porosity log models for the Alb-Aptian deposits of the Tersk-Sunzhensk oil and gas region. Geophysical research methods of the Earth and its subsoil. Materials of the VIII International Scientific-Practical Conference of Young Specialists "Geophysics 2011". October 3-7, 2011. Editors S.V. Aplonova, V.P. Kalvarskaya, V.N. Troyan. SPb. SPbU, 2012b. pp. 83–85. (In Russ.)

13. Ezirbaev T.B. Substantiation of porosity log models for the Alb-Aptian deposits of the Tersk-Sunzhensk oil and gas region. Abstracts of the report at the VIII International Scientific-Practical Conference of Young Specialists "Geophysics 2011". SPb. 2011. pp. 113–116. (In Russ.)

14. Yamalkhanov I.A., Vismuradov A.V., Kerimov I.A. Mineral resources base of the Chechen Republic: its condition, problems and development prospects. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Proceedings of the II All-Russian Scientific and Technical Conference. Grozny. Academy of Sciences of the Chechen Republic, 2012. pp. 73–90. (In Russ.)

15. Darwin V. Ellis, Julian M. Singer. Well logging for earth scientists. Springer-Verlag New York Inc. 2008.

16. Ezirbaev T.B., Khasanov M.A., Elzhaev A.S., Gatsaeva S.S.A. Determining reservoir type in lower cretaceous terrigenic sediments of Tersko-Sunzhensky oil and gas bearing region. In: International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2018) International Symposium on Engineering and Earth Sciences. "Advances in Engineering Research". 2018. pp. 471–474.

17. Kerimov I.A. Starogroznenskoye field: oil and gas production and seismic activity. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science International Conference on Innovations and Prospects of Development of Mining Machinery and Electrical Engineering, IPDME 2018. Transportation of Mineral Resources. "IOP Conference Series: Earth and Environmental Science". 2018. pp. 072004.

18. Luthi S. Geological Well Logs: Their Use in Reservoir Modeling. Springer. May 11, 2001. 373 p.

19. Ruchko K., Kurgansky V.M. The results of interpretation the data of electric and pulsed neutronneutron logging methods for the study of low-resistivity reservoirs, example is terrigenous sediments of the Dnieper-Donets basin. Conference Proceedings, 14th EAGE International Conference on Geoinformatics – Theoretical and Applied Aspects, May 2015. pp. 1–5.

20. Waxman M.H., Smits L.J.M. Electrical conductivities in oil-bearing shaly sands. Soc. Pet. Eng. Journal. June, 1968. pp. 107–122.

# = ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ 😑

# УДК 552.47+551.243.4 (470.621) DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44487</u>

#### Оригинальная статья

# Минеральный состав серпентинитов тектонического меланжа Даховского кристаллического выступа (Большой Кавказ)

Ю.В. Попов 🕞<sup>1</sup>, к.г.-м.н., А.В. Жабин 🕞<sup>2</sup>, к.г.-м.н., О.Е. Пустовит

<sup>1</sup>Южный федеральный университет, Россия, 344103, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 40, e-mail: popov@sfedu.ru;

<sup>2</sup>Воронежский государственный университет, Россия, 394006, г. Воронеж,

#### Университетская площадь, 1;

<sup>3</sup>ООО «ГеоБазисПроект», Россия, 344018, г. Ростов-на-Дону, ул. Текучева, д. 139,

корпус в, офис 7

Статья поступила: 30.10.2019, после рецензирования: 19.11.2019, принята к публикации: 26.11.2019

Аннотация: Актуальность работы. Северный фланг Даховского кристаллического выступа, входящего в состав тектонической зоны Передового хребта Большого Кавказа, представлен тектоническим меланжем. В объекте исследования – серпентинитах тектонического меланжа выделены минеральные ассоциации лизардит-хризотиловой и антигоритовой стадий метасоматической серпентинизации. Цель работы - изучение минерального состава серпентинитов с привлечением комплекса современных инструментальных методов анализа. Методы: электронно-зондовые исследования микроструктуры и элементного состава, волнодисперсионный анализ, рентгенофазовый анализ, синхронный термический анализ. Результаты работы. Лизардит идентифицирован методами синхронного термического анализа и электронно-зондового микроанализа. На его широкое развитие указывают эндотермические эффекты в интервале температур ~640-660°С и характерная микропетельчатая структура с секторальным строением ячеек. Ранние генерации серпентинов представлены замещающим оливин лизардитом. Лизарит-хризотиловые разновидности (преобладающие среди серпентинитов меланжа) сложены лизардитовыми ячейками и шовными шнурами и прожилками хризотила. Антигоритовые разности приурочены к участкам интенсивной дислоцированности; антигорит участвует в образовании крупнопетельчатой структуры, а также образует агрегаты с лизардитом и хризотилом. На участках развития антигноритовых серпентинитов вдоль границ пластин серпентинитов наблюдается развитие хлорит-тремолитовых пород. С серпентинами ассоциируют хлориты (клинохлор), хромшпинелиды, сер- пентинизированные пироксены, амфиболы (тремолит), флогопит, апатит, Y-ксенотим, Nd-La-Се монацит, пентландит, пирротин; в срастаниях с вторичным магнетитом отмечается миллерит и зигенит. Отсутствие брусита указывает на метасоматическую серпентинизацию в условиях высокой активности кремнезема и выноса значительной части магния. Первичные хромшпинелиды (хромпикотиты) несут выраженные признаки вторичных изменений (образование зональности с постепенным изменением состава от обогащенного хромом ядра к обогащённой железом и алюминием оторочке, развитие прожилков и оторочек вторичного хроммагнетита), указывающие на перекристаллизацию в условиях относительно низкой температуры и воздействия гидротермальных насыщенных кремнеземом растворов. Серпентинитовый меланж начал формироваться на позднегерцинском этапе развития территории после становления гранодиоритовой фазы маклинского комплексасинхронно с внедрением по зонам развивающихся хрупких деформаций в кристаллических породах малых интрузий малкинских гранитов (последующие деформации привели к их включению в серпентинитовую массу в виде тектонических блоков). Серпентинизация происходила под воздействием низкотемпературной щелочной обогащенной кремнеземом и алюминием флюидно-гидротермальной системы, сопряженной с завершающей стадией развития очага позднепалеозойского коллизионного гранитоидного магматизма.

Ключевые слова: Даховский выступ, серпентинитовый меланж, серпентинит, лизардит, хромшпинелиды.

**Для цитирования:** Попов Ю.В., Жабин А.В., Пустовит О.Е. Минеральный состав серпентинитов тектонического меланжа Даховского кристаллического выступа (Большой Кавказ). Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 38-48. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44487.

## =GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY =

DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44487

**Original paper** 

# Mineral composition of serpentinites of the tectonic melange of the Dakhovsky crystalline protrusion (Greater Caucasus)

# Yu.V. Popov (D<sup>1</sup>, A.V. Zhabin (D<sup>2</sup>, O.E. Pustovit (D<sup>3</sup>)

<sup>1</sup>Southern Federal University, 40 R. Zorge Str., Rostov-on-Don 344103, Russian Federation, e-mail: popov@sfedu.ru;

<sup>2</sup>Voronezh State University, 1 Universitetskaya pl., Voronezh 394006, Russian Federation; <sup>3</sup>GeoBazisProect Ltd, 139 building B, office 7, Tekucheva Str., Rostov-on-Don 344018,

#### **Russian Federation**

#### Received: 30.10.2019, revised: 19.11.2019, accepted: 26.11.2019

Abstract: Relevance. The northern flank of the Dakhovka crystalline protrusion, which is the part of the tectonic zone of the Forefront of the Greater Caucasus, is represented by tectonic melange. In tectonic melange serpentinites, which are the object of research, mineral associations of lysardite-chrysotile and antigorite metasomatic serpentinization stages are identified. Aim. To study the mineral composition of serpentinites using a complex of modern instrumental methods of analysis. Methods. Electron probe explorations of the microstructure and elemental composition, wave dispersive analysis, x-ray phase analysis, synchronous thermal analysis. Results. Lizardite is identified by synchronous thermal analysis and electron probe microanalysis. Its wide development is indicated by endothermic effects in the temperature range of ~ 640-660 ° C and a characteristic micropelate structure with a sectoral cell structure. Early serpentine generations are represented by lizardite that is replacing olivine. Lysarite-chrysotile varieties (prevailing among melange serpentinites) are composed of lizardite cells and suture lines and veins of chrysotile. Antigorite differences are confined to areas of intense dislocation; antigorite is involved in the formation of a large-looped structure, and also forms aggregates with lizardite and chrysotile. Chlorite-tremolite rocks are observed in the sites of the development of anti-ignorant serpentinite along the boundaries of serpentinite plates. Chlorites (clinochlor), chrome spinels, serpentinized pyroxenes, amphiboles (tremolite), phlogopite, apatite, Y-xenotime, Nd-La-Ce monazite, pentlandite, and pyrrhotite are associated with serpentines; in intergrowths with secondary magnetite, millerite and zygenite are noted. The absence of brucite indicates metasomatic serpentinization under conditions of high activity of silica and the removal of a significant part of magnesium. Primary chromic spinels (chrompicotites) bear pronounced signs of secondary changes (formation of zoning with a gradual change in composition from a chromium-enriched core to an iron and aluminum-enriched rim, development of veins and rims of secondary chrome magnetite), indicating recrystallization under relatively low temperature conditions and exposure to hydrothermal saturated silica solutions. Serpentinite melange began to form at the late Hercynian stage of territory development after the formation of the granodiorite phase of the Macklin complex asynchronously with small intrusions of Malkin granites in brittle deformation zones of crystalline rocks (subsequent deformations led to their inclusion in the serpentinite mass in the form of tectonic blocks). Serpentinization took place under the influence of a low-temperature alkaline enriched silica and aluminum fluid-hydrothermal system associated with the final development stage of the focus of Late Paleozoic collisional granitoid magmatism.

Keywords: Dahovsky massif, serpentinite melange, serpentinite, lizardite, chromespinelide.

**For citation:** Popov Yu.V., Zhabin A.V., Pustovit O.E. Mineral composition of serpentinites of the tectonic melange of the Dakhovsky crystalline protrusion (Greater Caucasus). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 38-48. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44487.

Даховский выступ кристаллиникума Большого Кавказа в бассейне р. Белой входит в систему Шахан-Аибгинско-Даховской докелловейской складчато-разрывной зоны, рассматриваемой как аллохтонный блок герцинских комплексов грабен-синклинория Передового хребта [Государственная геологическая карта..., 2004] (рис. 1). Кристаллический выступ сложен метаморфической толщей амфиболит-гнейсового балканского комплекса, условно относимой к верхнему протерозою и несущей признаки формирования в условиях повышенного давления [Кориковский и др., 2004].

44°20'

#### Рис. 1. Тектоническая схема территории.

Условные обозначения: 1 – главные разрывные нарушения (ПТ – Пшекиш-Тырныаузский, ХМ-Хамышкинский, 3-Заканский, С-Северный разломы); 2 – надвиги: а – достоверные, б-предполагаемые; 3-сдвиги: а-достоверные, б – предполагаемые; 4 – границы структур: а – согласные, б – несогласные; 5 – Шаханскладчато-разрывная 44°10' Аибгинско-Даховская зона. Геологические структуры, обозначенные на схеме: 1-Северо-Кавказская моноклиналь: 1.1.область развития келловей-верхнеюрских пород, 1.2. – область развития меловых пород; 2-7 – Лабино-Малкинская зона прерывистой складчатости: 2 – Догуакская покровноскладчатая зона (J<sub>1-2</sub>), 3 – Сахрайская зона сдвигово-надвиговых дислокаций  $(J_{1-2}),$ 4 – Руфабгинский выступ (гранитоидный массив, PZ<sub>2-3</sub>; осадочный комплекс, T); 5 – Даховская антиклиналь; 6 – Даховский выступ: 6.1 – гранитоидный массив (PZ<sub>2-3</sub>), 6.2. – метаморфическая толща балканского комплекса  $(PR_2?)$ , 6.3 – серпентиниты апогипербазитовые  $(PR_2?)$ ; 7 – Дудугушская синклиналь; 8-9 – Пшекиш-Тырныаузская шовная зона: 8 – Пшекиш-Бамбакский блок: 8.1 – Ацгаринский покров, 8.2 – Кишинский параавтохтон, сероцветная моласса (С<sub>3</sub>); 8.3 – Кишинский параавтохтон, красноцветная 44°00' моласса  $(P_{1,2})$ ; 8.4 – серпентиниты апогипербазитовые  $(PR_2?)$ ; 9 – Архыз-Гузерипльская депрессия: 9.1 – Гузерипльская синклиналь (J<sub>1-2</sub>), 9.2 – тектонический покров



 $(J_1)$ ; 10 – Складчато-глыбовое понятие Главного хребта, Псеашхинская депрессия  $(J_{1,2})$ . /

#### Fig. 1. Tectonic diagram of the territory.

The Legend: 1 - main faults ( $\Pi T - Pschekish-Tyrnyauz$ , XM - Khamishnkinskiy, 3 - Zakanskiy, C - North faults); 2 - thrust-faults:a - veracious ones;  $\delta - estimated$  ones; 3 - strike-slip faults: a - veracious ones;  $\delta - estimated$  ones; 4 - structure boundaries: a – concordant; 6 – discordant; 5 – Shachan-Aibginsko-Dakhovskaya fold-fracture zone. Geological structures: 1 – Norh Caucasian monocline: 1.1. – Callovian-Upper Jurassic rock development area; 1.2. – Cretaceous rock development area; 2-7 – Labino-Malkinsky intermittent folding zone: 2 – Doguakskaya integumentary folding zone; 3 – Sakhrayskaya shear-thrust dislocation zone; 4 – Rufabginskiy ledge (granitoid diastrophic block,  $PZ_{2.3}$ , sedimentary complex, T); 5 – Dakhovksaya anticline; 6 – Dakhovskiy ledge: 6.1 – granitoid diastrophic block ( $PZ_{2.3}$ ); 6.2. – metamorphic series of Balkan complex ( $PR_2$ ?), 6.3 – apogiperbasite serpentines ( $PR_2$ ?); 7 – Dudugush syncline; 8-9 – Pschekish-Tyrnyauz suture area: 8 – Pschekish-Bambakskiy block: 8.1 – Azgara cover, 8.2 - Kishinskiyparaatochtone cover, gray molasses ( $C_3$ ); 8.3 - Kishinskiyparaatochtone cover, red molasses ( $P_{1-2}$ ); 8.4. - apogiperbasite serpentines (PR<sub>2</sub>?); 9 – Arhyz-Guzeripl depression: 9.1. – Guzeriplsincline  $(J_{1,2})$ , 9.2. – tectonic cover  $(J_1)$ ; 10 - The folded-block elevation of the Main Ridge, Pseashikhinsk depression  $(J_{1,2})$ .

Метаморфическая толща вмещает полифазный гранитоидный массив, породы которого прослеживаются и под покровом мезозойских осадочных толщ. Породы массива охарактеризованы проблематичными абсолютными датировками. К-Аг датировки диоритов и плагиогранитов, полученные по валовым пробам или одному из темноцветных минералов, дают широкий интервал значений 650-425 млн лет, образующих основную площадь массива гранодиоритов – 470-460 млн лет, фациально связанных с гранодиоритами пегматоидных гранитов – 470 млн лет по биотиту и 440-430 млн.лет по полевым шпатам [Лебедько, 1980]. Наряду с этими датировками известны и более «молодые» значения, полученные К-Аг методом в разных лабораториях: 287±10 млн лет для плагиогранитов по биотит-роговообманковой фракции [Шенгелиа, 1972] и 301±10 млн лет для гранодиоритов по роговой обманке [Somin et al., 2007]. Для этих фаз типично, с одной стороны, присутствие ксенолитов, шлиров и ксенокристаллов меланократовых пород вмещающего метаморфического комплекса, что может приводить к удревнению датировок, с другой, наложенный метасоматический бластез. Время формирования последующих фаз устанавливается более определённо. Абсолютные датировки гранитов заключены в интервале 360-320 млн лет, что близко к большинству датировок метаморфического комплекса [Шенгелиа и др., 1991]; ранее значение можно рассматривать как близкое к времени завышения герцинского регионального метаморфизма, позднее – к времени тектонического подъёма консолидированного массива к поверхности. На смежной территории в структуре Сахрайско-Блыбского горста время внедрения плагиогранитов, несущих явные признаки наложенного регионального метаморфизма, определяется интервалом 400-460 млн лет, пика регионального метаморфизма – 376 млн лет [Шенгелиа и др., 1991]. Для малых интрузий лейкократовых гранитов получены датировки 250–190 млн лет [Лебедько, 1980], видимо, отражающие завершение гидротермально-метасоматической переработки кристаллических пород. Анализ геологического строения указывает на отсутствие в пределах массива геологических индикаторов дискретности процессов гранитообразования [Попов, 2005] – даек гранитов или лампрофиров, внедрившихся между гранитоидными сериями, признаков регионального метаморфизма ранних фаз внедрения. Согласно современным представлениям, в составе Даховского массива выделяются среднепалеозойский даховский плагиогранит-диоритовый плутонический комплекс и верхнепалеозойский малкинский гранитовый плутонический комплекс [Государственная геологическая карта..., 2004].

На северном фланге выступа выделяется тектоническая зона с внутренним строением меланжевого типа, включающая (с юга на север) три подзоны: мегабрекчий (шириной 150–200 м), серпентинитового меланжаполимиктового типа (до 300 м), полимиктового терригенного меланжа (более 800 м) [Ненахов и др., 2019]. В зоне мегабрекчий преобладают блоки кристаллических пород (метапород, гранодиоритов), при этом наблюдается наследование межблоковых трещин дайками позднепалеозойских гранитов малкинского комплекса (рис. 2-I), указывающее на проявление позднегерцинского этапа деформаций в шовной зоне. Примечательна также насыщенность гранитов, примыкающих к Северному разлому (ограничивающему Даховский выступ с юга), ксенолитами массивных роговообманковых пород, сохраняющих ромбовидные формы (рис. 2-II, III), свидетельствующая об интенсивном дроблении кристаллических пород и на южном фланге выступа. Серпентинитовый меланж образует прослеживающуюся вдоль северного края Даховского выступа полосу выходов от среднего течения р. Сюк через приустьевую часть р. Липовой на левобережье р. Белой в руч. Колесникова и среднее течение р. Догуако.

Апогипербазитовые серпентиниты представляют собой породы от светло-зелёного до тёмносерого цвета, разбитые на пластины и линзы разного размера, интенсивно перемятые. Возраст серпентинитов на основании проблематичных К-Аг датировок принимается условно как верхнепротерозойский. Среди серпентинитов присутствуют тектонические блоки разного размера и состава: пластины амфиболитов и амфиболовых гнейсов мощностью до 10 м, линзовидные и округлые включения-обдавыши амфиболитов, родингитов разного минерального состава [Попов, Пустовит, 2019], гранитоидов (рис. 2). Апогипербазиты секутся дайками малкинских гранитов, которые, в свою очередь, подверглись дроблению в составе меланжа и встречаются в форме блоков-обдавышей среди серпентинитов (рис. 2-IV, 2-V). Экзоконтакты малых интрузий представлены маломощными зонами закалки; редко вдоль контактов наблюдаются тонкие зоны оталькования. Севернее развита подзона терригенного меланжа, в структурном плане отвечающая Догуакской покровно-складчатой зоне. На поверхности она представлена нижне-среднеюрскими толщами, разбитыми на несколько пластин, границы между которыми трассируются зонами рассланцевания.



Рис. 2. Некоторые особенности строения тектонического меланжа: I – наследование межблоковых границ дайками лейкогранитов малкинского комплекса в зоне мегабрекчий; II, III – ромбовидные ксенолиты роговообманковой породы в гранитах (приустьевая часть р. Сибирь); IV – фрагмент дайки малкинских гранитов среди серпентинитов; V – фрагмент блока-обдавыша лейкократовых гранитов даек малкинского комплекса среди серпентинитов; VI – образец гранатсодержащего родингита из серпентинитов. /
Fig. 2. Some features of structure of the tectonic mélange: I – inheritance of inter-block boundaries by dykes of leukogranites of the Malkinsky complex in the megabreccia zone; II, III – diamond-shaped xenoliths of hornblende rocks in granites (the estuary part of the Siberia River); IV – a fragment of a dyke of Malka granites among serpentinite; VI – a sample of garnet-containing rodingite from serpentinite.

Важную информацию о развитии тектонического меланжа северного фланга Даховского выступа несут серпентиниты. Их минеральный состав изучался с начала XX века методами оптической петрографии при тематических исследованиях (Н.И. Безбородко, Н.Е. Ефремов, А.Г. Кобилев, Е.Н. Дьяконова-Савельева, Н.Д. Соболев и др.) и входе геологосъёмочных работ (под руководством Д.И. Выдрина, В.Г. Рихтера, В.П. Грицкевич, В.Г. Буторина, А.С. Кандаурова, Е.И. Коваленко, В.К. Филипова, Е.В. Мерончука, С.Г. Корсакова и др.). Всеми авторами их состав определялся как хризотил-антигоритовый с присутствием бастита (от ~3% до ~18%), идденгсита-боулингита (~5%), реликтового пироксена, выделялись хризотиловые, хризотил-антигоритовые и антигоритовые разновидности. По химическому и минеральному составу они близки к ультрабазитам, ассоциирующим с кристаллическими толщами других районов Передового хребта, и отнесены к гарцибургитовым альпинотипным ультрабазитам континентальных областей [Снежко, 1985].

Авторами проведено изучение минерального состава серпентинитов с привлечением комплекса современных инструментальных методов анализа. Электронно-зондовые исследования микроструктуры и элементного состава выполнено на растровом электронном микроскопе TescanVEGA II LMU, оснащенном системами энергодисперсионного микроанализа INCA ENERGY 450/XT и волнодисперсионного анализа INCAWave 700. Исследовались полированные аншлифы напыленные углеродом. Рентгенофазовый анализ проведен на дифрактометре рентгеновском общего назначения «ДРОН-7». Синхронный термический анализ выполнен на приборе NETZSCH STA 449C «Jupiter» в воздушной динамической и гелиевой атмосфере при скорости нагрева 10°C/мин в интервале 50–1000°C; использовались корундовые тигли с крышкой. Исследование в гелиевой атмосфере совмещалось с качественным анализом состава и динамики выделения газов на совмещённом с прибором STA ква-

друпольном масс-спектрометре QMS 403С «Aeolos». Работы выполнены в Центре коллективного пользования научным оборудованием «Центр исследований минерального сырья и состояния окружающей среды» Южного федерального университета (г. Ростов-на-Дону).

Результаты синхронного термического анализа серии образцов серпентинитов выявляют эндотермические эффекты в интервале температур ~640–660°С и ~760°С (в гелиевой атмосфере первый из эффектов смещается в более низкотемпературную область ~620–650°С), связанные с дегидратацией (рис. 3), и экзоэффект ~819–822°С, вызванный кристаллизацией пироксенов. Смещение диагностического эндоэффекта дегидратации в область относительно пониженных для серпентинов температур (менее 670°С) указывает на существенно лизардитовый состав апогипербазитов [Földvári, 2011; Trittschack, Grobéty, 2012; Брянчанинова и др., 2017; Zulumyan et al., 2018].



Рис. 3. Результаты синхронного термического анализа (STA) серпентинитов: I – лизардит-хризотиловый серпентинит (воздушная атмосфера); II – сопоставление результатов STA образцов лизардитхризотиловых серпентинитов, кривые ДСК (воздушная атмосфера); III – результаты STA в гелиевой атмосфере, совмещенные с масс-спектрометрическим анализом динамики выделения H<sub>2</sub>O. /

Fig. 3. Simultaneous Thermogravimetry – Differential Scanning Calorimetry(STA) of serpentines:  $I - lyzardite-chrysotile serpentine (air atmosphere); II – STA results comparison of samples of lyzardite-chrysotile serpentine DSC curves (air atmosphere); III – STA results in a helium atmosphere combined in mass spectrometric analysis of the dynamics of <math>H_2O$  emission.

Структура серпентинитов сложная петельчатая, сочетающаяся с наложенной катакластической разных порядков, местами спутанноволокнистая. Микропетельчатая структура представлена петельками размером ~0,5–2,0 мм с выраженным секторальным полигональным строением (рис. 4-I). Сектора сложены почти изотропным серпентином или серпофитом (иногда с идденгситом); между секторами развивается серпентин со слабо выраженной зеленовато-желтой окраской и слабо проявленным плеохроизмом. Результаты электронно-зондового микроанализа указывают на обогащенность внутренних частей железом и никелем: содержание железа составляет до 4-5 вес.%, никеля – до 0,5-0,7 вес.%. Петлис секторальным строением обрамляются выделениями вторичного магнетита (рис. 4-II, III). Эта ранняя генерация серпентинов представлена замещающим оливин лизардитом. Переход  $\alpha \rightarrow \beta$ -лизардит придает секторам «облачное» строение с обособлением участков размером 0,05-0,3 мм в разной мере обогащенных железом (рис. 4-V); выделение железа из кристаллических решеток  $\alpha$ -лизардита) [Варлаков, 1998]. Наряду с железом отмечается и вынос никеля.

Более крупные шовные шнуры и прожилки с поперечно- и продольно-волокнистым строением облекают микропетельчатые агрегаты с секториальными ячейками размером до 1 мм (образованными псевдоморфно по зернам оливина и унаследовавшими реликтовую идиоморфнокристаллическую полигональную структуру), они сложены хризотилом, ассоциирующим с магнетитом. Хризотиловые шнуры имеют бо́льшую железистость по сравнению с β-лизардитом (рис. 4-V). Эта генерация серпентина присутствует во всех серпентинитах Даховского выступа и является в большинстве выходов ведущим минералом; замещает лизардит и образует срастания с ним в виде тончайших пластинок.

Антигорит, образующий третью генерацию серпентинов, присутствует в разном количестве (вплоть до образования антигоритовых разностей с содержанием этого минерала 70–75%). Он участвует в формировании крупнопетельчатой структуры, а также образует листоватые агрегаты с лизардитом и хризотилом (рис. 4-VI). Преимущественное развитие имеет в интенсивно катализированных зеленовато-желтых хризотил-антигоритовых серпентинитах, заключающих линзовидные фрагменты темно-серых или черных лизардит-хризотиловых разностей.



Рис. 4. Строение серпентинитов: I – мелкопетельчатая секториальная реликтовая полигональная структура (ячейки выполнены лизардитом, шовные зоны – хризотилом), оптический микроскоп;
II – типичное строение породы, по контурам лизардитовых агрегатов развит магнетит и хризотил;
III – мелкопетельчатая структура; оттенками выделяются участки с разным содержанием железа (контраст BSE); IV – хлорит среди серпентиновой массы; V – шнуры хризотила, заключающего магнетит и лизардит (содержание Fe в вес.% в указанных местах анализа: 1 – 3,1%, 2 – 2,1%, 3 – 2,9%); VI – агрегат антигорита и более ранних серпентинов. Изображения II-VI получены в обратно-рассеянных электронах (BSE). Обозначения минералов: Liz – лизардит (a – α-лизардит, b – β-лизардит), Chr – хризотил, Ant – антигорит, Chl – хлорит, Flg – флогопит. /

Fig. 4. The structure of serpentinites: I - small-loop sectorial relict polygonal texture (cells made of lizardite, suture zones with chrysotile), optical microscope; II – typical structure of rock, magnetite and chrysotile are developed along the contours of lizardite aggregates; III – small-looped texture; shades highlight areas with different iron contents (BSE contrast); IV – chlorite among the serpentine mass; V - cords of chrysotile containing magnetite and lysardite (Fe content in wt.% In the indicated places of analysis: 1 - 3.1%, 2 - 2.1%, 3 - 2.9%); VI – an aggregate of antigorite and earlier serpentines. Images II-VI obtained in backscattered electrons (BSE). Designations of minerals: Liz – lysardite ( $a - \alpha$ -lysardite,  $b - \beta$ -lysardite), Chr – chrysotile, Ant – antigorite, Chl – chlorite, Flg – phlogopite.

В ассоциации с серпентинами встречаются (идентифицированные методами рентгенофазового анализа и электронно-зондового микроанализа) хлориты (клинохлор), хромшпинелиды, серпентинизированные пироксены, амфиболы, флогопит. Основные акцессорные минералы – апатит, У-ксенотим, Nd-La-Ce монацит, пентландит, пирротин. В срастаниях с вторичным магнетитом (в агрегатах размером ~50 мкм) отмечается миллерит и зигенит.

Клинохлор является наиболее распространённым второстепенным минералом, замещает, наряду с серпентином, пироксены. Неизменённые пироксены не встречены в изученных образцах. Амфиболы представлены тремолитом с составом изменяющимся в диапазоне ( $Ca_{1.86}Fe_{0.14}$ )<sub>2.0</sub>( $Mg_{4.78}Fe_{0.19}Mn_{0.02}Cr_{0.01}$ )<sub>5.0</sub>[( $Si_{7.85}Al_{0.15}$ )<sub>8.0</sub>O<sub>22</sub>](OH)<sub>2.0</sub>. ( $Ca_{1.81}Fe_{0.19}$ )<sub>2.0</sub>( $Mg_{4.85}Fe_{0.13}Mn_{0.01}Cr_{0.01}$ )<sub>5.0</sub>[( $Si_{7.88}Al_{0.12}$ )<sub>8.0</sub>O<sub>22</sub>](OH)<sub>2.0</sub>, ассоциируют с хлоритом и серпентином; отмечаются в форме сноповидных агрегатов (с клинохлором) по плоскостям скольжения в серпентинитах. Флогопит присутствует фрагментарно в форме относительно крупных не затронутых существенными вторичными изменениями листочков. Хромшпинелиды по составу соответствуют хромпикотитам, в среднем отвечают составу ( $Fe_{0.55}Mg_{0.4}$  $_4Zn_{0.01}$ )<sub>1.00</sub>( $Cr_{1.51}Al_{0.39}Fe_{0.10}$ )<sub>2.00</sub>O<sub>4</sub>, несут выраженные признаки вторичных изменений, проявленные в образовании прожилков и оторочек вторичного хроммагнетита (рис. 5) и образовании зональности с постепенным изменением состава от обогащенного хромом ядра к обогащённой железом и алюминием оторочке (рис. 5-III).



Рис. 5. Хромшпинелиды серпентинитов: I, II – прожилки хроммагнетита (Mgt) в хромпикотите; III – карты распределения Cr и Al в хромпикотите. / Fig. 5. Crome-spinellids from serpentinites: I,II – Cr-magnetitein crome-spinellid, III – distribution cards Cr

and Al in crome-spinellid.

Породы рассечены тонкими прожилками офит-тальк-актинолит-магнетит-пиритового, талькмагнетит-хлорит-карбонатного, барит-карбонатного состава, образованными наложенными гидротермальными процессами. На тектонических контактах с гранитоидами малкинского комплекса присутствуют линзовидные тела лиственитов.

Полученные данные о минеральном составе позволяют выделить основные этапы минеральных трансформаций апогипербазитов зоны меланжа. Отсутствие брусита указывает на метасоматический характер серпентинизации (в общем виде описываемый реакцией разложения форстерита и энстатита  $Mg_2SiO_4 + MgSiO_3 + 2H_2O = Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ ), протекающей в условиях высокой активности кремнезема и сопровождающейся выносом значительной части магния [Метаморфическая петрология..., 2005; Pens et al., 2016].

На начальной стадии серпентинизации формировались α-лизардиты, сохранившиеся в виде реликтов в секторальных зонах мелкопетельчатых агрегатов. С повышением температуры в щелочных восстановительных условиях протекали процессы аллохимического замещения α→β-лизардиты и сопутствующего образования пылевидного магнетита, а на завершении стадии лизардитизации, в условиях повышения отношения флюид-порода (как это показано в экспериментальных работах [Normand et al., 2002]), – образование шнуров хризотила, ассоциирующего с магнетитом и сульфидами. На участках интенсивной циркуляции растворов хризотил полностью или почти полностью заместил β-лизардит. За счет части пироксенов образовались хлорит и тремолит. Первичные хромшпинелиды подвергались магнетитизации, приобретая характерную для условий перекристаллизации в условиях относительно низкой температуры (менее 350°C) и воздействия гидротермальных насыщенных кремнеземом растворов «атолловую» структуру (рис. 5-III) с образованием однородных ядер, обогащенных Cr и Fe<sup>2+</sup> и обедненных Mg и Al, субмикроскопическими включениями хлоритов и/или серпентинов [Ahmed, Surour, 2016]. Аналогичное строение зерен хромшпинелидов отмечается в связи с влиянием гидротермальных растворов гранитоидных интрузий и формированием ассоциации хлорит + карбонаты + хризотил/лизардит±антигорит [Burkhard, 1993; Ahmed, Surour, 2016]. Примечательным является полное замещение оливина и присутствие реликтовых пироксенов. Экспериментально показано, что активное разложение оливина при замедленной серпентинизации ортопироксенов происходит (с образованием лизардита) в условиях присутствия алюминия в гидротермальных растворах при давлениях порядка 200 MPa и температурах 200–350°С [Pens et al., 2016]. Следующая стадия серпентинизации проявлена в замещении лизардит-хризотиловой ассоциации антигоритом в условиях повышения давления на твердые фазы (в ходе реакции, сопровождающейся дегидратацией и уменьшением объёма [Метаморфическая петрология..., 2005]) на участках интенсивных тектонических деформаций; залегают хриозтил-антигоритовые серпентиниты в форме линз и пластин. Вдоль границ пластин серпентинитов на этой стадии формировались хлорит-тремолитовые ассоциации.

Анализ полученных данных приводит к следующим заключениям. Тектонический серпентинитовый меланж Даховского выступа начал формироваться на позднегерцинском этапе развития территории после становления даховского магматического комплекса и гранодиоритовой фазы маклинского комплекса, видимо, синхронно с внедрением по зонам развивающихся хрупких деформаций малых интрузиймалкинских гранитов. Образование серпентинитов происходилаза счет апогипербазитов, претерпевших лизардитизацию и последующие аллохимические преобразования под воздействием низкотемпературной щелочной обогащенной кремнеземом и алюминием флюидно-гидротермальной системы, сопряженной с завершающей стадией развития очага позднепалеозойского коллизионного гранитоидного магматизма.

#### Литература

1. Брянчанинова Н.И., Макеев А.Б., Боева Н.М. Возможности современного термографического метода для изучения серпентинитов // Ультрамафит-мафитовые комплексы: геология, строение, рудный потенциал. Материалы V Международной конференции. – Улан-Удэ. – 2017. – С. 65–68.

2. Варлаков А.С. Типы метаморфических преобразований альпинотипных гипербазитов Урала // Уральский минералогический сборник. –1998. – №8. – С. 127–133.

3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L – 37 – XXXV. – Майкоп. Объяснительная записка. – 2004.

4. Кориковский С.П., Сомин М.Л., Корсаков С.Г. Симплектитовые высокобарические гранатклинопироксен-маргарит-мусковит-клиноцоизитовые амфиболиты Даховского выступа (Северный Кавказ): генезис и состав реакционных структур. // Доклады Академии Наук. – 2004. – Т. 397. №5. – С. 650–654.

5. Лебедько Г.И. Фундамент Северного Кавказа. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1980. – 123 с.

6. Метаморфическая петрология: учебник / А.А. Маракушев, А.В. Бобров. – М.: Наука, 2005. – 256 с.

7. Ненахов В.М., Жабин А.В., Никитин А.В., Бондаренко С.В. Внутренне строение тектонической зоны северного обрамления Даховского кристаллического массива (Западный Кавказ) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. – 2019. – №1. – С. 5–14.

8. Попов Ю.В. Положение магматических комплексов Даховской горст-антиклинали в эволюции магматизма зоны Передового хребта Большого Кавказа // Актуальные проблемы региональной геологии, литологии и минерагении. – Ростов-на-Дону: Изд-во ООО «ЦВВР», 2005. – С. 131–141.

9. Попов Ю.В., Пустовит О.Е. Новые данные о минеральном составе серпентинитов Даховского поднятия. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа. Том IX. – М.: ИИЕТ РАН, 2019. – С. 56-60.

10. Снежко Е.А. Петрохимические типы ультрабазитов Северного Кавказа и их структурная позиция. – Новочеркасск. – 1985. Деп. вВИНИТИ, № 7884-В85.

11. Шенгелиа Д.М. Петрология палеозойских гранитоидов Северного Кавказа. – Тбилиси: Мицниереба, 1972. – 251 с.

12. Шенгелиа Д.М., Кориковский С.П., Чичинадзе Г.Л. и др. Петрология метаморфических комплексов Большого Кавказа. – М.: Наука, 1991. – 231 с.

13. Ahmed A.H., Surour A.A. Fluid-related modifications of Cr-spinel and olivine from ophiolitic peridotites by contact metamorphism of granitic intrusions in the Ablah area, Saudi Arabia // Journal of Asian Earth Sciences. – 2016. – Vol. 122. – Pp. 58–79.

14. Burkhard D.J.M. Accessory chromium spinels: their coexistence and alteration in serpentinites // Geochim. Cosmochim. Acta. 1993. – Vol. 57. – Pp. 1297–1306.

15. Földvári M. Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice. - Budapest. - 2011. - 180 p.

16. Normand C., Williams-Jones A.E., Martin R.F., Vali H. Hydrothermal alteration of olivine in a flow-through autoclave: Nucleation and growth of serpentine phases. // American Mineralogist. – 2002. – Vol. 87(11-12). – Pp. 1699–1709.

17. Pens M., Andreani M., Daniel I., Perrillat J.-P., Cardon H. Contrasted effect of aluminum on the serpentinization rate of olivine and orthopyroxene under hydrothermal conditions // Chemical Geology. – 2016. – Vol. 441. – Pp. 256–264.

18. Somin M.L., Levchenkov O.A., Kotov A.B., Makeev A.F., Komarov A.N., Ro N.I., Lavrishchev V.A., Lebedev V.A. The Paleozoic age of high-pressure metamorphic rocks in the Dakhov Salient, northwestern Caucasus: Results of U-Pb geochronological investigations. // Doklady Earth Sciences. – 2007. – T. 416. No. 1. – Pp. 1018–1021.

19. Trittschack R., Grobéty B. Dehydroxylation kinetics of lizardite. //European Journal of Mineralogy. – 2012. – Vol. 24 (1). – Pp. 47–57.

20. Zulumyan N., Isahakyan A., Beglaryan H., Melikyan S. A study of thermal decomposition of antigorite from dunite and lizardite from peridotite // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2018. – Vol. 131 (2). – Pp. 1201–1211.

#### References

1. Bryanchaninova N.I., Makeev A.B., Boeva N.M. Possibilities of the modern thermographic method for studying serpentinites. Ultramafic-mafic complexes: geology, structure, ore potential. Materials of the V International Conference. Ulan-Ude. 2017. pp. 65–68. (In Russ.)

2. Varlakov A.S. Types of metamorphic transformations of alpinotype hyperbasites of the Urals. Ural Mineralogical Collection. 1998. No. 8. pp. 127–133. (In Russ.)

3. The state geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 200 000. Second edition. Caucasian series. Sheet L - 37 - XXXV. Maykop. Explanatory note. 2004. (In Russ.)

4. Korikovsky S.P., Somin M.L., Korsakov S.G. Symplectite high-pressure garnet-clinopyroxenemargarite-muscovite-clinocoisite amphibolites of the Dakhov ledge (North Caucasus): genesis and composition of reaction structures. Reports of the Academy of Sciences. 2004. Vol. 397. No. 5. pp. 650–654. (In Russ.)

5. Lebedko G.I. The foundation of the North Caucasus. Rostov-on-Don: RSU, 1980. 123 p. (In Russ.)

6. Marakushev A.A., Beavers A.V. Metamorphic petrology: textbook. Moscow. Nauka, 2005. 256 p. (In Russ.)

7. Nenakhov V.M., Zhabin A.V., Nikitin A.V., Bondarenko S.V. The internal structure of the tectonic zone of the northern frame of the Dakhov crystalline massif (Western Caucasus). Bulletin of the Voronezh State University. Series: Geology. 2019. No. 1. pp. 5-14. (In Russ.)

8. Shengelia D.M., Korikovsky S.P., Chichinadze G.L. et al. Petrology of metamorphic complexes of the Greater Caucasus. Moscow: Nauka, 1991. 231 p. (In Russ.)

9. Popov Y.V. The position of the magmatic complexes of the Dakhov horst anticline in the evolution of magmatism in the zone of the Great Caucasus Mountain Range. Actual problems of regional geology, lithology and mineralogy. Rostov-on-Don: Publishing House LLC "CVUR", 2005. pp. 131–141. (In Russ.)

10. Popov Y.V., Pustovite O.E. New data on the mineral composition of serpentinites of the Dakhovskiy ledge. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus. Vol. IX. Moscow. IIET RAN, 2019. pp. 56-60. (In Russ.)

11. Snezhko E.A. Petrochemical types of ultrabasites of the North Caucasus and their structural position. Novocherkassk. 1985. Dep. at VINITI, No. 7884-B85. (In Russ.)

12. Shengelia D.M. Petrology of the Paleozoic granitoids of the North Caucasus. Tbilisi. Mitsniereba, 1972. 251 p. (In Russ.)

13. Ahmed A.H., Surour A.A. Fluid-related modifications of Cr-spinel and olivine from ophiolitic peridotites by contact metamorphism of granitic intrusions in the Ablah area, Saudi Arabia. Journal of Asian Earth Sciences. 2016. Vol. 122. pp. 58–79.

14. Burkhard D.J.M. Accessory chromium spinels: their coexistence and alteration in serpentinites. Geochim. Cosmochim. Acta. 1993. Vol. 57. pp. 1297–1306.

15. Földvári M. Handbook of thermogravimetric system of minerals and its use in geological practice. Budapest. 2011. 180 p.

16. Normand C., Williams-Jones A.E., Martin R.F., Vali H. Hydrothermal alteration of olivine in a flow-through autoclave: Nucleation and growth of serpentine phases. American Mineralogist. 2002. Vol. 87(11-12). pp. 1699–1709.

17. Pens M., Andreani M., Daniel I., Perrillat J.-P., Cardon H. Contrasted effect of aluminum on the serpentinization rate of olivine and orthopyroxene under hydrothermal conditions. Chemical Geology. 2016. Vol. 441. pp. 256–264.

18. Somin M.L., Levchenkov O.A., Kotov A.B., Makeev A.F., Komarov A.N., Ro N.I., Lavrishchev V.A., Lebedev V.A. The Paleozoic age of high-pressure metamorphic rocks in the Dakhov Salient, northwestern Caucasus: Results of U-Pb geochronological investigations. Doklady Earth Sciences. 2007. Vol. 416. No. 1. pp. 1018–1021.

19. Trittschack R., Grobéty B. Dehydroxylation kinetics of lizardite. European Journal of Mineralogy. 2012. Vol. 24 (1). pp. 47–57.

20. Zulumyan N., Isahakyan A., Beglaryan H., Melikyan S. A study of thermal decomposition of antigorite from dunite and lizardite from peridotite. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2018. Vol. 131 (2). pp. 1201–1211.

# = ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ 🛛 =

УДК 597.552.11+57.046 (571.66) DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44488</u>

Оригинальная статья

# Геолого-геофизическая система «тектоника-сейсмичность» уникального Хаилинского центра высокомагнитудного роя. Юго-запад Корякского сейсмического пояса

Г.П. Яроцкий<sup>1</sup>, к.г.-м.н., Х.О. Чотчаев 问<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук, Россия, 683006, Камчатский кр., г. Петропавловск-Камчатский, бульвар Пийпа, 9, e-mail: ecology@kscnet.ru;

<sup>2</sup>Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук,

Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

Статья поступила: 06.10.2019, после рецензирования: 06.11.2019, принята к публикации: 26.11.2019

Аннотация: Актуальность работы. Хаилинский центр - уникальное явление в Корякском сейсмическом поясе, который обрамляет на севере литосферную плиту Берингию. Он создан роем Хаилинского и Олюторского землетрясений и афтершоков с М = 5,0-7,6. Центр лежит в погруженной глыбе литосферы Олюторского залива, созданной межглыбовыми СЗ разломами на бортах трога с глубиной 82 км в рельефе литосферы. На трог надвинуты морские террейны с максимальным прогибом горизонтов литосферы в их килях, через которые проходит колонна с гипоцентрами землетрясений. Объект исследования – высокомагнитудный рой землетрясений Хаилинского Центра имеет взаимно ортогональные эллипсы афтершоков при общих эпицентрах главных толчков. Хаилинское землетрясение не проявило традиции связи эллипса релаксации афтершоков с известной геологией афтершоков в плане и разрезе. События столь мощные, не увязанные с очевидной геологической структурой представляются очевидной новизной в мировой горнодобывающей практике. Цель работы – установление структуры и тектоники уникального Хаилинского центра высокомагнитудного роя. Результаты работы. Анализ Хаилинского и Олюторского событий выявил коллизию двух фактов: совпадение эпицентров и полную ортогональность облаков обоих землетрясений. Их исследование как элементов одной системы «тектоника-сейсмичность» определило геологическое пространство положения гипоцентров. Интерес к сейсмичности Хаилинского высокомагнитудного центра рассматривается как обращение в геологии окраины к уникальной малой литосферной плите Берингия в сейсмологии СВ Азии. В основу исследования системы «тектоника-сейсмичность» положена концепция сейсмогенной тектоники территории активной окраины континента СВ Азии и места в ней Хаилинского Центра высокомагнитудного роя (ХВЦ). Основы такого понимания сейсмичности определены авторской «Концепцией глыбово-клавишной структуры литосферы на активной окраине континента». Эпицентральная область Хаилинского и Олюторского землетрясений локализуется на площади локальной Тылговаямской впадины, причленённой к Вывенской впадине с юга на её висячем ЮВ крыле зоны Вывенского разлома.

Ключевые слова: система «тектоника-сейсмичность», элементы системы, релаксация, Хаилинский рой, рельеф подошвы литосферы, трог, глыбово-клавишная структура литосферы.

**Для цитирования:** Яроцкий Г.П., Чотчаев Х.О. Геолого-геофизическая система «тектоника-сейсмичность» уникального Хаилинского центра высокомагнитудного роя. Юго-запад Корякского сейсмического пояса. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 49-62. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44488.

## =GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY ===

## DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44488

## **Original paper**

# Geological and geophysical system "tectonicsseismicity" of the unique Khailinsk center of high-magnet swarm. South-west of the Koryak seismic belt

# G.P. Yarotskii<sup>1</sup>, Kh.O. Chotchaev<sup>D<sup>2</sup></sup>

<sup>1</sup>Institute of Volcanology and Seismology, 9 Piip Boulevard, Petropavlovsk-Kamchatsky 683006, Russian Federation, e-mail: ecology@kscnet.ru;

<sup>2</sup>Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

#### Received: 06.10.2019, revised: 06.11.2019, accepted: 26.11.2019

Abstract : Relevance. The Khailin Center is a unique phenomenon in the Koryak seismic belt, which frames the Beringia lithospheric plate in the north. It was created by a swarm of Khailin and Olyutor earthquakes and aftershocks with M = 5.0-7.6. The center lies in a submerged block of the lithosphere of the Olyutor Bay, created by interblock northwestern faults on the sides of the trough with a depth of 82 km in the relief of the lithosphere. Sea terranes with a maximum deflection of the lithosphere horizons in their keels, through which a column with earthquake hypocenters passes, are thrust onto the trough. The study object is the high-magnitude swarm of earthquakes of the Khailin Center; it has mutually orthogonal ellipses of aftershocks at common epicenters of the main shocks. The Khailin earthquake did not show the tradition of connecting the aftershock relaxation ellipse with the known aftershock geology in plan and section. Such powerful events that are not tied to an obvious geological structure seem an obvious novelty in world mining practice. Aim. To establish the structure and tectonics of the unique Khailin Center of high-magnitude swarm. Results. An analysis of the Khailin and Olyutor events revealed a collision of two facts: the coincidence of the epicenters and the complete orthogonality of the clouds of both earthquakes. The study of these events as elements of one system "tectonics-seismicity" determined the geological space of the hypocenters position. The interest in the seismicity of the Khailin high-magnitude center is considered as an appeal in the geology of the outskirts to the unique small lithospheric plate Beringia in the seismology of NE Asia. The research basis of the "tectonics-seismicity" system is the concept of seismogenic tectonics in the territory of the active margin of the North Asian continent and the place of the Khailin Center for High Magnitude Swarm. The basics of such understanding of the seismicity in the outskirts of the territory tectonics are determined by the author's "Concept of the block-key structure of the lithosphere on the active outskirts of the continent". The epicentral region of the Khailin and Olyutor earthquakes is localized on the area of the local Tylgovyamsk Depression, connected to the Vyvensk Depression from the south on its hanging SE wing of the Vyvensk Fault zone.

**Keywords:** system "tectonics-seismicity", system elements, relaxation, Khailinsk swarm, topography of the lithosphere, trough, block-key structure of the lithosphere.

**For citation:** Yarotskii G.P., Chotchaev Kh.O. Geological and geophysical system "tectonics-seismicity" of the unique Khailinsk center of high-magnet swarm. South-west of the Koryak seismic belt. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.*. 2019. 9(4): 49-62. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44488.

#### Введение

На юго-западе Корякского нагорья в бассейне среднего течения р. Вывенки образовался Хаилинский высокомагнитудный сейсмический центр с сильными землетрясениями с их рядом афтершоков с M = 5-6,6.

Хаилинское (1991 г., M = 6,6) и Олюторское (2006 г., M = 7,6) землетрясения на берегу Олюторского залива северного побережья Берингова моря дали сейсмологам классическую систему геологических и геофизических загадок. Загадки эти дали авторам статьи возможность при помощи системного подхода исследовать их как структурные элементы системы и их взаимоотношения, и получить геолого-геофизическую модель литосферы геологической локализации и геофизической релаксации названных сильных землетрясений и облаков их афтершоков. Высокомагнитудный рой землетрясений Хаилинского Центра имеет взаимно ортогональные эллипсы афтершоков при общих эпицентрах главных толчков, и, как оказалось впоследствии, и общую сейсмогенную вертикальную колонну разреза литосферы с гипоцентрами главных толчков названных событий [Яроцкий, 2014].

При всей интересной картине локализации и релаксации обоих событий, интерес исследователей к ним иссяк и очень быстро угас. Авторы настоящей статьи, работавшие в геологоразведке на территории Центра в 60–80-е годы, получили возможность использовать свои геологические знания и сформулировать геолого-геофизическую систему «тектоника-сейсмичность» территории, приступив к её исследованию системным анализа. В ряде авторских публикаций этот последовательный анализ элементов системы помогал адекватно получать последующие модели [Яроцкий, 2013, 2014; Яроцкий, Чотчаев, 2016]. Настоящая публикация рассматривается как более полное приближение к их пониманию.

Одной из загадок, возникших в сейсмологии роя Центра, является отсутствие на территории традиционной зоны Беньоффа, даже в виде палеообъекта. Хаилинское поле афтершоков в сейсмологии нетрадиционно ортогонально геологической концепции СВ простирания геоструктур позднемезозойской и кайнозойской окраины материка СВ Азии. К тому же, Хаилинское землетрясение не проявило традиции связи эллипса релаксации афтершоков с известной геологией афтершоков в плане и разрезе. События столь мощные не увязанные с очевидной геологической структурой, (а на территории Центра осваивается крупное россыпное месторождение платиноидов и планируется освоение их рудных объектов, а также крупнообъёмных золоторудных объектов) представляются очевидной новинкой в мировой горнодобывающей практике. Это золото сосредоточено в эпитермальных вторичных кварцитах Ветроваямского вулканогена при содержаниях порядка 10 г/т лежит в огромных запасах руд – и тоже близ территории сильных афтершоков обоих землетрясений. Сильные афтершоки проявились и на побережье залива Корфа с разрушением и ликвидацией п. Корфа, а также в фиорде бухты Сомнения. В стратегии развития Северного морского пути РФ залив является незамерзающим портом для вероятного штормового отстоя и частичной разгрузки генеральных грузов, но является цунамиопасным. Этот аспект сейсмогенности должен быть учтён и морскими сейсморазведочными работами в Олюторском, Корфа, Ильпинском, Анапкинском заливах северного побережья Берингова моря. Названные обстоятельства возбудили наш интерес к оценке сейсмичности территории Хаилинского узла землетрясений как возможного источника новых опасных геологических процессов.

Авторский интерес к сейсмичности Хаилинского высокомагнитудного центра рассматривается нами как обращение в геологии окраины к уникальной малой литосферной плите Берингия в сейсмологии CB Азии [Mackey et al., 1997]. В ней – образованная на базе системного анализа общего вида геолого-геофизическая система «тектоника-сейсмичность». В этом анализе авторы располагают эффективной методологией глыбово-клавишной структуры литосферы активной окраины континента, описанной в ряде исследований [Яроцкий, 2014; Яроцкий, Чотчаев, 2016; Stein et al., 1989], а также выдающимся трудом отечественных исследователей – «Карта рельефа подошвы литосферы России» [1995]. Совокупность последовательных детальных исследований элементов вариантов уникальных систем Хаилинского Центра высокомагнитудного роя, дала вероятностную модель этого уникума Корякского сейсмического пояса.

Настоящая статья является обобщением авторских представлений геологии и сейсмичности Хаилинского фрагмента территории северного обрамления морской литосферной плиты Берингии. В ней приведены основные итоги исследований и дана обобщённая картина модели сейсмичности Хаилинского Центра высокомагнитудного роя.

# Краткая история исследований геологии и геофизики Хаилинского Центра КСП

Хаилинский высокомагнитудный центр (ХВЦ) Корякского сейсмического пояса (КСП) как объект исследования возник благодаря своеобразной сейсмичности [Зобин и др., 1997; Ландер и др., 2007, 2010; Рогожин и др., 2007; Яроцкий, 2013; Яроцкий, Чотчаев, 2016], Хаилинское облако афтершоков развито ортогонально на СЗ вкрест геологических структур территории. ХВЦ является югозападной частью Корякского сейсмического пояса. Пояс определён в 1992 г. [Ландер и др., 1994] как прибрежная территория севера Берингова моря – полоса сейсмичности от Камчатского перешейка (60° с.ш.) до мыса Дежнёва (70° с.ш.). В ней были известны и состоялись сильные события: Анадырское (19861019), Корякское (19881013) и Хаилинское (19910308) с магнитудами Мw = 5,2, 5,9 и 6,6, соответственно, а впоследствии – Олюторское (20062004) и Ильпырское (20130313) с M<sub>w</sub> = 7,6 и 5,8. Остальная сейсмичность проявлена землетрясениями с 2,5 ≤ M ≥ 4. Целью статьи 1994 г. [Ландер и др., 1994] была «… проверка соответствия очаговых характеристик данного землетрясения (т.е. Хаилинского – прим. наше) гипотезе существования Корякской северной границы плиты Берингии и обсуждение структуры юго-западного участка этой западной границы» [Ландер и др., 1994, стр. 103].

К территории Хаилинского облака добавилась территория Олюторского облака, а совмещение их эпицентров афтершоков аргументировало собственное название высокомагнитудного роя в Хаилинском центре (ХВЦ).



Рис. 1. Опускающаяся глыба литосферы Олюторского залива на юго-восточном окончании регионального трога в рельефе подошвы литосферы по линии «Море Лаптевых-Янский залив-с. Хаилино (п. Корф)» [по Картам рельефа подошвы..., 1995; с дополнениями авторов].

Хаилинский высокомагнитудный центр Корякского сейсмического пояса

1 – градиентные линии глубин (78–81 км) залегания бортов территории трога литосферы (h = 70–81 км): 35 – Западного, B5 – Восточного; 2 – территория трога на юго-восточном стыке его окончания, с приокеанским CB валом подъёма подошвы литосферы (h = 58–60 км) о. Карагинского, п-овов Говена, Олюторского, мыса Наварин; 3 – отметки глубин залегания подошвы литосферы, км; 4 – поперечные межглыбовые литосферные разломы; 5 – внутриглыбовые продольно-осевые разломы глыб; 6 – сдвиги, взбросы и направления сейсмотектонических движений сейсмотектонические Олюторского события [Рогожин и др., 2007]; 7 – глыбы литосферы воздымающиеся и погружающиеся; 8 – геологические комплексы геоструктур: а – меланократовые породы Вывенской зоны и Беринговского поднятия [Апрелков и др., 1997, с дополнениями], 6 – кислые интрузии Ветроваямского вулканогена, в – ультраосновные породы Вывенской зоны, г – рыхлые отложения локальных впадин; 9 – эпицентры главных толчков: Хл – Хаилинского (1991), Ол – Олюторского (2007), №13 (2007), Лв – Левтыринваямского (2018); 10 – эллипсы полей афтершоков Хаилинского и Олюторского облаков Центра. /

Fig. 1. The falling block of the lithosphere of the Olyutor Bay at the southeastern end of the regional trough in the relief of the base of the lithosphere along the line "Sea of Laptev-Yansk Bay from. Khailino (p. Korf)" [according to the maps of the relief of the sole ..., 1995; with the additions of the authors].

Khaili high-magnitude center of the Koryak seismic belt

1 - gradient depth lines (78–81 km) of the occurrence of the sides of the lithosphere trough (h = 70–81 km): ZB - West, WB - East; 2 - the territory of the trough at the southeastern junction of its end, with the oceanic NE shaft of the elevation of the base of the lithosphere (h = 58–60 km) o. Karaginsky, Govan Peninsula, Olyutorsky, Cape Navarin; 3 - marks of the depths of the bottom of the lithosphere, km; 4 - transverse interblock lithospheric faults; 5 - intrablock longitudinal-axial faults of blocks; 6 - shifts, upthrusts and directions of seismotectonic movements of the seismotectonic Olutory events [Rogozhin et al., 2007]; 7 - blocks of the lithosphere rising and sinking; 8 - geological complexes of geostructures: a - melanocratic rocks of the Vyvensky zone and the Bering uplift [Aprelkov et al., 1997, with additions], b - acidic intrusions of the Vetrovayamsky volcanogen, c - ultrabasic rocks of the Vyvensky zone, d - loose deposits of local depressions; 9 - epicenters of the main shocks: Chl - Khailinsky (1991), Ol - Olyutorsky (2007), No. 13 (2007), Lv - Levtyrinvayamsky (2018); 10 - ellipses of the aftershock fields of the Khailinsky and Olyutorsky clouds of the Center.

Вместе с тем, в публикации [Зобин др., 1997] сейсмогенными в событии 1991 г. были определены сейсмотектонические условия между Пылгинским и Ветвейским хребтами. Обе точки зрения в работах [Зобин и др., 1997; Ландер и др., 1994] основаны на утверждении положения территории ХВЦ на стыке камчатских и олюторских структур Корякского нагорья. Заметим, что вторые фактически, как таковые, в геологии неизвестны [Гос. геол. карта СССР, 1987; Гос. геол. карта РФ, 2000; Карта полезных.., 1999]. Справедливо будет отметить, что в названной работе 1991 г. высказано предположение о вероятной сейсмогенной структуре СЗ простирания Хаилинского землетрясения «Очаговая зона землетрясения 8 марта, обрисованная эпицентрами афтершоков, приурочена к депрессионной зоне, ограниченной с северо-запада и юго-востока крупными Ветвейским и Пылгинским хребтами, а с северо-востока и юго-запада – малыми хребтами – Корякского нагорья. Эта депрессионная зона достаточно хорошо обрисовывается орогидрографией района. По-видимому, зоне депрессии соответствует разломная зона северо-западного – юго-восточного простирания, отражением которой и являются резкие изгибы русла рек в зоне очага землетрясения» (стр. 87)». Этот сейсмический аспект территории был обнаружен в [Гос. геол. карта СССР, 1987], перекочевал на [Карта полезных.., 1999] и получил значение элемента системы «тектоника-сейсмичность» уже в работах [Яроцкий, 2014; Яроцкий, Чотчаев, 2016; Яроцкий, 2017].

В публикациях других авторов по Хаилинскому и Олюторскому землетрясению рассматриваются, главным образом, методические аспекты. Основным аспектом неудовлетворительных по нашему пониманию их решений является почти полное отсутствие геологической основы. Исключительной по эффективности в применении системного анализа является работа [Белявский и др., 2007].

Главным элементом системы «тектоника-сейсмичность» территории ХВЦ является трог в рельефе поверхности литосферы, над которым развит её СВ Ильпинско-Тылговаямский прогиб со стержневой локальной Вывенской впадиной. Прогиб выполнен вулканогенно-осадочными породами палеоген-миоценового возраста. Их мощность в Вывенской впадине достигает 20 км, которая сокращается на юге прогиба по мере приближения к Говенско-Пахачинскому антиклинорию (рис. 1). В прогибе отмечается относительно высокий тепловой поток (до 70 мВт/м<sup>2</sup>) [Белявский и др., 2007], что способствует формированию в осадках разреза рифтогенного режима. В верхах миоценового разреза – интенсивная углефикация, сероводородная среда с минерализацией до 246 мг/л. Разрез Вывенской впадины характеризует континентальный тип коры, а юга прогиба – океанический. Афтершоковые землетрясения концентрируются до глубины 20 км, плоскость их концентрации падает на юго-восток.

Геология прогиба согласуется с его тектоникой в продольном геолого-геофизическом разрезе с ЮЗ на CB – это положение прогиба в погружающейся глыбе литосферы Олюторского залива [Яроцкий, Чотчаев, 2016]. Поперечные межглыбовые разломы глыбы расходятся от центральной её части с задиром горизонтов к поверхности на бортах на ЮЗ и CB разреза. Разрез коры и литосферы прогиба является складчато-блоковым. Блоки образуют внутрикоровые СЗ разломы – они ярко проявлены сетью правосторонних притоков р. Вывенки. Разломы созданы не сейсмичностью, а являются элементами C3 составляющей в горизонтах разреза диагональной сети трещиноватости, а их густота определена мощностью горизонтов согласно методике [Шифроновский, Плотников, 1975; Jiawei et al., 1987].

В работе [Яроцкий, 2017] изначально показано, что для объяснения выводов ранних авторов простирания Хаилинского облака они не имеют реальной тектонической ситуации – СЗ-го простирания складчатых структур на территории бассейна р. Вывенки нет. Территория является крупным региональным СВ Ильпинско-Тылговаямским прогибом (грабен-синклиналью) коры с вулканогенноосадочным комплексом палеоген-неогена (миоцена). Комплекс выполняет локальную Вывенскую впадину – стержневую для прогиба. В целом кора и кристаллический (метаморфический) фундамент характеризуют литосферу крупного прогиба [Белявский и др., 2007]. Исследование Хаилинского события было сопоставлено нами с Олюторским событием 2006 г. И сразу возникла коллизия двух фактов: совпадение эпицентров и полная ортогональность облаков обоих землетрясений. Их исследование как элементов одной системы определило геологическое пространство положения гипоцентров землетрясений и их релаксации. Глыбово-клавишная концепция методологии привела к определению главного элемента системы «тектоника-сейсмичность» территории: разломов литосферного заложения территории проявления афтершоковой сейсмичности бассейна р. Вывенки – между двумя поперечными межглыбовыми разломами: Парень-Таловско-Тиличикским и Омолон-Каменско-Олюторским. В Концепции этот отрезок Олюторской тектонической зоны определён как погруженная глыба литосферы Олюторского залива (рис. 1, 2).

Главные события сейсмичности локализованы в геологическом разрезе земной коры литосферы погруженной глыбы Олюторского залива до глубин 20 км. Тектоническое положение глыбы литосферы обусловлено общим направлением геологического развития активной окраины позднемелового континента. Окраина создана тектоническими элементами: Корякским микроконтинентом с осадочным разрезом Центрально-Корякской СФЗ, ограниченного на юге Вывенско-Ватынским разломом, за ним следуют геоструктуры Олюторской тектонической зоны: Вывенская зона меланократовых пород, зона Вывенского разлома, вулканогенно-осадочный Ильпинско-Тылговаямский прогиб с локальной Вывенской впадиной, Говенско-Пахачинский прогиб, складчато-блоковый Пылгинский антиклинорий. Названные элементы возникали последовательно во времени в процессе формирования континента за счёт разрушения древних выступов и океанической коры. Типичным для этого процесса является окраинный Ильпинско-Тылговаямский прогиб (рис. 1).

#### Методика исследования

Упоминалось выше, что концепцией методологии исследования авторов, является глыбово-клавишная структура литосферы активных окраин континента Северо-Запада Тихоокеанского подвижного пояса. Методология её – это геолого-геофизическая система «тектоника-сейсмичность». Система состоит из элементов, взаимосвязь которых постепенно приближает модель объекта к адекватной полноте реального. В системном анализе определение элементов в системе является залогом адекватности их связи.

Геолого-геофизическая система «тектоника-сейсмичность» является предметом исследования геологии и сейсмичности объектов высокомагнитудного роя территории ХВЦ Корякского сейсмического пояса. Методом изучения элементов предмета является системный анализ – в нём исследуются структурные связи между элементами системы. По мере выявления числа элементов структурные связи становятся более определёнными и в некоем пределе необходимыми и достаточными для получения первичной модели объекта изучения. Вместе с тем, адекватность модели реальному объекту требует знания дополнительных элементов перечисленных далее, в частности, сейсмических. Последовательное наполнение элементов системы приблизит модель к завершающему виду. Объектом исследования является территория геологических структур локализации сейсмических процессов на поверхности и в разрезе сильных (с M > 5,0) землетрясений Хаилинского и Олюторского событий на северной окраине Берингии [Jiang et al., 2009].

Началом авторского исследования системы «тектоника-сейсмичность» было априори принятое нами решение о концепции исследования объекта системного анализа. Концепция вытекает из определения сейсмогенной тектоники территории активной окраины континента CB Азии и места в ней Хаилинского Центра высокомагнитудного роя (ХВЦ). Основы такого понимания сейсмичности окраины территории тектоники определены авторской «Концепцией глыбово-клавишной структуры литосферы на активной окраине континента». Концепция длительно разрабатывалась и получила адекватное решение как модель тектоники окраины в Корякско-Камчатском регионе, на Сахалине и Курилах, в Японии, Новой Зеландии, Южной Америке [Яроцкий, 2014]. Наиболее полное решение в рассматриваемой проблеме сейсмичности было получено в [Яроцкий, Чотчаев, 2016]. В Концепции элементами системы активной окраины континента определены поперечные межглыбовые разломы литосферы, геоструктуры воздымающихся и погружающихся глыб литосферы [Sykes, Sbar, 1973], блоковые и складчатые геоструктуры собственно глыб и их обрамления, продольно-осевые разломы глыб, облака афтершоков сильных Хаилинского и Олюторского событий, эпицентры и гипоцентры главных толчков этих событий, горизонты разреза литосферы погруженной глыбы Олюторского залива, геологические нарушения в речной сети.

#### Геолого-геофизическая модель системы «тектоникасейсмичность» территории Хаилинского Центра высокомагнитудного роя землетрясений

В бассейне р. Вывенки на юго-западе Корякского нагорья установлены и описываются [Яроцкий, 2013] следующие взаимоотношения элементов территории системы «тектоника-сейсмичность», создающих модель (рис. 1). 1. Территория Центра лежит в погруженной глыбе литосферы Олюторского залива глыбово-клавишной структуры Олюторской тектонической зоны на активной южной окраине позднемезозойского Корякского микроконтинента СВ Азии.

2. Погруженная (прогнутая) глыба литосферы Олюторского залива заключена между поперечными межглыбовыми литосферными Парень-Таловско-Тиличикским и Омолон-Каменско-Олюторском разломами и она включает отрезок северного фланга малой литосферной плиты Берингии на прибрежья Берингова моря.

3. Прогнутая глыба литосферы Олюторского залива лежит на юго-восточном окончании уникального трансрегионального трога CB Азии в поверхности рельефа подошвы литосферы по линии «Море Лаптевых-Янский залив-село Хаилино (п. Корф)». В позднемеловое время трог служил «салазками», по которым на окраину микроконтинента наползали тяжёлые породы морских террейнов. Они образовали надвиговый покров Олюторского террейна окраины Корякского микроконтинента и на поверхности южного, на котором ранее сформирован перекрывавший его флиш с уникальной плотностью разломов диагональной сети на CB Азии.

4. В палеогеновое время по всему северному сектору Берингии надвиги морских террейнов продолжались, заполняя в том числе на окраине микроконтинента Ильпинско-Тылговаямскую впадину палеоцен-миоценовыми образованиями Говенского морского террейна. Они перекрыли и флишоидные отложения микроконтинента и верхнемеловые породы более раннего морского Олюторского террейна с созданием разломной сети.

5. В Ильпинско-Тылговаямском прогибе близ с. Хаилино насыщение разреза Олюторского и Говенского морских террейнов тяжёлыми породами создало аномальную вертикальную статическую геодинамическую нагрузку на его горизонты с образованием максимальных прогибов в их килях. В килях горизонтов неминуемо образовалась СЗ Хаилинская разломная зона прогиба, ортогональная его СВ простиранию. Разломная глубинная зона килей простирается по СЗ оси максимального прогиба всех горизонтов глыбы литосферы, включая верхнюю мантию к СЗ и ЮВ от с. Хаилино – Центра ХВЦ.

6. Северо-западная зона килей горизонтов глыбы залива, названная Хаилинским продольно-осевым разломом глыбы Олюторского залива, пересекается СВ осью локальной Вывенской впадины Ильпинско-Тылговаямского прогиба – так образуется вертикальная разломная глубинная колонна разреза всего ряда геоструктур глыбы Олюторского залива. Колонна названа Хаилинской гипоцентрической – в ней гипоцентры Хаилинский и Олюторский.

7. На глубине 35 км в Хаилинской колонне проходит главный толчок Хаилинского землетрясения с М = 6,6. Его релаксация лежит вдоль Хаилинского СЗ разлома между сейсмическими преградами: на севере – зоной Вывенско-Ватынского окраинного разлома и Вывенской зоной выходов микроконтинента фундамента с пластинами гипербазитов, и Вывенским разломом, на юге – выступами Говенско-Пылгинского антиклинория. Таким образом, формируется «аномальное» северо-западное афтершоковое Хаилинское облако, зажатое двумя преградами в Вывенской локальной впадине (рис. 2).

8. Статические и геодинамические напряжения в разрезе продолжаются 15 лет (1991–2006 гг.) и их релаксация происходит на глубине 1 км. Это Олюторский главный толчок – ниже вертикальная Хаилинская колонна уже истощена ранним Хаилинским толчком. Поэтому релаксация Олюторского облака афтершоков от Хаилинского разлома направлена в обе стороны от Олюторского гипоцентра вдоль оси Вывенской впадины к СЗ и ЮЗ от с. Хаилино – по свободным направлениям корового разреза впадины с глубинами афтершоков до 20 км. Образуется Олюторское облако афтершоков, разделённое на две части зоной истощённого уже асейсмичного Хаилинского разлома – в нём нет его афтершоков!

9. За период 20062004–20190111 афтершоковая деятельность на территории эллипсов облаков обоих землетрясений незначительна. Однако, в 20 км к ЮВ от их эпицентров произошло 20180406 Левтыринываямское землетрясение с М = 5,0 – фактически в зоне Хаилинского разлома к ЮЗ за пределами его истощённой зоны между упомянутыми выше преградами.

Структурные связи элементов дают ожидаемую геолого-геофизическую модель. Установление структурных связей между принятыми нами элементами эффективно в принятой авторской методологической концепции глыбово-клавишной структуры литосферы активных окраин континента. Другие элементы геологии и геофизики будут использованы в последующих исследованиях.

### Характеристика подошвы Окраинноморского литосферного блока на Северо-Востоке Азии

Выше упомянуто значение представлений о структуре литосферы в наших исследованиях. Это относиться к «Карте рельефа подошвы литосферы» [1995]. Её краткое описание по СВ Азии даёт основание нам считать элементы рельефа частью исследуемой системы «тектоника-сейсмичность».

На всей территории России подошва литосферы сравнительно однородна в геоморфологии залегания её блоков. Вместе с тем, две территории – озеро Байкал и Северо-Восток Азии отличаются сильной изменчивостью глубин подошвы литосферы. Изменчивость выражается в широком распространении на названных территориях зон резкого изменения глубины залегания подошвы литосферы. Эти зоны являются высокоградиентными перепадами глубин, достигающих более 40 км!

Для Окраинноморского блока литосферы СВ Азии такая насыщенность зонами перепада глубин отражает максимальную напряжённость геодинамических и энергетических напряжений верхней мантии Чукотки, правобережья Колымы и Морской транзитали. Их территория включает сушу севера побережья Берингова моря от р. Камчатки через Камчатский перешеек на северо-восток вплоть до мыса Дежнёва (168° в.д.). На суше Северо-Востока это территория от Берингова моря до побережья Восточно-Сибирского моря через всё Приколымье. Всей этой территории противостоит Морская транзиталь СВ Азии, характеризующаяся узкими мантийными гребнями, чередующимися с такими же узкими (100–150 км) и глубокими трогами. Такие чередования создают решётчатый тип расположения длинных осей мантийного рельефа. Картина подобная Байкалу. Заметим, что уже для Восточной Камчатки (южнее 56<sup>0</sup>с.ш.) преобладающими морфоструктрурами рельефа являются цепочки мелких астеносферных диапиров.

Высокоградиентные зоны, участки крутосклонного рельефа, зоны торцового сочленения мантийных морфоструктур и т.д. в целом служат индикаторами глубинности тектонических форм приповерхностных частей земной коры – рифтов, шовных зон, вулканических и сейсмических поясов, а также служит для прогноза геопатогенных зон.

Наибольший интерес для рассматриваемых аспектов сейсмичности северного побережья Берингова моря представляет территории Морской транзитали к юго-востоку от линии г. Магадан – мыс Шмидта. На ней наиболее яркими являются две высокоградиентные СВ линии. Первая – п. Оссора – г. Анадырь СВ простирания длиной около 1000 км. Вторая – торцовая ей линия «Море Лаптевых – Янский залив – с. Хаилино (п. Корф)» и далее Олюторский залив Берингова моря. Эта линейная троговая зона имеет ЮВ простирание (135°) на протяжении около 1700 км. Для зоны п. Оссора – г. Анадырь характерно проявление сейсмичности с M = 3,0 и фоновой – с M до 2,5, определяющейся как сейсмогеологический пояс вместе с региональными положениями ряда сильных землетрясений. Это последовательный ряд: Анадырское (1986 г., M = 5,2), Корякское (1981 г., M = 5,9), Хаилинское (1991 г., M = 6,6), Олюторское (2006 г., M = 7,6), Ильпырское (2013 г., M = 5,8). Именно этот ряд определил Корякский сейсмический пояс, сопряжённый на поверхности с Чукотско-Корякским миоценовым поясом побережья с завершением четвертичным андезибазальтовым вулканизмом. Оба пояса определяют северное обрамление малой литосферной плиты Берингия. Сейсмичность и вулканизм – достаточные признаки перестройки верхней мантии. Поэтому вероятно ожидание сейсмических событий в поясе.

#### Вывенская локальная впадина

#### ИЛЬПИНСКО-ТЫЛГОВАЯМСКОГО ПРОГИБА

Прогиб, как грабен-синклиналь, начал своё формирование в эоцене за счёт размыва комплексов в поднятиях фундамента Корякского микроконтинента. Его вулканогенно-осадочные образования последовательно в палеоцене-олигоцене-миоцене отличались, в т.ч. и угленосными фациями. Фундаментом их разреза являются метаморфогенные образования (кристаллический фундамент, согласно [Мороз, 1987]).

Максимум осадков примыкает к южной окраине микроконтинента, образуя первоначальную локальную Вывенскую впадину. Её ось совпадает с современной южной русловой частью долины р. Вывенки, будучи разорванной по линии её Хаилинского геоморфологического феномена близ с. Хаилино. Мощность комплексов достигает 20 км, а кровля литосферы лежит около 40-43 км (гори-

зонт М). Особенностью комплекса является подъем его горизонтов к поперечному межглыбовому Парень-Таловско-Тиличикскому разлому на западе. Близ п. Тиличики установлены сильные задиры к поверхности границ горизонтов (K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>) и горизонтов М (Мохо) и M<sub>1</sub> (границы мантии) [Белявский и др., 2007]. Аналогичные задиры на востоке прогиба – к Омолон-Каменско-Олюторскому разлому [Нурмухамедов, 2001].

Вывенская впадина является долгоживущей современной геологической и сейсмической структурой прогиба. Она и современный объект сейсмодинамических напряжений и релаксации возможных сильных землетрясений.

Началу образования Ильпинско-Тылговаямского прогиба в эоцене предшествовала в позднем мелу обдукция офиолитовых пород – вспаривание на глубину обширного Ватынского надвига на Корякский микроконтинент. Вспаривание обязано мантийному трогу в рельефе подошвы литосферы «Море Лаптевых-Янский залив-с. Хаилино (п. Корф)» – по нему как по салазкам продвигались на СЗ морские террейны. Их давление в троге привело к возникновению вывенских бортовых СВ разломов на севере прогиба. По ним скользили на глубину пластины гипербазитов террейнов. На пластины ложились осадки Вывенской впадины.

Образование локальной Вывенской впадины является неизбежным. Эта неизбежность в геодинамике осадконакопления прогнутого фундамента от краёв Олюторского залива глыбы литосферы до подъёма от соседних воздымающихся глыб – полуостровов Говена-Ильпинского-Ильпыр (на западе) и Олюторского (на востоке) к середине – Вывенской впадине. Впадина образовалась сразу после геодинамического погружения литосферы глыбы Олюторского залива. Погружение – максимально в килях осадков всех формационных горизонтов литосферы глыбы. Кили маркируют в глыбе залива некий рифтогенный региональный СЗ разлом системы последовательных во времени СЗ череды глыб, разрезы которых в современных срезах отражают геологические периоды их развития. Глыбы от древних по кайнозойские являлись звеньями последовательных с северо-запада на юго-восток продольных региональных геоструктур СВ простирания на окраинах континента. Продольно-осевые разломы глыб всегда поперечны продольным разрезам глыб. Они проходят через кили трогов, либо через замки горизонтов разреза. В зависимости от глубины килей или замков они могли иметь разные тектонические режимы вплоть до рифтогенных, маркируемых угленосными фациями. В глыбе Олюторского залива кили горизонтов лежат на вертикали, которая образует глубинную продольноосевую плоскость её разреза. В этой плоскости – продольно-осевой разлом – Хаилинский разлом килей горизонтов. Однако в случае воздымающейся глыбы п-овов Говена-Ильпыр-Ильпинский уже не кили, а замки горизонтов образуют поднятый Малетойваямский продольно-осевой разлом. Он проходит через горизонты Ильпинского поднятия. Эта вертикаль – Хаилинская порово-трещинная сейсмогенная колонна с Хаилинским и Олюторским гипоцентрами.

## Геоморфология площади Хаилинского и Олюторского эпицентров

Территория ХВЦ исключительна в картине Хаилинской геоморфологии площади среднего течения р. Вывенки. Это уже выше упомянутый геоморфологический Хаилинский феномен русла р. Вывенки близ с. Хаилино – его ортогональный поворот от ЮЗ на ЮВ на 12,5 км, а затем возврат на ЮЗ направление как продолжение в зоне Хаилинского разлома. Трассирование феномена на ЮВ по геологическим и геофизическим особенностям выводит геологическое его нарушение через русло р. Малерваям на ЮВ (230°) – через русло реки Кимлинваям в фиорд бухты Сомнения. Это линия Хаилинского сейсмогенного разлома! На его юге – землетрясение №13.

Положение эпицентров главных толчков, с учётом 20 м погрешности вычислений, определяет их место близ озера Наюю-Гэтхын у г. Плоской (выс. 342). Это примерно середина Тылговаямской впадины, образованной сетью рек Тылговаям, Хатапваям, Куюл, Егилваям. Её размеры 12×40 км по СВ простиранию от положения Хаилинского разлома. По линии г. Майни-Наюю (г. 591), оз. Наюю-Гытхын, русло Хатапваям-Тыговаям впадина торцово перекрывается котловиной озера (рис. 2).

В общем виде эпицентральная область Хаилинского и Олюторского землетрясений локализуется на площади локальной Тылговаямской впадины, причленённой к Вывенской впадине с юга на её висячем ЮВ крыле зоны Вывенского разлома. ЮВ впадины на севере лежит на пластинах гипербазитов ЮВ падения Вывенской зоны выходов меланократового фундамента. Возможно, что отложения впадины могли испытывать геодинамические подвижки вдоль плоскости пластин. Тылговаямская впадина лежит в зоне Хаилинского разлома.

Геоструктурной позицией Тылговаямской впадины является её положение на вертикали места килей горизонтов разреза литосферы. Эта вертикаль отражает Хаилинскую сейсмогенную трещинно-поровую колонну. Колонна лежит в вертикальной плоскости Хаилинского продольно-осевого разлома. Впадина прилегает к южному борту Ильпинско-Тылговаямского прогиба. Борт отражён на глубинах около 20 км падением афтершоков на юго-восток [Ландер и др., 2007] под поднятие Говенско-Пылгинского антиклинория и показывает положение сейсморазрывов на поверхности и положение эпицентров на разрыве между северными и центральными разрывами.



Рис. 2. Схема юго-западного и центрального участков зоны сейсмотектонических нарушений [по Рогожин и др., 2007] Олюторского землетрясения в тектонике территории Хаилинского центра высокомагнитудного роя. Корякский сейсмический пояс

Геотектонические структуры и элементы системы «тектоника-сейсмичность»:

Вв-Вт – глубинный Вывенско-Ватынский разлом на границе Центрально-Корякской (ЦКТЗ) и Олюторской (ОлТЗ) тектонических зон – окраина позднемезозойского Корякского микроконтинента; ИТПр – Ильпинско-Тылговаямский прогиб; ГПАн – Говенско-Пылгинский антиклинорий; Хв – Хакинский выступ фундамента; локальные впадины прогиба: Тлг – Тылговаямская, Хтп – Хатапваямская. Элементы системы: 1 – границы ИТПр Олюторской ТЗ и его локальных впадин: Вывенской, Тылговаямской, Хатапваямской; разломы: 2 – РХ – продольно-осевой Хаилинский разлом погруженной глыбы литосферы Олюторского залива, Вв – Вывенский разлом; 3 – блоковые разломы прогиба; 4 – эпицентры землетрясений: 1 – Хаилинского (1991), 2 – Олюторского (2006); 5 – профиль МТЗ-МОВЗ-I, его пикеты [по Белявский и др., 2007]; 6 – геоморфологический феномен р. Вывенки – ортогональный поворот русла в зону Хаилинского разлома. /

Fig. 2. Scheme of the southwestern and central sections of the zone of seismotectonic disturbances [according to Rogozhin et al., 2007] Olyutor earthquake in the tectonics of the territory Khailinsky center of high-magnitude swarm. Koryak seismic belt

Geotectonic structures and elements of the tectonics-seismicity system:

Vv-Vt - deep Vyvensko-Vatynsky fault on the border of the Central Koryak (CKTZ) and Olyutorsk (OITZ) tectonic zones - the margin of the Late Mesozoic Koryak microcontinent; ITPr - Ilpinsko-Tylgovayam trough; GPan - Gowensko-

Pylginsky anticlinorium; Hv - Khakinsky ledge of the foundation; local trough troughs: Tlg - Tylgovayamskaya, Khtp - Hatapvayamskaya. Elements of the system: 1 - the boundaries of the ITR of the Olutorsk TK and its local depressions: Vyvenskaya, Tylgovayamskaya, Hatapvayamskaya; faults: 2 - PX — longitudinal-axial Khailinsky fault of a submerged block of the lithosphere of Olyutor Bay, Vv — Vyvensky fault; 3 - block faults deflection; 4 - epicenters of earthquakes: 1 - Khailinsky (1991), 2 - Olyutorsky (2006); 5 - MTZ-MOVZ-I profile, its pickets [according to Belyavsky et al., 2007]; 6 - geomorphological phenomenon of the river. Alignments - orthogonal turn of the channel into the Khailinsky fault zone

# общая геология возникновения аномалий высокомагнитудного роя сейсмичности Хаилинского центра

На окраине позднемелового Корякского микроконтинента на площади юго-западного окончания литосферного трога «Море Лаптевых – Янский залив – с. Хаилино (п. Корф)» в рельефе подошвы литосферы лежит СВ Ильпинско-Тылговаямский региональный прогиб. По трогу [Карта рельефа..., 1995] на окраину наползают тяжёлые морские террейны (ватынская свита с гипербазитами) [Гос. геол. карта СССР, 1987; Гос. геол. карта РФ, 2000; Карта полезных..., 1999], углубляя его. Поэтому прогиб, образованный с палеоцена за счёт размыва окраин микроконтинта, имеет мощность литосферы около 43 км и в максимальной мощности его коры и верхней мантии лежит Вывенская ло-кальная впадина. А глубина трога здесь достигает 60 км на высокотемпературной зоне подошвы литосферы! [Карта рельефа..., 1995]. На окраину продолжают наползать образования палеогенового террейна. Они ложатся на более ранний позднемеловой террейн, перекрывая его. Глубинное сочленение фронтов террейнов образует шовную структуру, а их пересечение порово-трещинную колонну с Хаилинским и Олюторским гипоцентрами.

Каким же образом формируются глубинные условия, приведшие к землетрясениям Хаилинскому и Олюторскому? Хаилинский продольно-осевой разлом погруженной глыбы Олюторского залива является сейсмогенной разломной геоструктурой на протяжении длинной оси Хаилинского СЗ облака афтершоков от землетрясения №13, через с. Хаилино и до его ограничения на севере на р. Куюл. В процессе релаксации геологический разрез зоны разлома изменяется по своим свойствам и зона становится асейсмичной. Поэтому при релаксации Олюторского толчка зона разлома не имеет афтершоков. И когда Олюторский гипоцентр локализуется на глубине 1 км, его релаксация направлена по свободному пути разреза на ЮЗ и СВ – ортогонально Хаилинскому разлому! Этот путь – вдоль продольной оси Вывенской впадины и он проявился в следах на поверхности – сейсморазрывах [Рогожин и др., 2007]. На поверхности сейсморазлом главного толчка от г. Мыминэй до р. Тылговаям проходит по выходам на поверхность образований олигоцена (алугинская свита). В рельефе это северная окраина цепочки гор Яхтынын, Мылкан, Останцового до р. Тылговаям (рис. 2). Сочленение впадины с бортом горста Говенско-Пылгинского антиклинория является, видимо, сейсмогенным. Это отражение – по глубинам сильных афтершоков (M > 5,0).

В 2018 году 6 апреля в сейсмогенном Хаилинском разломе произошло Левтыринваямское событие с М = 5,0. Подобной силы афтершоки несут опасность раннее повреждённым и осложненным зданиям и сооружениям. Видимо совокупность геодинамических факторов начинает действовать при усилении давлений в процессе движения на запад всей плиты Берингии.

# Ретроспективное развитие геодинамических событий на территории хаилинского центра в корякском сейсмическом поясе

Сейсмичность территории Хаилинского высокомагнитудного роя уникальна в силу сопряжённости с элементами геотектоники столь же уникальной тектонической геолого-геофизической системы – трога рельефа подошвы литосферы по линии «Море Лаптевых-Янский залив - село Хаилино (Корф)». Сейсмичность – явление планетарных процессов на СВ Азии и отражает геодинамическую напряжённость стояния подошвы [Карта рельефа.., 1995] литосферы, как минимум, на северном обрамлении малой литосферной плиты Берингии – на территории Морской транзитали окраинноморского блока литосферы СВ Азии. За небольшой период инструментальных наблюдений сейсмичности, сопряженной с позднекайнозойским вулканизмом северного побережья Берингова моря, в поясе выстроился ряд исторически сильных землетрясений [Ландер и др, 1994; USGS National Earthquake...; Basham et al., 1977]: Анадырское (1986), Корякское (1988), Хаилинское (1991), Олюторское (2006), Ильпырское (2013), Левтыринваямское (2018). Их идентификация магнитудами 5,0–7,6 является свидетельством и, видимо, итогом энергетических процессов литосферы и её перестройки, отражённой в рельефе подошвы литосферы всей Морской транзитали CB Азии. В настоящее время в Берингии против Олюторской акватории отсутствуют очевидные следы палеозоны Беньоффа. Морские террейновые надвиги позднего мела и палеогена на глубину около 120 км на сушу окраины Корякского микроконтинента являются фактом классики взаимодействия суши и океана на CB Азии.

И в этой классике авторская «Глыбово-клавишная структура литосферы активных окраин континента» является эффективным путём познания связей структурных элементов объектов в системе «тектоника-сейсмичность». Методология – «Концепция структуры литосферы», основанная на системном анализе, в полной мере адекватна классическому афоризму Чарльза Дарвина: Наука заключается в такой группировке фактов, которая позволяет выводить на основании их общие законы и заключения!

#### Литература

1. Апрелков С.Е., Декина Г.И., Попруженко С.В. Особенности геологического строения Корякского нагорья и бассейна р. Пенжины. // Тихоокеанская геология. – 1997. – Т. 16. №2. – С. 46–57.

2. Белявский В.В., Золотов Е.Е., Ракитов В.А. и др. Глубинная сейсмогеоэлектрическая модель Охотско-Чукотского вулканогенного пояса и Центрально-Корякской складчатой зоны в пределах профиля Корф-Верхнее Пенжино. // Олюторское землетрясение 20(21) апреля 2006 г. Корякское нагорье. Первые результаты исследований. – Петропавловск-Камчатский. – 2007. – С. 277–288.

3. Государственная геологическая карта Российской Федерации м-ба 1:200 000. Изд. второе. Серия Олюторская. Лист Р-58-ХХХУ. О-58-V (Тиличики). // Составители Кравченко Л.И., Разумный А.В. – 2000. – 117 с.

4. Государственная геологическая карта СССР м-ба 1:200 000. Серия Корякская. Лист Р-58-XXXII. // Составители Кравченко Л.И., Мишин В.Ф. – 1987. – 147 с.

5. Зобин В.М., Бахтиаров В.Ф., Борисенко В.Н. и др. Корякское землетрясение 8 марта 1991 г. // Землетрясения в СССР в 1991 году. – М.: Наука, 1997. – С. 76–88.

6. Карта полезных ископаемых Камчатской области. Масштаб 1:500 000. // Гл. редакторы А.Ф. Литвинов, Н.Г. Патока, Б.А. Марковский. Отв. редакторы Ю.Ф. Фролов, А.А. Коляда, А.И. Поздеев, Л.Е. Павлова. – С.-Пб ВСЕГЕИ, 1999. – 19 л.

7. Карта рельефа подошвы литосферы России. Масштаб 1: 10 000 000. Объяснительная записка. В.В. Соловьёв, В.М. Рыжкова. – М. – СПб.: Роскомнедра, ВСЕГЕИ, 1995. – С. 187–194.

8. Ландер А.В., Букчин Б.Г., Дрознин Д.В. и др. Тектоническая позиция и очаговые параметры Хаилинского (Корякского) землетрясения 8 марта 1991 г.: существует ли плита Берингия? // Выч. сейсмология, вып. 26. – М.: Наука, 1994. – С. 103–122.

9. Ландер А.В., Левина В.И., Иванова Е.И. Олюторское землетрясение 20(21) апреля 2006г. М<sub>w</sub>=7,6: сейсмическая история региона и предварительные результаты исследования серии афтершоков. // Олюторское з-ние 20(21) апреля 2006 г. Корякское нагорье. Первые рез. исследований. – П.-Камчатский. – 2007. – С. 14–33.

10. Ландер А.В., Левина В.И., Митюшкина С.В. Хаилинское землетрясение 1991 г. (М=6,6) – форшок Олюторского 2006 г. (М=7,6)? (Тектонофизический взгляд на проблему). // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Второй региональной научно-технической конференции, 11–17 октября 2009 года. – Петропавловск-Камчатский. – 2010. – С. 136–140.

11. Мороз Ю.Ф. Глубинное строение юго-западной части Корякского нагорья. // Советская геология. – 1987. – №5. – С. 118–123.

12. Нурмухамедов А.Г. Геоэлектрический разрез верхней части земной коры по профилю Нижняя Облуковина-Андриановка (Камчатка). // Тихоокеанская геология. – 2001. – Т. 20. №2. – С. 13–23.

13. Рогожин Е.А., Овсюченко А.Н., Мараханов А.В. и др. Олюторское землетрясение в Корякии 20 (21) апреля 2006 г., Результаты геологического и макросейсмического изучения эпицентральной

области. // Олюторское землетрясение (20(21) апреля 2006 г. Корякское нагорье). Первые результаты исследования. / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Петропавловск-Камчатский: ГС РАН, 2007. – С. 170–206.

14. Яроцкий Г.П. Тектонический феномен Хаилинского землетрясения 8 марта 1991 г. на Юго-Западе Корякского нагорья. // Геодинамика. – 2013. – №1(14). – С. 110–123.

15. Яроцкий Г.П. Поперечные дислокации активных окраин континентов Тихоокеанского рудного пояса. Геофизические исследования. Книги 2 и 3. – Петропавловск-Камчатский: Изд-во ФГБОУ ВПО «Камчатского государственного университета им. Витуса Беринга», 2014. – 319 с.

16. Яроцкий Г.П. Глыбово-клавишная структура литосферы активной окраины континента на СВ Азии. Корякско-Камчатский регион. // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №2. – С. 135–151.

17. Яроцкий Г.П. Чотчаев Х.О. Тектоническая предопределённость Хаилинского землетрясения на Юго-Западе Корякского нагорья. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №4. – С. 144–163.

18. Шафрановский И.И., Плотников Л.М. Симметрия в геологии. – Л.: Недра, 1975. – 144 с.

19. Basham P.W., Forsyth D.A., Wetmiller R.J. The seismicity of Nothern Canada. // Canadian Journal of Earth Sciencies. – 1977. – V. 14. – Pp. 1646–1667.

20. Mackey K.G., Fujita K., Gunbina L.V. et al. Seismicity of the Bering Strait region: evidence for a Bering block. // Geology. – 1997. – V. 25. – Pp. 979–982.

21. Stein S., Cloetingh S. et al. Passive margin earthquakes, stresses and rheology. // Earthquakes at North-Atlantic passive margins: Neotectonics and postglacial rebound. – 1989. – Pp. 231–259.

22. Sykes L.R., Sbar M.L. Intraplate earthquakes, lithospheric stresses and the driving mechanism of plate tectonics. // Nature. – 1973. – V. 245. – Pp. 298–302.

23. Jiawei X., Guang Z., Weixing T., Kerei C., Qing L. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean. // Tectonophysics. – 1987. – Vol. 134. No. 4. – Pp. 273–310.

24. Jiang, Zhao D., Zhang F., Zhang F. Seismic tjmography of the Pacific Slab edge under Kamchatka. // Tectonophysics. – 2009. – No. 465. – Pp. 190–203.

25. USGS National Earthquake Information Centre http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html

#### References

1. Aprelkov S.E., Dekina G.I., Popruzhenko S.V. Features of the geological structure of the Koryak Upland and the river Penzhin basin. Pacific Geology. 1997. Vol. 16. No. 2. pp. 46–57. (In Russ.)

2. Belyavskii V.V., Zolotov E.E., Rakitov V.A. et al. Deep seismic geoelectric model of the Okhotsk-Chukotka volcanic belt and the Central Koryak fold zone within the Korf-Upper Penzhino profile. Olyutor earthquake on April 20 (21), 2006, Koryak plateau. The first research results. Petropavlovsk-Kamchatsky. 2007. Pp. 277–288. (In Russ.)

3. The state geological map of the Russian Federation in a scale 1: 200 000. Second edition. Series Olyutorsky. Sheet P-58-XXXV. O-58-V (Tilichiki). Compiled by Kravchenko L.I., Razumnyi A.V. 2000. 117 p. (In Russ.)

4. The state geological map of the USSR in a scale 1: 200 000. Series Koryaksk. Sheet P-58-XXXII. Compiled by Kravchenko L.I., Mishin V.F. 1987. 147 p. (In Russ.)

5. Zobin V.M., Bakhtiarov V.F., Borisenko V.N. et al. Koryak earthquake on March 8, 1991. Earthquakes in the USSR in 1991. M. Nauka, 1997. pp. 76–88. (In Russ.)

6. Map of mineral resources of the Kamchatka region. Scale 1: 500 000. Editors in Chief A.F. Litvinov, N.G. Patoka, B.A. Markovskii. Publishing editor Yu.F. Frolov, A.A. Kolyada, A.I. Pozdeev, L.E. Pavlova. S.-Pb VSEGEI, 1999. 19 sheets (In Russ.)

7. Relief map of the lithosphere bottom of Russia. Scale 1: 10 000 000. Explanatory note. V.V. Solov'ev, V.M. Ryzhkova. M. SPb. Roskomnedra, VSEGEI, 1995. pp. 187–194. (In Russ.)

8. Lander A.V., Bukchin B.G., Droznin D.V. et al. Tectonic position and focal parameters of the Khailinsk (Koryak) earthquake on March 8, 1991: does the Beringia plate exist? computational seismology, Vol. 26. M. Nauka, 1994. pp. 103–122. (In Russ.)

9. Lander A.V., Levina V.I., Ivanova E.I. Olyutor earthquake on April 20 (21) 2006 Mw = 7.6: seismic history of the region and preliminary results of the study of the aftershock series. Olyutorsk earthquake,

April 20 (21), 2006, Koryak Upland. The first results of researches. Petropavlovsk-Kamchatsky. 2007. pp. 14–33. (In Russ.)

10. Lander A.V., Levina V.I., Mityushkina S.V. The Khaili earthquake of 1991 (M = 6.6) - foreshock of Olyutor 2006 (M = 7.6)? (Tectonophysical view of the problem). Problems of integrated geophysical monitoring of the Russian Far East. Proceedings of the Second Regional Scientific and Technical Conference, October 11–17, 2009. Petropavlovsk-Kamchatsky. 2010. pp. 136-140. (In Russ.)

11. Moroz Yu.F. The deep structure of the southwestern part of the Koryak upland. Soviet geology. 1987. No. 5. pp. 118–123. (In Russ.)

12. Nurmukhamedov A.G. Geoelectric section of the upper part of the earth's crust along the Lower Oblukovina-Andrianovka (Kamchatka) profile. Pacific Geology. 2001. Vol. 20. No. 2. pp. 13–23. (In Russ.)

13. Rogozhin E.A., Ovsyuchenko A.N., Marakhanov A.V. et al. Olyutor earthquake in Koryakia on April 20 (21), 2006, Results of geological and macroseismic observations of the epicenter area. Olyutor earthquake (April 20 (21), 2006, Koryak plateau). The first research results. Publishing editor V.N. Chebrov. Petropavlovsk-Kamchatsky, GS RAS, 2007. pp. 170–206. (In Russ.)

14. Yarotskii G.P. Tectonic phenomenon of the Khaili earthquake on March 8, 1991 in the South-West of the Koryak Upland. Geodynamics. 2013. No. 1 (14). pp. 110–123. (In Russ.)

15. Yarotskii G.P. Transverse dislocations of the active margins of the continents in the Pacific ore belt. Geophysical explorations. Books 2 and 3. Petropavlovsk-Kamchatsky, Publishing House of FSBEI HPE "Kamchatka State University named after Vitus Bering", 2014. 319 p. (In Russ.)

16. Yarotskii G.P. The block-key structure of the lithosphere in the active margin part of the continent in NE Asia. Koryak-Kamchatka region. Geology and geophysics of Russian South. 2017. No. 2. pp. 135–151. (In Russ.)

17. Yarotskii G.P. Chotchaev Kh.O. Tectonic predetermination of the Khailing earthquake in the South-West of the Koryak upland. Geology and geophysics of Russian South. 2016. No. 4. pp. 144–163. (In Russ.)

18. Shafranovskii I.I., Plotnikov L.M. Symmetry in geology. L. Nedra, 1975. 144 p. (In Russ.)

19. Basham P.W., Forsyth D.A., Wetmiller R.J. The seismicity of Nothern Canada. Canadian Journal of Earth Sciences. 1977. Vol. 14. pp. 1646–1667.

20. Mackey K.G., Fujita K., Gunbina L.V. et al. Seismicity of the Bering Strait region: evidence for a Bering block. Geology. 1997. Vol. 25. pp. 979–982.

21. Stein S., Cloetingh S. et al. Passive margin earthquakes, stresses and rheology. Earthquakes at North-Atlantic passive margins: Neotectonics and postglacial rebound. 1989. pp. 231–259.

22. Sykes L.R., Sbar M.L. Intraplate earthquakes, lithospheric stresses and the driving mechanism of plate tectonics. Nature. 1973. Vol. 245. pp. 298–302.

23. Jiawei X., Guang Z., Weixing T., Kerei C., Qing L. Formation and evolution of the Tancheng-Lujiang wrench fault system: a major shear system to the northwest of the Pacific Ocean. Tectonophysics. 1987. Vol. 134. No. 4. pp. 273–310.

24. Jiang, Zhao D., Zhang F., Zhang F. Seismic tomography of the Pacific Slab edge under Kamchatka. Tectonophysics. 2009. No. 465. pp. 190–203.

25. USGS National Earthquake Information Centre http://neic.usgs.gov/neis/epic/epic.html

———— ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА —

VДК 551.24(234.9) DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44489</u>

Оригинальная статья

# О причинах и механизме катастрофического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка

М.Г. Бергер (), д.г.-м.н., проф.

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler.ru

Статья поступила: 13.09.2019, после рецензирования: 05.10.2019, принята к публикации: 21.10.2019

Аннотация: Актуальность работы. Определить причину того или иного явления - значит указать фактор, действие которого позволяет объяснить все особенности этого явления. При всей несомненной доказанности взрывоподобного газодинамического характера катастрофического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 г., некоторые важнейшие вопросы, касающиеся причин и механизма этого выброса, требуют прояснения. Их рассмотрению посвящена данная статья. Объект исследования – взрывоподобные газодинамические выбросы. Цель работы – установление механизма катастрофического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка. Результаты работы. На основе данных полученных в области изучения взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов в подземных горных выработках, история исследования которых начинается с 1834 года, установлено, что в газодинамическом выбросе (вынос, отбросе, инерциальном разлете, направленном метании) материала, независимо от его состава, во всех случаях первостепенная (решающая) роль принадлежит находящимся в свободной фазе высоконапорным природным газам различного состава, физико-химических свойств и происхождения. Соответственно, причиной, вызывающей внезапные взрывоподобные газодинамические выбросы, главным действующим фактором, определяющим и объясняющим их основные характерные особенности, являются расширяющиеся сжатые высоконапорные (обладающие высоким или даже сверхвысоким пластовым давлением) природные газы. Основной источник высоконапорных природных газов, вызвавших взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 года, очевиден - им были глубинные поствулканические газы, постоянно генерирующиеся в глубинных зонах Казбекско-Джимарайского района и всей Казбекской неовулканической области. Таким образом, взрывоподобный внезапный газодинамический (газоледокаменный) выброс ледника Колка имел эндогенный поствулканический характер. Взрывоподобный внезапный газодинамический выброс ледника Колка со всей очевидностью показал, что именно аномально высокое (сверхвысокое) пластовое давление свободных газов, скопившихся в подледниковом пространстве, является основной причиной этого выброса - его подготовки, запуска, проявления и постпароксизмального завершения. Основным источником этих газов были глубинные процессы постоянно протекающей в данном районе поствулканической деятельности, сопровождающиеся генерацией, выделением в свободную фазу, концентрацией и восходящей миграцией высоконапорных глубинных природных газов.

**Для цитирования:** Бергер М.Г. О причинах и механизме катастрофического взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 63-71. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44489.

= GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS =

# DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44489

## **Original paper**

# About the causes and mechanism of the catastrophic explosion-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier

# M.G. Berger 厄

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: berger7@rambler.ru

Received: 13.09.2019, revised: 05.10.2019, accepted: 21.10.2019

Abstract: Relevance. To determine the cause of a phenomenon means to indicate a factor the action (influence) of which allows explaining all the features of this phenomenon. With all the undeniable evidence of the explosion-like gasdynamic nature of the catastrophic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002, some of the most important questions regarding the causes and mechanism of this outburst require clarification. This article is devoted to consideration of these causes. The study object is explosive gas-dynamic ejection. Aim. To establish a mechanism for a catastrophic explosive sudden gas-dynamic ejection of the Kolka glacier. Results. Based on the data obtained in the field of exploration explosive sudden gas-dynamic ejections in underground mine workings, the history of which began in 1834, it was found that in the gas-dynamic ejection (removal, rejection, inertial expansion, directional throwing) of the material, regardless of its composition, in all cases the primary (critical) role belongs to the highpressure natural gases of different composition, physicochemical properties and origin that are in the free phase. Thus, the cause of sudden explosion-like gas-dynamic emissions, the main acting factor determining and explaining their main characteristic features are expanding compressed high-pressure (having high or even ultra-high reservoir pressure) natural gases. The main source of high-pressure natural gases that caused the explosion-like directional gas-dynamic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002, is obvious - they were deep post-volcanic gases, which are constantly generated in the deep zones of the Kazbek-Dzhimara region and the whole Kazbek neovolcanic region. Thus, the explosion-like sudden gas-dynamic (gas-ice-stone) outburst of the Kolka glacier had an endogenous postvolcanic character. The explosion-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier has clearly shown that it is the abnormally high (ultrahigh) layer pressure of the free gases accumulated in the subglacial space that is the main cause of this outburst - its preparation, launch, development and post-paroxysmal completion. The main source of these gases were the deep processes of ongoing post-volcanic activity in the area, accompanied by the generation, release into the free phase, concentration and upward migration of high-pressure deep natural gases.

Keywords: Kolka glacier, gas-dynamic outburst of the glacier, post-volcanic processes, gas-dynamic phenomena.

**For citation:** Berger M.G. About the causes and mechanism of the catastrophic explosion-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 63-71. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44489.

Динамические явления, мощность которых существенным образом зависит от работы газа, – газодинамические явления.

В.В. Ходот

Газ, расширяясь при развитии выброса, способен совершить громадную работу.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

...Сведения, касающиеся особенностей выбросов, ... являются наглядным свидетельством участия газа не только в выносе материала, но и в процессе его дробления.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Работу в процессе выброса может совершать только свободный газ... Даже минимальная энергия свободного газа ... является очень большой. Как показывают выбросы пород, обладающих малой сорбционной способностью (песчаников, солей), ... ее вполне достаточно не только для сильного дробления материала, но и для его разлета с большой скоростью.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Внезапный выброс – динамическое явление, развивающееся главным образом путем последовательных отрывов газом частиц с обнаженных поверхностей ... под действием силы, возникающей из-за перепада в давлении газа.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Для механизма выброса весьма существенна роль газа в процессе отделения и выноса частиц, обусловливающая в значительной степени специфические черты выбросов...

Газ теряет на отрыв (т.е. на отделение частиц выбрасываемого материала – М.Б.) лишь часть своей энергии, а остающаяся часть участвует в придании частицам скорости... Тем самым создаются условия для отделения следующих частиц на новой свободной поверхности, и процесс имеет возможность многократно повторяться – происходит выброс.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

...Решающая роль в отделении частиц принадлежит газу... Волны разрушения при динамических явлениях в шахтах (в отличие, например, от волн, образующихся при взрыве) имеют ту особенность, что вектор скорости (движения выбрасываемого материала – М.Б.) за фронтом всегда образует тупой угол с направлением распространения волны (разрушения – М.Б.) (обычно они противоположны друг другу). Это связано с тем, что динамическое явление обязательно включает разлет частиц, который может осуществляться только в сторону свободного пространства, в то время как волна (разрушения – М.Б.) движется в сторону еще не потерявшего связности массива. Среда по сравнению с исходной разрыхлена и не способна выдерживать растягивающие напряжения. Эти очевидные, но важные факты служат дополнительными условиями при рассмотрении следствий законов сохранения массы, импульса и энергии на фронте волны.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

Особенности процесса (степень диспергирования материала, форма полости, своеобразие акустических импульсов, возникновение или отсутствие ударной воздушной волны и др.) позволяют не только определить тип явления, но и выявить степень участия в нем различных факторов.

И.М. Петухов, А.М. Линьков

#### Введение

При всей несомненной доказанности взрывоподобного газодинамического характера катастрофического выброса ледника Колка 20 сентября 2002 г., некоторые важнейшие вопросы, касающиеся причин и механизма этого выброса, требуют прояснения. Их рассмотрению посвящена данная статья. При этом автор во многом опирается на результаты, полученные в области изучения считающихся техногенными взрывоподобных газодинамических выбросов в подземных горных выработках, история исследования которых начинается с 1834 года [Иванов, 2005; и др.].

Ранее автором было показано [Бергер, 20156, 2016], что изучение взрывоподобных внезапных газодинамических выбросов ледников представляет собой новую область исследований в науках о

Земле, которая имеет много общего с насчитывающей уже около двухсот лет областью горной науки, исследующей внезапные газодинамические явления в подземных горных выработках, а также некоторыми другими направлениями наук о Земле (геомеханики, газогеодинамики, вулканологии и др.).

Основные результаты исследований в области механики подземных внезапных выбросов приведены в работах И.М. Петухова и А.М. Линькова [1976, 1978, 1983 и др.], а также А.Э. Петросяна и др. [1978, 1983], В.И. Николина и др. [1967], Ю.М. Бирюкова [2011] и многих других авторов.

Все приведенные выше в качестве эпиграфов высказывания И.М. Петухова и А.М. Линькова [1976, 1983] (см. также [Петухов, Линьков, 1978, с. 74 и др.]) полностью справедливы и в отношении ледникового льда, также обладающего малой сорбционной способностью, как и соли, песчаники и многие другие подвергающиеся выбросам неугольные породы.

#### Вопросы методологии

Определить причину того или иного явления – значит указать фактор, действие которого позволяет объяснить все особенности этого явления.

В газодинамическом выбросе, независимо от состава выбрасываемого материала (его выносе, отбросе, инерциальном разлете, направленном метании) во всех случаях первостепенная (решающая) роль принадлежит находящимся в свободной фазе высоконапорным природным газам различного состава, физико-химических свойств и происхождения.

Соответственно, причиной, вызывающей взрывоподобные внезапные газодинамические выбросы, главным действующим фактором, определяющим и объясняющим их основные характерные особенности, являются расширяющиеся сжатые высоконапорные (обладающие высоким или даже сверхвысоким пластовым давлением) природные газы.

Все другие факторы (горное давление, напряженно-деформированное состояние пород, их физико-механические (литофизические) свойства, в том числе прочностные, и пр.), часто привлекаемые для объяснения причин газодинамических выбросов, могут лишь содействовать, благоприятствовать проявлению выбросов, но не являются их причиной в отмеченном обычном смысле этого слова.

Для газогляциодинамических явлений (газодинамических выбросов ледников), непосредственная подготовка которых протекает в подледниковых условиях вблизи земной поверхности, это особенно очевидно.

Необходимо отметить, что взрывоподобные внезапные газодинамические выбросы установлены в горных породах различного состава и происхождения (углях, солях, песчаниках и др.) при наличии в массиве газового скопления с аномально высоким пластовым давлением, экранированного непроницаемым (газоупорным) барьером со свободной поверхностью (исходной, существующей изначально, или же создаваемой в ходе техногенного, сейсмического или иного воздействия на горный массив).

Это опровергает распространенные представления об обусловленности таких выбросов непременно метановым составом газа, присутствием газа именно в виде твердого углеметанового раствора, сорбционными (или некими «суперсорбционными») свойствами углей, наличием в углях клатратных соединений (газогидратов) и т.п. (прежде всего, хотя бы потому, что в подвергшихся многочисленным газодинамическим выбросам соляных и других горных породах не угольного состава ничего этого заведомо нет).

К газосоляным, газопесчаным и, разумеется, газоледокаменным газодинамическим выбросам все это никакого отношения не имеет.

Вместе с тем, сказанное полностью согласуется с отмеченным во многих публикациях, но так и не получившим удовлетворительного объяснения известным фактом значительного (на порядки) превышения количества газа, выбрасываемого при внезапных газоугольных выбросах, над количеством газа, содержавшегося в выброшенном угле, и полностью объясняет этот факт: выбрасываемый при внезапных газодинамических газоугольных выбросах уголь в своей значительной части слагает газоупорный (газонепроницаемый) барьер со свободной поверхностью и обладает практически нулевой или близкой к нулевой пористостью и, в целом, пустотностью, что исключает возможность нахождения непосредственно в нем сколько-нибудь значительного количества свободного газа (энергетически-силовое воздействие которого необходимо для проявления газодинамического выброса), но зато делает возможным нахождение значительного скопления высоконапорных свободных газов

за ним, экранированного им. Этот барьер представляет собой так называемую перемычку между свободным (в частности, выработанным) пространством и существующим до выброса скоплением природного газа с аномально высоким (сверхвысоким) пластовым давлением. Все это вполне очевидно в случаях проявления внезапных газопесчаных, газосоляных и других газопородных выбросов, в том числе, естественно, газоледокаменных, в частности, выброса ледника Колка.

С учетом изложенного, не только изучение подземных внезапных выбросов проливает свет на некоторые особенности внезапного выброса ледника Колка, но и последние, в свою очередь, содействуют лучшему пониманию причин и механизма подземных газодинамических явлений.

Основной источник высоконапорных природных газов, вызвавших взрывоподобный направленный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г., очевиден – им были глубинные поствулканические газы, постоянно генерирующиеся в глубинных зонах Казбекско-Джимарайского района и всей Казбекской неовулканической области.

#### О моделировании внезапных выбросов

Существующие в горной геомеханике (или, как определил недавно эту область горной науки Ю.М. Бирюков [2011], техногенной газодинамике), особенно — отечественной, представления о причинах (действующих факторах) и механизме подготовки и протекания внезапных газодинамических выбросов все еще предположительны и неоднозначны. Одна из причин такого положения состоит в трудности постановки модельных экспериментов, которые позволили бы осуществить проверку различных представлений в этой области.

Между тем, природа продемонстрировала недавно спонтанный (самопроизвольный) взрывоподобный направленный преимущественно поверхностный и близповерхностный внезапный газопородный (газоледокаменный) газодинамический выброс огромной силы (величины выделившейся энергии), не оставляющий никаких сомнений в характере вызвавших его причин и дающий некоторые основания для расшифровки особенностей механизма его протекания.

Происшедший 20 сентября 2002 г. взрывоподобный внезапный газодинамический выброс ледника Колка со всей очевидностью показал, что именно аномально высокое (сверхвысокое) пластовое давление свободных газов, скопившихся за газоупорным барьером (в подледниковом пространстве), значительное превышение газовым давлением величины локального геостатического давления, создаваемого этим барьером (ледником) и сил сцепления ледника с вмещающими породами (в том числе сил смерзания ледника с боковыми ледниками-притоками), а не «разрушающее» горное давление и не сорбированный газ и другие формы его связанного состояния (как нередко полагают в горной механике) и, конечно, не вода в любом ее количестве (как обычно утверждают отечественные гляциологи) является основной причиной подготовки, запуска, проявления и постпароксизмального завершения внезапных газодинамических выбросов.

В наиболее явном виде проявившееся при поверхностном газодинамическом выбросе ледника Колка это заключение вполной мере справедливо как для поверхностных, так и для подземных внезапных газодинамических выбросов, как для газоледокаменных, так и для газоугольных, газосоляных, газопесчаных и любых иных взрывоподобных внезапных газопородных выбросов, независимо от литологического типа (состава, структуры) и генезиса выбрасываемых пород.

Некоторая генетическая специфика установленных автором различных типов таких выбросов, в том числе газодинамических выбросов ледников, рассмотрена ранее [Бергер, 2008, с. 134-136].

Взрывоподобный внезапный газодинамический (газоледокаменный) выброс ледника Колка 20 сентября 2002 года имел эндогенный поствулканический характер.

Он произошел за счет энергии (энергетически-силового воздействия на ледник) огромного количества высоконапорных расширяющихся сжатых глубинных поствулканических природных газов, скопившихся непосредственно под ледником и продолжавших интенсивно поступать в экранированное ледником и боковыми породами ограниченное по объему подледниковое пространство вплоть до огромного по мощности газодинамического выброса ледника (а после выброса – непосредственно в атмосферу).

Такова причина катастрофического пароксизмального взрывоподобного внезапного газодинамического выброса ледника Колка и вызванной этим выбросом гигантской Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы. Как и обычно при внезапных газодинамических выбросах особенно большой мощности, после удаления газоупорного барьера со свободной (открытой) поверхностью интенсивное поступление высоконапорных глубинных природных газов, сопровождавшееся их поверхностным выделением в атмосферу, продолжалось в эпицентре катастрофы (в тыльной зоне открывшегося ложа ледника Колка) и вблизи от него в течение длительного времени и на постпароксизмальном этапе завершения газодинамического выброса, со всей очевидностью указывая на основной действующий природный фактор, «рабочее тело», энергетически-силовое воздействие которого на ледник Колка обусловило и вызвало выброс ледника и всю связанную с этим природную катастрофу. И лишь в последующем, по мере истощения и исчерпания запасов глубинных газов в данном районе, а также уменьшения величины их пластового давления, концентрированные (струйные) поверхностные газовыделения в эпицентральной зоне катастрофы постепенно приобрели затухающий характер, а затем прекратились.

Заключение о газодинамическом характере внезапного выброса ледника Колка и соответствующих причинах и механизме его протекания подтверждается всеми фактами, характеризующими особенности его проявления и оставленные им следы, частично рассмотренные в предшествующих работах автора [Бергер, 2012a, б, 2015a и др.]. Именно весьма различная, в том числе исключительно высокая степень диспергирования выброшенного материала, особенности формы полости выброса, в частности, ее плоскодонный характер, своеобразие акустического, сейсмического и светового со-провождения выброса, проявление огромной по интенсивности ударной воздушной волны, заброс значительного количества ледово-каменного материала высоко на скалы и другие признаки однозначно свидетельствуют об огромном по мощности (величине выделившейся энергии) взрывоподобном газодинамическом характере этого выброса.

С другой стороны, нет ни одного относящегося к этому событию факта, который противоречил бы такому заключению или не мог быть объяснен в рамках такого заключения.

Таким образом, идентификация геодинамического типа Колкинской катастрофы в эпицентральной зоне ее проявления в качестве пароксизмального взрывоподобного направленного поствулканического внезапного газодинамического выброса ледника Колка подтверждается всеми весьма многочисленными ее особенностями, является вполне доказанной и вообще единственно возможной.

В соответствии с таким определением, Колкинская катастрофа 2002 г. и подобные ей в генетическом плане и по особенностям проявления ледниковые катастрофы представляют собой новый, ранее (до 2002 г.) неизвестный геодинамический тип чрезвычайно опасных пароксизмальных эндогенных природных катастроф поствулканического (или постмагматического) газодинамического генезиса.

Что касается конкретных деталей механизма этого выброса, то их невозможно наблюдать или реконструировать по оставленным следам, и естественно принять теоретические, основанные на многочисленных фактах представления И.М. Петухова, А.М. Линькова (частично приведенные в качестве эпиграфов в этой работе), а также В.И. Николина, Ю.М. Бирюкова, А.Э. Петросяна и некоторых других авторов в данной области как наиболее разработанные и обоснованные для внезапных газодинамических выбросов в целом.

Пароксизмальные взрывоподобные газодинамические выбросы ледников, судя по оставленным ими следам, неоднократно происходили на Земле, в том числе на Кавказе, и ранее, но установить, правильно диагностировать их, определить их газодинамическую природу, выявить их механизм и причины, обнаружить, идентифицировать их геодинамические аналоги удалось лишь после гигантской катастрофы 2002 г. с эпицентром на леднике Колка, следы которой проявились на огромной территории и лишь немного не дошли до пригородов Владикавказа.

Неоднократно происходили в прошлом, безусловно, и газодинамические выбросы ледника Колка, история развития которого относительно известна лишь с 1752 г. [Рототаев и др., 1983; Панов, 1993; Бергер, 2007, 2008; и др.], а в гораздо большей части остается неизвестной, а, несомненно, происходившие в ранней истории ледника события не имеют хотя бы приблизительной датировки. Об этом свидетельствуют, в частности, «следы ледниковой обработки высоко на скалах в ущелье Колки» [Рототаев и др., 1983, с. 17], на которые обратил внимание К.П. Рототаев во время его рекогносцировочных исследований еще в 1954-1955 гг. и которые в течение полувека не имели объяснения. (Само собой разумеется, что эти следы не являются следами водных потоков, всюду усматриваемых гляциологами.)

#### Заключение

Изучение природных газодинамических явлений (одно из очевидных проявлений которых представляют собой взрывоподобные направленные выбросы ледников), диагностике (идентификации) их геодинамического типа, установлению их причин, расшифровке механизма их подготовки, запуска, протекания и завершения уделяется пока явно недостаточное внимание. В некоторых случаях в течение весьма длительного времени остается не выявленной даже сама газодинамическая (и эндогенная) их природа, а все весьма специфические характерные признаки этих явлений необоснованно и ошибочно приписываются действию («объясняются» действием) воды, а также гравитационного, обвально-ударного, сейсмотектонического или иных факторов.

Именно так в течение уже более ста лет было (и в значительной мере продолжает оставаться) с изучением взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледника Колка 3 и 6 июля 1902 г., Девдоракских (Казбекских) катастроф 1776 и 1832 гг., на Кавказе, в Закавказье, в Южно-Американских Андах, Северо-Американских Кордильерах и, безусловно, во многих других случаях.

Именно так происходит и с настойчиво предлагаемыми гляциологическими (гляциодинамическими, гидрогляциодинамическими, гидравлическими, селевыми и др.) объяснениями Колкинской катастрофы 2002 г.

Согласно теории внезапных газодинамических выбросов [Петухов, Линьков, 1976, 1978, 1983; Петросян и др., 1978, 1983; Бирюков, 2011; и др.; Evans et al., 2009; Klimes et al., 2009; Mark et al., 2017; Sibson et al., 2075; Zaalishvili et al., 2014], важнейшим условием возникновения таких выбросов является «наличие достаточной потенциальной энергии (в первую очередь газа), чтобы не только совершать работу разрушения, но и придать смеси скорость, обеспечивающую движение потока [Петухов, Линьков, 1983, с. 267].

На всех этапах подготовки гигантской природной Колкинской катастрофы, пароксизмального взрывоподобного ее протекания и постпароксизмального завершения очень мощно проявилось определяющее, управляющее действиеименно газового фактора (огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических газов), вызвавших эту катастрофу и обусловивших, определивших многочисленные совершенно уникальные ее особенности (впрочем, при всех гигантских масштабах их проявления, весьма характерные, типичные именно для газодинамических явлений).

Вышеизложенное позволяет лишь отчасти очертить круг вопросов, с которыми неизбежно соприкасается теория развития пульсирующих ледников в той ее части, в которой она затрагивает выбросоопасные (газовыбросоопасные) ледники и проявляющиеся в ходе их развития грандиозные пароксизмальные ледниковые катастрофы – взрывоподобные направленные газодинамические внезапные выбросы ледников, одним из которых был катастрофический внезапный газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. Многие из этих выбросов, как видим, далеко выходят за рамки традиционной динамической гляциологии и, в целом, классической географии.

Газодинамическая природа, мощное энергетически-соловое воздействие огромного количества высоконапорных глубинных природных газов – основное, что сближает взрывоподобный направленный поствулканический выброс ледника Колка с направленными вулканическими взрывами при всех весьма значительных различиях между ними, подчеркивая, безусловно, эндогенный характер, газодинамическую причину Колкинской (Кармадонской, Геналдонской) катастрофы.

В геодинамической системе (мегасистеме) ледника Колка, включающей, помимо ледника и области его питания, его корово-мантийный флюидосодержащий литосферный субстрат, на некоторых этапах развития, очевидно, реализуется также случай, когда давление глубинных флюидов, в том числе газовое давление, в подледниковом пространстве является недостаточным для газодинамического выброса ледника, но достаточным для существенного изменения его напряженно-деформированного состояния и нарушения его механической устойчивости (с учетом величины набранной ледником массы и уклона ледника). Это приводит к быстрой подвижке ледника, которая, в зависимости от указанных и, возможно, некоторых других факторов, может характеризоваться различными параметрами, прежде всего, различными величинами скорости, дальности и продолжительности движения льда.

Этот круг вопросов, очень важный и принципиально новый в изучении, безусловно, не только ледника Колка, но и других пульсирующих ледников, заслуживает отдельного рассмотрения.

#### Литература

1. Бергер М.Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. – М.: КомКнига, 2007. – 120 с.

2. Бергер М.Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования е развития. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 264 с.

3. Бергер М.Г. О воронке выброса ледника Колка. // Геология и геофизика Юга России. – 2012а. – №2. – С. 55–64.

4. Бергер М.Г. О некоторых следах, оставшихся на месте ледника Колка, как показателях характера Колкинской катастрофы 2002 года. // Геология и геофизика Юга России. – 2012б. – №4. – С. 75–85.

5. Бергер М.Г. О проявлении ударной воздушной волны при взрывоподобном внезапном газодинамическом выбросе ледника Колка 20 сентября 2002 г. // Геология и геофизика Юга России. – 2015а. – №2. – С. 76–85.

6. Бергер М.Г. Газогляциодинамика – новая область исследований ледников и связанных с ними эндогенных опасных природных процессов катастрофического уровня. // Геология и геофизика Юга России. – 2015б. – №4. – С. 18–46.

7. Бергер М.Г. Некоторые общие вопросы изучения газодинамических и газогляциодинамических явлений. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – №1. – С. 5–37.

8. Бирюков Ю.М. Техногенная газодинамика. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2011. – 159 с.

9. Иванов Б.М. Современные представления о классификации газодинамических явлений в угольных шахтах. // Горный информационно-аналитический бюллетень. Тематическое приложение «Безопасность». – М.: Изд-во МГГУ, 2005. – С. 153–167.

10. Николин В.И., Меликсетов С.С., Беркович И.М. Выбросы породы и газа. – М.: Недра, 1967. – 81 с.

11. Панов В.Д. Эволюция современного оледенения Кавказа. – СПб.: Гидрометеоиздат, 1993. – 432 с.

12. Петросян А.Э., Яновская М.Ф., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Исследование процессов возникновения внезапных выбросов угля и газа. – М.: Наука, 1978. – 112 с.

13. Петросян А.Э., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Теория внезапных выбросов. – М.: Наука, 1983. – 152 с.

14. Петухов И.М., Линьков А.М. Теоретические предпосылки предупреждения внезапных выбросов и мер борьбы с их вредными последствиями. // Выбросы угля, породы и газа. – Киев: Наукова думка, 1976. – С. 3–18.

15. Петухов И.М., Линьков А.М.Механизм развязывания и протекания выбросов угля (породы) и газа. // Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа. – М.: Недра, 1978. – С. 62–91.

16. Петухов И.М., Линьков А.М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.

17. Рототаев К.П., Ходаков В.Г., Кренке А.Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. – 169 с.

18. Evans S.G., Bishop N.F., Smoll L.F., Murillo P.V., Delaney K.B., Oliver-Smith A. A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascaran, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970 // Engineering Geology. – 2009. – Sep. – Vol. 108. No.1-2. – Pp. 96-118.

19. Klimes J., Vilimek V., Omelka M. Implications of geomorphological research for recent and prehistoric avalanches and related hazards at Huascaran, Peru // Natural Hazards. – 2009. – Jul. – T. 50. No.1. – Pp. 193-209.

20. Mark B. G., French A., Baraer M., Carey M., Bury J., Young K.R., Polk M.H., Wigmore O., Lagos P., Crumley R., McKenzie J. M., Lautz L. Glacier loss and hydrosocial risks in the Peruvian Andes // Global and Planetary Change. – 2017. Dec. – Vol. 159. – Pp. 61-76.

21. Sibson R.H., McMoore J., Rankin R.H. Seismic pumping – a hydrothermal fluid transport mechanism // Journ. Geol. Soc. London. – 1975. – Vol. 131. – Pp. 653–659.

22. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Mel'kov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of Northern Caucasus // Izvestiya-Physics of the Solid Earth. – 2014. – Vol. 50. No.2. – Pp. 263-272.

## References

1. Berger M.G. Three glaciodynamic movements and four gas-dynamic outbursts of the Kolka glacier. Little-known pages and discussion questions of the development history of a surging glacier. Moscow. KomKniga, 2007. 120 p. (In Russ.)

2. Berger M.G. The geodynamic system of the Kolka glacier and questions of prognosis and regulation of its development. Moscow. Publishing House LKI, 2008. 264 p. (In Russ.)

3. Berger M.G. About the Kolka glacier outburst funnel. Geology and Geophysics of Russian South. 2012a. No. 2. pp. 55–64. (In Russ.)

4. Berger M.G. About some traces left on the site of the Kolka glacier, as indicators of the nature of the 2002 Kolka catastrophe. Geology and Geophysics of Russian South. 2012b. No. 4. pp. 75–85. (In Russ.)

5. Berger M.G. On the manifestation of a shock air wave during an explon-like sudden gas-dynamic outburst of the Kolka glacier on September 20, 2002. Geology and Geophysics of Russian South. 2015a. No. 2. pp. 76–85. (In Russ.)

6. Berger M.G. Gas-glaciodynamics is a new research field of glaciers and associated endogenous natural processes of catastrophic level. Geology and Geophysics of Russian South. 2015b. No. 4. pp. 18–46. (In Russ.)

7. Berger M.G. Some general questions of studying gas-dynamic and gas-glaciodynamic phenomena. Geology and Geophysics of Russian South. 2016. No. 1. pp. 5–37. (In Russ.)

8. Biryukov Yu.M. Anthropogenic gas dynamics. Kaliningrad. Publishing House of FSBEI HPE "KSTU", 2011. 159 p. (In Russ.)

9. Ivanov B.M. Modern views on the classification of gas-dynamic phenomena in coal mines. Mining informational and analytical bulletin. Thematic application "Security". M. Publishing House of Moscow State University, 2005. pp. 153–167. (In Russ.)

10. Nikolin V.I., Meliksetov S.S., Berkovich I.M. Rock and gas outbursts. M. Nedra, 1967. 81 p. (In Russ.)

11. Panov V.D. The evolution of the modern glaciation in Caucasus. SPb. Gidrometeoizdat, 1993. 432 p. (In Russ.)

12. Petrosyan A.E., Yanovskaya M.F., Ivanov B.M., Krupenya V.G. Research of the occurrence processes of sudden emissions of coal and gas. M. Nauka, 1978. 112 p. (In Russ.)

13. Petrosyan A.E., Ivanov B.M., Krupenya V.G. Theory of sudden emissions. M. Nauka, 1983. 152 p. (In Russ.)

14. Petukhov I.M., Lin'kov A.M. Theoretical background for the prevention of sudden outbursts and measures to eliminate their harmful effects. Outbursts of coal, rock and gas. Kiev. Naukova Dumka, 1976. pp. 3–18. (In Russ.)

15. Petukhov I.M., Lin'kov A.M. The mechanism of unleashing and the outburst flow of coal (rock) and gas. Fundamentals of the sudden outburst theory of coal, rock and gas. M. Nedra, 1978. pp. 62–91. (In Russ.)

16. Petukhov I.M., Lin'kov A.M. Mechanics of rock bumps and outbursts. Moscow. Nedra, 1983. 280 p. (In Russ.)

17. Rototaev K.P., Khodakov V.G., Krenke A.N. Exploration of the surging Kolka glacier. Moscow. Nauka, 1983. 169 p. (In Russ.)

18. Evans S.G., Bishop N.F., Smoll L.F., Murillo P.V., Delaney K.B., Oliver-Smith A. A re-examination of the mechanism and human impact of catastrophic mass flows originating on Nevado Huascaran, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. Engineering Geology. 2009. Sep. Vol. 108. No.1-2. pp. 96-118.

19. Klimes J., Vilimek V., Omelka M. Implications of geomorphological research for recent and prehistoric avalanches and related hazards at Huascaran, Peru. Natural Hazards. 2009. Jul. Vol. 50. No.1. pp. 193-209.

20. Mark B. G., French A., Baraer M., Carey M., Bury J., Young K.R., Polk M.H., Wigmore O., Lagos P., Crumley R., McKenzie J. M., Lautz L. Glacier loss and hydrosocial risks in the Peruvian Andes. Global and Planetary Change. 2017. Dec. Vol. 159. pp. 61-76.

21. Sibson R.H., McMoore J., Rankin R.H. Seismic pumping – a hydrothermal fluid transport mechanism. Journ. Geol. Soc. London. 1975. Vol. 131. pp. 653–659.

22. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Mel'kov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of Northern Caucasus. Izvestiya-Physics of the Solid Earth. 2014. Vol. 50. No.2. pp. 263-272.
— ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА —

# VДК 551.243 DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44490</u>

Оригинальная статья

# Интерференционная складчатость южного склона Большого Кавказа

# Т.В. Гиоргобиани 🔟 <sup>1, 2</sup>, к.г.-м.н., Д.П. Закарая<sup>3</sup>, к.г.-м.н.

<sup>1</sup>Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили,

Грузия, 0179, г. Тбилиси, пр. Чавчавадзе, 1;

<sup>2</sup>Геологический институт им. А.И. Джанелидзе, Грузия, 0186,

г. Тбилиси, ул. Политковской, 31, e-mail: ciala\_gugava@mail.ru;

<sup>3</sup>ООО «Геология», Грузия, 0179, г. Тбилиси, ул. Я. Николадзе, 5а, e-mail: d\_zakara@yahoo. com

Статья поступила: 04.10.2019, после рецензирования: 27.10.2019, принята к публикации: 07.11.2019

Аннотация: Актуальность работы. В результате проведенных многочисленных детальных геолого-структурных исследований Большого Кавказа (БК) было установлено, что имеющиеся в настоящее время представления об объекте исследования – морфологии альпийской складчатости региона не совсем верны и нуждаются в существенном пересмотре. Цель работы - установить механизм формирования современной складчатой структуры региона. Методы исследования: полевые исследования проявлений и простирания структур складчатости с привлечением современных подходов. Они позволили получить совершенно другие данные о структурном строении БК, чем это было известно по предшествующим работам. Результаты работы. Установлено развитие интерференционной складчатости. Она слагает краевую южную часть отдельных участков Северо-Западного, Центрального и Юго-Восточного Кавказа. Полоса развития интерференционной складчатости, длиной более 85 км и шириной до 25 км, имеет в общем субширотное простирание, в отличие от северо-западной ориентировки главной линейной складчатости региона. Все участки характеризуются развитием однообразных почти идентичных по морфологии и ориентировке пересекающихся складчатых структур. Они представлены как линейными складками, так и брахиформными, а также нелинейными округлыми структурами. В линейных коротких линзовидных складках часто наблюдается изгибание шарниров как в плане, так и в разрезе. Иногда отмечается разветвление структур, фестончатая морфология их периклиналей и клиновидные формы складок. Куполовидные, чашеобразные и брахиформные структуры имеют в плане округлые, овальные, каплевидные, четырехугольные и подковообразные очертания. Возникли они путем преобразования первичных пликативных структур, сформированных на ранне-среднеальпийском и раннеорогенном этапах, в обстановке северо-восточного тангенциального сжатия Большого Кавказа. Во время позднеорогенной стадии ориентация раннего давления в регионе сменилась субмеридиональным стрессом. Это вызвало придвигание на север отдельных блоков-шолей Черноморско-Закавказского микроконтинента и их внедрение в складчатую систему Большого Кавказа. Такая деформация обусловила косое наложение на локальных участках развития ранней складчатости субмеридионального давления и повторное сжатие стрктур. В результате сочетания этих разноориентированных процессов дислокации в краевой южной зоне Большого Кавказа произошло образование типичной интерференционной структуры. Таким образом, механизм формирования интерференционной складчатости представляет собой результат проявления разновозрастных внешних односторонных, но разноплановых тангенциальных деформаций, происходящих в альпийском цикле на Большом Кавказе.

**Ключевые слова:** Большой Кавказ, интерференционная складчатость, субмеридиональное сжатие, шоли, складчатая система, придвиг, линейные складки.

**Для цитирования:** Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Интерференционная складчатость южного склона Большого Кавказа. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9(4): 72-86. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44490.

= GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS :

DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44490

### **Original paper**

# Interference Folding of the Southern Slope of the Greater Caucasus

## T.V. Giorgobiani (D<sup>1, 2</sup>, D.P. Zakaraia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 1 Chavchavadze Ave., Tbilisi 0179, Georgia; <sup>2</sup>Al. Djanelidze Geological Institute, 31 Politkovskaia Str., Tbilisi 1086, Georgia, e-mail: ciala\_gugava@mail.ru;

<sup>3</sup>LTD "Geologi", 5a J. Nikoladze Str., Tbilisi 0179, Georgia, e-mail: d\_zakara@yahoo.com

Received: 04.10.2019, revised: 27.10.2019, accepted: 07.11.2019

Abstract: Relevance. As a result of numerous detailed geological and structural exploratios of the Greater Caucasus, it was found that the current understanding of the study object (the morphology of the alpine folding of the region) is not correct exactly and it needs to be substantially revised. Aim. To establish a mechanism for the formation of a modern folded structure of the region. Methods. Field studies of the manifestations and stretching of folding structures using modern approaches. They made it possible to obtain completely different data on the structure of the Greater Caucasus than was known from previous works. Results. The development of the interference folding has been established. It builds up southern marginal part of separate areas of North-West, Central and South-East Caucasus. The 85 km long and 25km wide stripe of development of the interference folding in general has sublatitudional directions in distinction from NW orientation of main linear folding of the region. All areas are characterized with development of uniform intersecting folded structures of nearly identic morphology. They are represented by linear folds as well as by brachiform folds and nonlinear rounded structures. Individual folds in the plane have NW, sublatitudional and submeridional orientation. It's built up with multi-order structures of folds of different shape and size, from first hundred meters to several kilometers and first tenth kilometers. In short linear lens-shaped folds bending of fold hinges in plane and section are observed. Sometimes brenching of the structures, festoon morphology of their pericline and wedge-shaped forms are recorded. Domes, pit-like (cuppy) and brachiform structures in plane have rounded, oval, drop-shaped, four-sided (quadrangular), horseshoe shapes. It occurred due to the transformation of the primary linear plicative structures, formed at the Early-Middle Alpine and Early Orogenic stages during the NW tangential compression of the Greater Caucasus. At the Late Orogenic collision stage, the orientation of the previous stress in this region was replaced by the submeridional stress. It caused the northward movement of certain block-schols of the Black Sea-Transcaucasian micro-continent and its intrusion into the folded system of the Greater Caucasus. Such deformation caused the oblique superposition of submeridional strains and the repeated compression of the structures on the local areas of development of the previous folding of submeridional strains. In the result of combination of these processes of different orientation typical interferential structure was formed in the southern edge zone of the Greater Caucasus. Thus, mechanism of the formation of interferential folding represents manifestation of external unilateral, but diversified (in plane) tangential deformations occurred during the Alpine cycle in the Greater Caucasus.

**Keywords:** Greater Caucasus, interference folding, submeridional compression, schols, folded system, movement, linear folds.

**For citation:** Giorgobiani T.V., Zakaraia D.P. Interference Folding of the Southern Slope of the Greater Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 72-86. (In Russ.) DOI: 10.23671/ VNC.2019.4.44490.

### Введение

В результате проведенных многочисленных детальных геолого-структурных исследований Большого Кавказа (БК) авторами было установлено, что имеющиеся в настоящее время представления о морфологии альпийской складчатости региона не совсем верны и нуждаются в существенном пересмотре. Новые исследования позволили получить совершенно другие данные о структурном строении БК, чем это было известно по предшествующим работам [Adamia, 1975; Adamia et al., 1977, 2017; Gamkrelidze, 1986, 1997; Gamkrelidze, Giorgobiani, 1990]. Поэтому появилась возможность поновому рассмотреть историю и механизм формирования современной складчатой структуры изучен-

ного региона.

Было установлено, что в сложной современной структуре БК присутствуют складчатые образования различной морфологии, ориентации, возраста и генезиса. Кроме основной линейной складчатости общекавказского направления, в его пределах развиты и более молодые пликативные структуры, наложенные на первичную складчатость, что фиксируют два главных качественно новых этапа деформации региона.

Главная альпийская линейная северо-западная разнонапряженная складчатость БК возникла в результате северо-восточного сжатия слагающих его мезозойско-кайнозойских слоистых толщ в результате придвигания жесткого единого Черноморско-Закавказского микроконтинента (ЧЗМ) к заполненному отложениями пластичному осадочному прогибу БК [Гиоргобиани, 1999а]. Придвигание и прижатие ЧЗМ к БК вдоль плоскости Южного краевого глубинного разлома обусловило его альпийскую дислокацию. Этот тип деформации условно можно назвать стадией «пластичной» коллизии. Происходило это в течение проявления ранне-среднеальпийского и раннеорогенного этапов складкообразования (предкелловейская, пиренейская и штирийская фазы тектогенеза).

Структурными особенностями основной складчатости являются: линейный морфологический облик, в разной степени сжатый поперечный профиль, однообразное крутое залегание осей складок, преимущественно селективный кливаж течения, а также слабый уровень соскладчатого регионального метаморфизма не превышающий фации зеленных сланцев.

С позднеорогенной стадии на БК изменился план тектонического горизонтального давления с северо-восточного направления на субмеридиональное [Гиоргобиани, 1997]. Наиболее молодые (поздний миоцен-антропоген) деформации происходили в условиях «твердой» коллизии, когда продвигались на север и сталкивались отдельные блоки (шоли) ЧЗМ с участками интенсивно сжатой уже консолидированной складчатой системы БК. Наложенные коллизионные деформации сильно исказили общую раннюю линейную структуру региона. Новейшее коллизионные структурообразование проявилось на его территории уже весьма неравномерно в пределах различных тектонических зон.

На неотектоническом этапе особенно сильные деформации происходили ранее и продолжают развиваться сейчас в зоне столкновения южного склона БК и ЧЗМ. Долготное напряжение обусловило формирование принципиально новых неоднородных коллизионных дислокаций – субширотной складчатости, диагональных разрывов, кливажа, покровно-надвиговых и других структур.

Отметим, что ранее на новые коллизионные структуры обычно не обращали внимание и их неправильно рассматривали совместно с предыдущей главной складчатостью в регионе, на которую они несогласно наложены. Поэтому они выделены авторами как самостоятельный класс тектонических структур, присущий только коллизионному этапу развития БК [Гиоргобиани, 2004]. В вязи с этим молодые коллизионные структуры приобретают чрезвычайно важное значение при определении механизмов альпийского тектогенеза и заслуживают специального изучения, отдельно от основной складчатости.

### Расположение интерференционной складчатости в структуре БК

К коллизионным складчатым структурам также относится интерференционная (перекрестная, пересекающаяся, преобразованная, переориентированная) складчатость, образующая одну из значительно распространенных групп пликативных структур южного склона БК. Как известно, она формируется в результате интерференционного наложения складчатых волн различной величины и ориентировки. Структуры возникают вследствие повторного косого горизонтального сжатия ранее сформированной линейной многопорядковой складчатости подвижной зоны. Таким образом, молодая наложенная складчатость является суммарным результатом такой разноплановой деформации [Паталаха, Слепых, 1974]. В отличие от ранней линейной доколлизионной складчатости, которая развита регионально по всей территории БК, интерференционные структуры имеют в регионе только локальные распространения [Giorgobiani, Zakaraia, 2010].

Интерференционная складчатость, в пределах БК, длиной более 85 км и шириной до 25 км, слагает южную краевую часть отдельных участков складчатой системы Северо-Западного, Центрального и Юго-Восточного Кавказа. В этих сегментах БК интерференционная складчатость размещена на участках прилегания разновеликих блоков (шолей) ЧЗМ, имеющих на новейшем этапе придвиговую кинематику (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения участков развития интерференционной складчатости в пределах южного склона Большого Кавказа

1 – участки интерференционной складчатости; 2 – границы шолей; 3 – Южный краевой разлом Большого Кавказа; 4 – разломные границы сегментов Большого Кавказа; 5 – направление придвигания шолей. СЗК – Северо-Западный Кавказ, ЦК – Центральный Кавказ, ВК – Восточный Кавказ, ЮВК – Юго-Восточный Кавказ. Шоли: Гл – Геленджикская, Т – Туапсинская, Г – Гудаутская, С – Сухумская, К – Ксанская, Ж – Жинвальская, И – Иорская, КБ – Кобыстанская. Краевые разломы: П – Приморский; Г-Д – Гагра-Джавский; ОР – Орхевский; К-В – Кахети-Вандамский; З-Г – Зангинско-Геральдинский. /

Fig. 1. The scheme of the areas of interference folding development within the southern slope of the Greater Caucasus

1 – areas of interference folding; 2 – the boundaries of the scholles; 3 – Southern marginal fault of the Greater Caucasus; 4 – fault boundaries of the Greater Caucasus segments; 5 – direction of the scholle moving. NWC – Northwest Caucasus, CC – Central Caucasus, EC – Eastern Caucasus, SEC – Southeast Caucasus. Scholles: Gl – Gelendzhik, T – Tuapse, G – Gudauta, S – Sukhumi, K – Ksani, Zh – Zhinvali, I – Iora, KB – Kobystan. Edge faults: P – Primorsk; G-J – Gagra-Java; OR – Orhevi; K-V – Kakheti-Vandams; ZG – Zanginsk-Geralda. Полосы развития интерференционной складчатости имеют в общем субширотные простирания, чем они отчетливо выделяются на фоне северо-западной ориентировки главной сжатой линейной складчатости БК. Кроме того, эти участки характеризуются сложным внутренним строением, где с линейными структурами сочетаются складки другой морфологии, имеющие кроме субширотного и антикавказские юго-западные, юго-восточные и субмеридиональные направления.

На этих местах складчатой системы БК осуществлялось коренное изменение первичной линейной складчатой структуры, выражающееся в образовании интерференционной складчатости, в связи со сменой расположения планов деформации. Повторное субмеридиональное сжатие уже существующей линейной складчатости северо-западной ориентировки в косом, под углом примерно 45°, относительно ее простирания направлении, вызвало преобразование ранней складчатой структуры. В результате произошло формирование новых, отличных по морфологии, генезису, размеру и ориентировке интерференционных структур. Складки имеют как линейные, так и многообразные нелинейные формы и представлены в основном куполовидными, брахиморфными и более сложными пликативными образованиями. Это значительно усложнило тектоническое строение отдельных участков южного края БК, а иногда сильно завуалировало ее первоначальную складчатость. Наличие широкого спектра морфологически разновидных структур создает структурную дисгармонию в плане между интерференционной и ранней линейной складчатостью [Giorgobiani, 1995].

### Описание интерференционных структур по участкам

Ниже приводится краткое описание выделенных участков распространения интерференционной складчатости в пределах южного склона БК.

<u>Северо-Западный Кавказ.</u> В пределах этого сегмента БК интерференционная складчатость отмечается на южном склоне региона в Новороссийско-Лазаревской тектонической зоне. Участок находится к северу от Туапсинской шоли и представлен складчатыми структурами весьма своеобразной морфологии, имеющими аномальную относительно основной складчатости близширотную, в общем, ориентировку (рис. 2).



Рис. 2. Схема геологического строения р. Мезыб – г. Туапсе участка БК. (Составлена по геологической карте Резникова В.И., Григоренко В.В., 1984).

1 – палеоген; верхний мел: 2 – сантонский ярус, 3 – сеноманский ярус; 4 – нижний мел, а также туронконьякский и кампан-датский ярусы объединенные; 5 – нижняя-средняя юра; 6 – оси антиклиналей; 7 – оси синклиналей; 8 – разрывные нарушения; 9 – разломы; 10 – оси новообразованных антиклиналей и синклиналей. А, В, С, D – геолого-структурные профили. / Fig. 2. The scheme of the geological structure of the river Mezyb – Tuapse city of the GC segment. Compiled from the geological map of Reznikov V.I., Grigorenko V.V., 1984).

1 - Paleogene; Upper Cretaceous: 2 - the Santonian stage, <math>3 - the Cenomanian stage; 4 - the Lower Cretaceous, as well as the Turonian-Cognac and Campanian-Danish stages combined; <math>5 - Lower-Middle Jurassic; 6 - axis of anticlines; 7 - axis of synclines; 8 - disjunctive dislocations; 9 - faults; 10 - axis of the newly formed anticlines and synclines. A, B, C, D, <math>E - geological and structural profiles.

Изменение главного северо-западного (аз. 295–305°) направления складчатой структуры на субширотное (аз. 270–275°) происходит на меридиане г. Туапсе. Такая ориентация сохраняется на участке длиной более 85 км, простирающемся на запад до устья р. Мезыб. Здесь складки вновь меняют свою ориентировку и приобретают обычное северо-западное направление. Северная граница развития интерференционных структур, восточнее р. Вулан, проходит по водоразделу Кавказского хребта, западнее – в осевой части южного склона и затем уходит под воды Черного моря. В пределах последнего расположена и вся южная граница рассматриваемого участка. Максимальная ширина этой полосы наблюдается в ее восточной половине, где она достигает 20–25 км, а к западу ширина уменьшается до 5–10 км. Развитие интерференционной складчатости в крайней восточной части данной территории было отмечено и ранее [Островский, Бурлакин, 1974].

В указанных пределах данный отрезок Новороссийско-Лазаревской зоны сложен флишевыми и субфлишевыми мел-среднепалеогеновыми отложениями. Они представлены согласно залегающими терригенными, карбонатно-терригенными и карбонатными толщами, общая мощность которых составляет 8,2–10,5 км.

Как показали проведенные авторами детальные исследования [Гиоргобиани, Закарая, 1989], участок развития этих мощных осадочных комплексов характеризуется очень сложным внутренним строением. Они представлены разнообразными по морфологии и ориентировке складками, сильно отличающимися от окружающей складчатости. Эти структуры имеют юго-западные (аз. 235–255°), северо-западные (аз. 285–320°), субмеридиональные (аз. 10°) и субширотные (аз. 273–277°) простирания осей. Структуры с субширотным простиранием имеют наиболее крупные складки, ширина которых составляет 1-2,7 км, а длина – 10–20 км. В этой полосе часто наблюдается изгибание шарниров складок как в плане, так и в вертикальном разрезе. Наряду с этим существенно меняется и морфология складчатости, в которой отмечаются брахиформные структуры длиной 3–5 км и шириной – 1-2 км, также разветвление складок и фестончатые очертания их периклиналей, а также необычные клинообразные формы структур, размером до 7 км.

На рассматриваемом участке антиклинали иногда имеют изометричную или овальную куполообразную форму, а синклинали чашевидный или корытообразный вид, величиной 3,5–5 км. Кроме того, наблюдается развитие мелких новообразованных складок субширотного направления, на пологих крыльях крупных первичных складок северо-западного простирания, шириной 1-2 км. Некоторые структуры осложнены крутопадающими взбросами и взбросо-сдвигами, в основном субширотного простирания.

Сочетание всех этих структурных форм создает на этом участке Большого Кавказа чрезвычайно сложный рисунок морфологии интерференционной складчатости, которая резко выделяется на общем фоне основных северо-западных линейных складок региона.

<u>Центральный Кавказ</u>. В пределах этого сегмента БК интерференционная складчатость развита в его крайних западной и восточной частях. Первый участок расположен в Западной Абхазии, а второй – в междуречье Малой Лиахви и Пшавской Арагви.

В <u>Западной Абхазии</u> интерференционные структуры размещены в Гагра-Джавской тектонической зоне, между селами Гантиади и Приморское. Протяженность этой полосы составляет 60 км, а ширина меняется от 20–25 км на востоке, до 15 км на западе. На этом участке складчатая структура БК имеет дисгармоничную, в целом близширотную (аз. 275–285°) ориентировку. Северная граница развития интерференционной складчатости проходит на широте оз. Рица, за которой севернее расположены зоны, характеризующиеся обычными общекавказскими (аз. 290–300°) простираниями. В западном направлении эти структуры распространяются до ущ. р. Псоу, а в восточном – до меридиана, проходящего через с. Ахали-Атони. На юге данная полоса ограничена крутой флексурой и расположена напротив Гудаутского шоля ЧЗМ. Ширина рассматриваемого участка неоднородна и составляет на востоке 21 км, в центральной части – 24 км, а на западе – 14 км (рис. 3).



Рис. 3. Схема геологического строения Гантиади-Приморского участка БК (составлена по Атласу геологических карт, Букия С.А. и др., 1971).

1 – неоген-антропоген, 2 – верхний эоцен-олигоцен, 3 – палеоцен-эоцен; 4 – верхний мел, баррем, титон, тоарсаален, синемюр-плинсбах, палеозой; 5 – апт-альб; 6 – берриас-готерив; 7 – келловей-киммеридж; 8 – байосбат; 9 – гранодиориты; 10 – оси антиклиналей и синклиналей; 11 – оси новообразованных антиклиналей и синклиналей; 12 – разломы. /

Fig. 3. Scheme of the geological structure of the Gantiadi-Primorsk section of the GC. Compiled according to the Atlas of geological maps, Bukia S.A. et al., 1971.

1 - Neogene-Anthropogen, 2 - Upper Eocene-Oligocene, 3 - Paleocene-Eocene; 4 - Upper Cretaceous, Barrem, Tithon, Toars-Aalen, Cinemiure-Plinsbach, Paleozoic; 5 - Aptian- Albian; 6 - Berrias-Hauteriv; 7 - Callovian-Kimmeridge; 8 - Bayos-Bat; 9 - granodiorites; 10 - axis of anticlines and synclines; 11 - axis of the newly formed anticlines and synclines; 12 - faults.

В названных пределах Гагра-Джавская зона сложена вулканогенной толщей основного состава байосского возраста, глинисто-песчанистыми породами бата, карбонатными свитами верхней юры и мела, а также глинисто-мергелевыми отложениями палеогенового возраста. Общая мощность этих образований, среди которых иногда отмечаются трансгрессивные несогласные контакты, составляет 5,2-6,3 км.

Детальный анализ складчатости участка показал, что полоса развития этих различных комплексов пород имеет сложную внутренную структуру и представлена разновидными по морфологии и ориентировке складками [Гиоргобиани, 1991]. Среди них выделяются линейные складки и полускладки, простирание которых колеблется в пределах азимутов  $270-295^{\circ}$ . Длина единичных крупных складок достигает 8-13 км, а ширина – 3,5 км. Более мелкие структуры протягиваются на 5-10км, имея ширину 0,5-0,8 км. Кроме того, широким развитием на этом участке пользуются куполовидные, овальные, линзовидные и брахиформные структуры, а также искаженные четырехугольные, корытообразные складки, с изогнутыми вовнутрь сторонами. Размеры этих разнообразных по форме нелинейных структур меняются в широком диапазоне: длина – от 0,8 км до 5 км, а ширина – 0,5-3км. Оси этих структур, часто слабо изогнутые, имеют северо-западные (аз.  $295-315^{\circ}$ ), близширотные (аз.  $265-285^{\circ}$ ), северо-восточные (аз.  $25-40^{\circ}$ ) и субмеридиональные (аз.  $350-360^{\circ}$ ) направления. Для складок любой морфологии и ориентации характерны извилистые очертания в плане, представляющие собой их осложнение более мелкими дополнительными структурами размером 0,3-0,5 км.

Развитие по-разному ориентированных морфологически линейных и нелинейных, овальных, брахиформных или более сложных причудливых складок создает в плане весьма причудливый структурный рисунок складчатости. Такая неоднородная складчатая структура, как известно, является результатом новейшего преобразования первичных линейных складок, путем повторного косого сжатия. Это свидетельствует о проявлении на локальном участке Гагра-Джавской зоны Западной Абхазии хорошо выраженной интерференционной складчатости. В междуречье <u>Малой Лиахви и Пшавской Арагви</u> существование интерференционной складчатости, как и на предыдущем участке, впервые было выявлено авторами. Строение складчатой структуры данного сегмента БК установлено в результате детального структурного изучения ущелий рек Ксани, Белой и Пшавской Арагви, а также анализа существующих материалов геологических съемок крупно- и среднемасштабных карт региона.

Южная граница области распространения интерференционных структур протягивается вдоль зоны соприкосновения складчатой системы БК с Ксанской и Жинвальской шолями ЧЗМ (см. рис. 4). С севера она ограничена полосой расположения главной сжатой линейной складчатости, которая резко отличается от преобразованных складок своей северо-западной (аз. 290–300°), несогласной с ними, ориентацией. Западная и восточная границы развития переориентированных структур проходят по названным ущельям, проходящим вдоль сс. Белоти и Гудрухи, расстояние между которыми составляет 57 км. Найболее большую ширину эта территория имеет по ущелью р. Ксани, напротив расположения одноименной шоли, где она достигает 23 км. К западу ее ширина постепенно сужается до 7 км. Восточнее полосы, в районе прилегания Жинвальской шоли, тоже наблюдается сужение ее ширины до 10–12 км. Причиной такого неодинакового развития пощади, чем контактирующего с Жинвальским шолем участка, разграниченного проходящим вдоль р. Ксани меридиональным разломом. Это способствовало передаче субмеридионального горизонтального напряжения и возникновению преобразованных структур на территории, значительно превосходящей область приложения тектонических усилий.



Рис. 4. Схема геологического строения междуречья Малый Лиахви-Арагви участка БК (составлена по геологическим картам Авалишвили П.И. и др., 1958; Шириашвили О.И. и др., 1959, 1962, 1963; Канделаки Д.Н. и др., 1981).

1 – плиоцен- антропоген; 2 – миоцен, 3 – палеоген; 4 – верхний мел, верхний готерив-баррем, аален; 5 – сеноман; 6 – апт-альб; 7 – байос; 8 – оси антиклиналей и синклиналей; 9 – оси новообразованных антиклиналей и синклиналей; 10 – разломы; А, В – геолого-структурные профили. /

Fig. 4. Scheme of the geological structure of the Maly Liakhvi-Aragvi interfluve of the GC segment. Compiled from geological maps Avalishvili P.I. et al., 1958; Shiriashvili O.I. et al., 1959, 1962, 1963; Kandelaki D.N. et al., 1981.

1 - Pliocene-Anthropogen; 2 - Miocene, 3 - Paleogene; 4 - Upper Cretaceous, Upper Hauteriv-Barrem, Aalen; 5 - Cenomanian; 6 - Aptian-Albian; 7 - Bajocian; 8 - axis of anticlines and synclines; 9 - axis of the newly formed anticlines and synclines; 10 - faults; A, B - geological and structural profiles.

Полоса распространения интерференционной складчатости между реками Пшавская Арагви и Меджуда, в общем, имеет близширотное (аз. 270–275°) простирание. Далее до р. Малая Лиахви, в крайней западной части участка, его направление резко изменяется, и складки приобретают северозападную (аз. 300–310°) ориентировку. Изгибание простираний структур происходит вблизи восточного края Центральной части микроплиты ЧЗМ. В отмеченных выше границах складчатая система БК размещена в пределах Гагра-Джавской на юге и Местиа-Тианетской на севере тектонических зон.

В пределах первой зоны главным образом развиты ааленские песчано-глинистые отложения и байосская вулканогенная толща основного состава. Кроме того, здесь наблюдается несколько выходов, трансгрессивно залегающих на более древних породах меловых платформенных осадков мергелей и известняков. Здесь также распространены верхнеэоценовые отложения, несогласно перекрывающие ааленскую толщу, сложенные аргиллитами, мергелями, песчаниками и олистостромами с глыбами, в основном, верхнеюрских (оксфорд-титон) рифовых известняков. Общая видимая мощность мезозойско-кайнозойских отложений в Гагра-Джавской зоне составляет 1,5 км.

В Местиа-Тианетской зоне развиты отложения, согласно сменяющие друг друга: нижнемеловая (апт-альб) терригенная аргиллито-песчаниковая флишевая толща и верхнемеловые (сеноманмаастрихт) карбонатные флишевые отложения, представленные мергелями, известковыми песчаниками и известняками. Выше расположена палеогеновая (палеоцен-эоцен) терригенно-карбонатная толща, состоящая из аргиллитов, мергелей, песчаников и известняков. Суммарная мощность мелпалеогеновых флишевых отложений в этой зоне достигает более 3 км.

Развитая на рассматриваемой площади мощная мезозойско-кайнозойская флишевая толща сложно и своеобразно дислоцирована. Она образует ряд продольных полос развития различных по морфологии и ориентировке складчатости. В средней части участка расположена крупная, сложенная палеогеновыми отложениями, Садзегурская синклиналь, которая прослеживается, в общем, в субширотном направлении на всей его территории. Она представляет собой сильно сжатую, асимметричную, наклоненную на юг структуру, ширина которой 1–4 км. Простирается синклиналь, в целом, конформно южной границе складчатой системы БК. Аналогично, параллельно северному субширотному контакту Ксанского и Жинвальского шолей с БК, ориентирована интенсивно сжатая складчатость юра-палеогеновых отложений Гагра-Джавской тектонической зоны. Их интерференционная деформация выразилась только в изменении первоначального северо-западного направления на субширотное, происшедшем в результате вращения структуры против часовой стрелки в условиях косого субмеридионального сжатия.

Размещенные в пределах Местиа-Тианетской тектонической зоны к северу и югу от Садзегурской синклинали полосы развития апт-альбских флишевых отложений представлены широким спектром морфологически разнообразных структур. Поэтому они резко выделяются на фоне окружающей их однородной ранней линейной складчатости северо-западной ориентировки. На этих территориях наблюдается сонахождение линейных и нелинейных брахискладок, которые среди сложно дислоцированной нижнемеловой толщи, образуют прихотливо расположенные структуры, сложенные более молодыми отложениями.

Среди них в северной полосе отмечаются линейные, но сравнительно короткие и более широкие, антиклинали и синклинали, а также полускладки с отрезанными разрывами крыльями, простирание которых меняется в интервале азимутов 275–285°. Протяженность крупных структур достигают 8,5 км, а ширина их составляет 1–1,5 км. Более мелкие складки имеют длину до 5 км и ширину 0,5-1 км. В пределах южной полосы в междуречье Меджуды и Малой Лиахви, также распространены аналогичные линейные складки, но уже северо-западного (аз. 300–310°) направления. Длина их колеблется в пределах 5–7 км, а ширина равняется 0,8–2 км. В ядрах синклинальных структур расположены верхнемеловые и палеогеновые отложения, а в западных частях антиклиналей выходят нижнемеловые толщи.

Значительно более широким развитием на этом участке пользуются нелинейные брахиформные, преимущественно синклинальные, складки и полускладки, различных размеров, морфологии и ориентировки. Они имеют в плане весьма разнообразные овальные, линзовидные, округлые чашевидные и другие причудливые формы. Здесь складчатые структуры характеризуются отсутствием единого направления складок и субширотными (аз. 265–275°), северо-западными (аз. 285–290°, редко 300–320°), а также близмеридиональными (аз. 340–345°) простираниями. Длина развитых в северной полосе брахискладок составляет 1,5–4,5 км, а ширина – 0,5–1,3 км. В южной полосе, напротив Ксанского шоля, где направления этих структур северо-западные (аз.  $300-320^{\circ}$ ), протяженность их изменяется в пределах 0,8–2,1 км, а ширина – 0,4–0,8 км. Брахискладки, расположенные севернее Жинвальского шоля, имеют близширотные (аз.  $265-285^{\circ}$ ) ориентировки, и более крупные размеры: длину – 2,6–5 км, а ширину – 0,8-1 км. Для описанных выше структур характерно плавное изгибание осей складок в плане и развитие в периклиналях конгруэнтных значительно более мелких структур, размером до 100 м.

В пределах рассматриваемой площади отмечается ряд крупных региональных разломов взбросового и сбросового характера, имеющих субширотные и северо-западные простирания. Кроме того, в складчатой структуре широко распространены более мелкие, в основном, пологие сколовые близширотные разрывные нарушения, обладающие различной кинематикой. Такая совокупность развитых локально в разновозрастных толщах складок различной морфологии и ориентировки, указывает на существование на этом участке складчатой системы БК типичной интерференционной складчатости.

<u>Юго-Восточный Кавказ</u>. Интерференционная складчатость, развитая в данном сегменте, размещена в краевой восточной части Закатала-Ковдагской тектонической зоны южного склона БК в пределах Северного Кобыстана. Участок распространения этих структур в целом ориентирована в близком к широтному (аз. 265–280°) направлении, и простирается между р. Пирсагат и устьем р.



Сумгаит, на расстояние 75 км.

Его западная граница проходит по меридиану, расположенному вдоль долготного отрезка р. Пирсагат, а восточная - граничит с Апшеронским полуостровом. С севера он ограничен Алтыагат-Куркачидагской антиклинальной зоной, сложенной меловыми терригенно-карбонатными флишевыми отложениями. Она характеризуется развитием обычных первичных интенсивно сжатых линейных складок северо-западного (аз. 290-295°) простирания, шириной 4-6 км. Южная граница участка проходит по Зангинско-Герадильскому близширотному краевому разлому, по которому складчатая система Большого Кавказа контактирует с Кобыстанским шоли Черноморско-Закавказского микроконтинента (рис. 5). Максимальная ширина этой полосы отмечается на западе, где она достигает 16 км, а на востоке ее ширина уменьшается до 6 км. Размещенная в этих контурах по-разному ориентированная складчатая структура сложной морфологии имеет в общем дисгармоничное строение, по сравнению с окружающими ее с севера и запада ранними основными складками северо-западного направления.

Рис. 5. Схема геологического строения р. Пирсагат и устья р. Сумгаит участка БК (составлена по Геологической карте Азербайджанской ССР, ВСЕГЕИ, 1974; по материалам Мирчинк М.Ф., Шурыгин А.М., 1972).

1-антропоген, 2-акчагил-апшерон, 3-продуктивная толща; 4 – понт; 5 – тархан-чокрак, 6 – палеоцен и зоцен; 7 – сармат и меотис, олигоцен-нижний миоцен, даний, верхний и нижний мел; 8 – оси антиклиналей и синклиналей; 9 – оси новообразованных антиклиналей и синклиналей; 10 – разломы; 3-Г – Зангинско-Геральдинский; 11 – территория г. Баку. А, В – геолого-структурные профили. /

Fig. 5. Scheme of the geological structure of the river Pirsagat and the mouth of the river Sumgait GC segment. Compiled on the geological map of the Azerbaijan SSR, VSEGEI, 1974; based on materials Mirchink M.F., Shurygin A.M., 1972.

1 - Anthropogen, 2 - Akchagyl-Apsheron, 3 - productive stratum; 4 - Pontian; 5 - Tarkhan-Chokrak, 6 - Paleoceneand Eocene; 7 - Sarmatian and Meotis, Oligocene-Lower Miocene, Denian, Upper and Lower Cretaceous; 8 - axisof anticlines and synclines; 9 - axis of the newly formed anticlines and synclines; 10 - faults; Z-G - Zanginsk-Geralda; 11 - the territory of city Baku. A, B - geological and structural profiles.

Предыдущие исследователи рассматривали такую своеобразную аномальную складчатую структуру этого участка как прерывистую складчатость, образованную в результате несогласного наложения на первичную мезозойскую главную складчатость более молодых конседиментационных складок. Последние представляют собой отдельные самостоятельные мульды, которые формировались синхронно с накоплением кайнозойских осадков в поперечных меридиональных прогибах [Григорьянц, Хайн, 1958; Григорьянц, 1968; Мирчинк, Шурыгин, 1972].

Однако детальное изучение литературного геологического материала по Юго-Восточному Кавказу, а также структурный анализ существующих разномасштабных геологических карт региона, убедили авторов в том, что развитая на этом участке новейшая складчатая структура имеет не осадочное, а тектоническое интерференционное происхождение.

В геологическом строении, локального участка складчатой системы БК, расположенного к северу от Кобыстанскимшоли ЧЗМ, принимают участие верхнемеловые, палеогеновые и нижне-среднемиоценовые отложения. На разных уровнях стратиграфического разреза иногда наблюдаются трансгрессивные переходы между отдельными свитами, слагающими отдельные яруса мезозоя и кайнозоя.

Верхнемеловые (сеноман-маастрихт) породы занимают ограниченные площади и расположены только в антиклинальных структурах. Они представлены, в основном, карбонатными флишевыми толщами, сложенными из чередующихся слоев аргиллитов, песчаников, мергелей и известняков. Палеогеновые отложения (дат-олигоцен) имеют наиболее широкое распространение в пределах рассматриваемой территории. Они размещены, главным образом, в синклинальных структурах и характеризуются развитием, в основном, терригенных флишевых образований, состоящих из чередования аргиллитов, песчаников, гравелитов и конгломератов, редко мергелей и доломитов. Нижнесреднемиоценовые толщи развиты на небольших площадях и представлены терригенно-карбонатными отложениями, сложенными глинами, алевролитами, песчаниками, конгломератами, а также доломитами и известняками. Суммарная мощность всех этих отложений в рассматриваемой полосе колеблется в пределах 4,2-5,7 км. В отдельных складчатых структурах на нижележащих породах несогласно залегает маломощная (до 500 м) толща глин, песчаников, конгломератов, мергелей и известняков и известняков понтского яруса.

Эта мощная разновозрастная (верхний мел-средний миоцен) терригенно-карбонатная толща смята в многочисленные, различные по форме и величине, неодинаково ориентированные складки. Среди них, в северной части данного участка, выделяются линейно-вытянутые в основном в субширотном (аз. 275–280°) и северо-западном (аз. 290–300°) направлениях синклинали и антиклинали. Они, в отличие от главных линейных складок, имеют меньшие продольные и намного большие поперечные размеры. Эти складки являются наиболее крупными структурами в этой полосе, протяженность которых составляет 10–30 км, а ширина колеблется в пределах 0,5–6 км. Иногда их шарниры испытывают слабые изгибания, а на периклиналях часто наблюдается разветвление складок в плане, с образованием фестончатых окончаний структур.

В южной части участка отмечается смена плана складчатости и в его пределах, в основном, развиты по-разному расположенные на площади брахиструктуры. Среди них преобладают брахисинклинали, ядра которых слагают миоценовые отложения, а брахиантиклинали с палеогеновыми толщами в замках имеют более ограниченное распространение. По морфологии на этой территории выделяются различающиеся по размерам складки округлой, овальной и линзообразной формы. Некоторые брахискладки характеризуются чашевидными, каплевидными и подковообразными (horseshoe-shaped) очертаниями. В пределах межструктурного пространства наблюдается очень сложная складчатость, имеющая самую причудливую конфигурацию. На площади развития брахиструктур отмечаются различные ориентировки их осей. Здесь фиксируются складки субширотного (аз. 265–280°), северо-западного (аз. 285–295°, иногда 310–330°), юго-западного (200–250°) и близмеридионального (355–10°) простирания. В некоторых структурах наблюдается изгибание их шарниров в плане от субширотного (аз. 265–280°) до северо-западного (290–320°) направления.

В пределах рассматриваемой полосы развиты разнопорядковые складки, поэтому их размеры меняются в широких пределах. Более крупными являются различно вытянутые линзовидные структуры, длина самых больших из которых – 1,5–6,8 км, а иногда достигает 9–15 км. Ширина их, в основном, меняется в интервале 0,3-1 км и редко – 1,7–2 км. Сравнительно меньшие размеры имеют овальные брахискладки, протяженность которых составляет 1,2–6,7 км, а ширина изменяется от 1,1 км до 3,3 км. Кроме того, среди них выделяются и более мелкие структуры длиной 0,6–2,2 км и шириной 0,2–0,7 км.

Складчатая структура участка осложнена многочисленными региональными продольными разрывными нарушениями взбросового, сбросового и надвигового характера. Резкое различие в морфологии складчатости в его южных и северных секторах, указывает на изменение интенсивности интерференционных деформаций с юга на север. Сходные по морфологии брахиструктуры субширотного, в основном, направления, наблюдаются в палеоген-миоценовых отложениях в пределах Кобыстанской шоли, вдоль ее границы со складчатой системой БК. Формировались они, в краевой периферической менее погруженной части Куринской молассовой впадины, в результате субмеридиональной деформации, возникающей в зоне коллизии этих геоструктур.

Вышеотмеченные характерные морфологические особенности структуры этого локального участка складчатой системы БК, позволяют отнести ее к классическому типу интерференционной складчатости.

### Механизм формирования интерференционной складчатости

При определении возможного механизма образования интерференционной складчатости на БК в первую очередь необходимо учитывать альпийскую кинематику и геодинамику региона, поскольку она представляет собой отражение деформационных процессов. Выше было отмечено, что на ранней-среднеальпийской стадии происходило смещение целостного ЧЗМ в северо-восточном направлении, перпендикулярно к южной разломной границе БК и формирование сжатой линейной зональной складчатости северо-западной (аз. 290–310°) ориентировки. На позднеальпийском этапе геодинамические условия в регионе резко изменились, что выразилось в смене тангенциальных деформаций от северо-восточного на субмеридиональный [Giorgobiani, Zakaraia, 2013].

В обстановке близдолготного сжатия на коллизионной стадии произошло раздробление ранее единого ЧЗМ крутыми поперечными разломами на сравнительно узкие разновеликие блоки-шоли. Расположены они поперек южного краевого разлома и прослеживаются вдоль всей границы микро-континента с БК. Среди них, как указывалось выше, отчетливо выделяются: Туапсинская, Гудаутская, Ксанская, Жинвальская и Кобыстанская шоли [Гиоргобиани, 19996] (рис. 5). Названные структуры на новейшем этапе в условиях общей субмеридиональной деформации региона продвигались на север и внедрились в уже существующую линейную складчатую структуру южного склона БК [Гиоргобиани, 2005].

Направление субдолготного горизонтального перемещения этих мелких поперечных блоков (шолей-плит) было ориентировано примерно под углом 45° по отношению к северо-западному простиранию линейных структур ранней стадии. На тектонической границе участков соприкосновения шолей с соответствующими отрезками складчатой системы БК происходило интенсивное сжатие первичной складчатости. Особенно сильные деформации испытывали сегменты сравнительно узкой краевой части развития складок, прилегающих к зонам горизонтального сдвигания отдельных шолей. Вектор коллизионного горизонтального сжатия, вызванный движением блоков-плит в северном направлении, имел субмеридиональную (аз. 350–10°) ориентировку, что обусловило локальное новейшее складкообразование на участках интерференционного наложения дислокаций двух направлений. Повторное близдолготное косое сжатие структуры БК, в условиях разноплановой тангенциальной деформации, вызвало переориентировку и преобразование первичных линейных структур. В результате возникла новая типичная морфологически своеобразная интерференционная складчатость. В результате северного продвижения шолей ЧЗМ на этих участках происходила трансляция вглубь субмеридиональных сжимающих тангенциальных напряжений вкрест простирания складчатой системы БК. Поэтому интерференционные структуры хорошо выражены на расстоянии многих километров от места приложения тектонических усилий. В результате локального развития интерференционных деформаций складчатость приурочена только к участкам, прилегающим к шолевым образованиям и слагает прямолинейные субширотные отрезки на отдельных участках тектонической зоны соприкосновения БК и ЧЗМ. Следовательно, возникновение интерференционной складчатости на БК обусловлено проявлением в регионе на позднеорогенной коллизионной стадии процессов шолевой тектоники [Гиоргобиани, 19996]. Образование интерференционных структур осуществлялось в результате сложения разноплановых складчатых деформаций, происходящих на разных этапах альпийского тектонического цикла. Структурные данные позволяют предполагать, что формирование интерференционной складчатости в пределах южного склона БК происходило после среднего миоцена, в основном в предпозднеплиоценовой (роданской) фазе тектогенеза, и продолжается в современную эпоху.

### Заключение

Коллизионные структуры, в том числе и интерференционная складчатость, имеют очень важное значение при выяснении механизмов альпийского тектогенеза на БК. Существование интерференционных структур противоречит имеющимся в настоящее время представлениям о формировании складчатости БК в результате однопланового однократного или даже многократного однонаправленного или двухстороннего тангенциального сжатия. Установленная авторами и описанная выше интерференционная складчатость, в пределах южных периферических тектонических зон БК свидетельствует о проявлении в регионе более сложных деформационных процессов.

В течение альпийского цикла развития БК выделяются два независимых главных этапа тектогенеза, происходившие в разных кинематических и геодинамических условиях. Каждый этап, в свою очередь, включает несколько основных фаз складкообразования, выраженных внешним южным тангенциальным сжатием региона. Первый этап проходил на ранне-среднеальпийской и раннеорогенной стадии (юра-средний миоцен) в обстановке регионального северо-восточного сдвига жесткого ЧЗМ к выполненному мощными осадочными толщами большекавказскому прогибу. Протекало это во время проявления в регионе батской (предкелловейской), пиренейской и штирийской фаз складчатости. Сложение таких сходных последовательных деформаций привело к формированию основной линейно-зональной складчатости БК.

Второй этап, представляющий позднеорогенную стадию (поздний миоцен-антропоген), характеризуется сменой первоначального направления деформации сжатия с северо-восточного на субмеридиональное. Кроме того, в условиях коллизии ЧЗМ с БК, отмечаются локальные проявления процессов шолевой тектоники. В связи с этим, на отдельных участках южного склона БК наблюдались в основном сдвигания с севера, а иногда поддвигание шолей-плит под уже сформированную складчатую систему. Вследствие наложения на нее новейшей деформации образовались новые коллизионные структуры, в том числе и типичная интерференционная складчатость. Происходило это в период проявления аттической, роданской, валахской, пасаденской и четвертичной фаз складчатости.

Коллизионные локальные субмеридиональные блоковые деформации, вызывали деструкцию первичной приграничной с ЧЗМ краевой зоны региона. Это было обусловлено субширотной переориентировкой при вращении прилегающих к шолям участков первичной складчатой структуры БК.

Возникшая в результате этих процессов сжатия новейшая складчатость сложной морфологии, в совокупности с ранними более простыми линейными складками, слагают современную неоднородную складчатую структуру БК. Механизм формирования такой складчатости представляет собой сочетание разновозрастных, внешних односторонних, но разноплановых тангенциальных деформаций, происходящих в альпийском цикле на Большом Кавказе.

### Литература

1. Гиоргобиани Т.В. Интерференционные складчатые структуры Западной Абхазии. // Механизмы структурообразования в литосфере и сейсмичность. Тез. докл. – М.: ИФЗ АН СССР, 1991. – С. 33-34.

2. Гиоргобиани Т.В. Парагенезы коллизионных структур Кавказа. // Структурные парагенезы и их ансамбли. Матер. совещ. – М.: ГЕОС, 1997. – С. 39–41.

3. Гиоргобиани Т.В. Позднекайнозойская геодинамика Большого Кавказа. // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма. Т. 1. – М.: ГЕОС, 1999а. – С. 174–178.

4. Гиоргобиани Т.В. Шолевая тектоника Большого Кавказа и прилегающего Закавказья // Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма: Мат. Совещ. Т. І. – М.: ГЕОС, 1999б. – С. 178–181.

5. Гиоргобиани Т.В. Позднеколлизионные структуры Большого Кавказа. // Матер. XXXVII Тект. совещ. Эволюция тектонических процессов в исории Земли. Т. 1. – Новосибирск: ГЕО, 2004. – С. 94–96.

6. Гиоргобиани Т.В. Альпийская коллизионная геодинамика Большого Кавказа и прилегающего Закавказья. // Тектоника земной коры и мантии. Тектонические закономерности размещения полезных ископаемых. Т.1. – М.: ГЕОС, 2005. – С. 143–146.

7. Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Складчатая структура Северо-Западного Кавказа и механизм ее формирования. – Тбилиси: Мецниереба, 1989. – 60 с.

8. Григорьянц Б.В. Условия образования прерывистой складчатости в геосинклинальных областях на примере востока Большого Кавказа. // Геотектоника. – 1968. – №4. – С. 128–136.

9. Григорьянц Б.В., Хаин В.Е. Наложенная складчатость в геосинклинальных областях и некоторые условия ее образования. // Изв. вузов. Геология и разведка. – 1958. – №12. – С. 3–16.

10. Мирчинк М.Ф., Шурыгин А.М. Формирование структуры третичных и меловых отложений юго-восточного погружения Кавказа. – М.: Наука, 1972. – 60 с.

11. Островский А.Б., Бурлакин В.Е. Об интерференционных тектонических структурах (на примере южного склона Западного Кавказа. // Тез. Докл. IV Конф. по геологии и полез. ископ. Северного Кавказа. – Ессентуки. – 1974. – С. 96-97.

12. Паталаха Е.И., Слепых Ю.Ф. Пересекающаяся складчатость. – М.: Недра, 1974. – 118 с.

13. Adamia S.A. Plate tectonics and evolution of the Alpine system. Discussion. // Bull. Geol. Soc. America. – 1975. – V. 86. – Pp. 15–17.

14. Adamia S.A., Lortkipanidze M.B., Zakariadze G.S. Evolution of an active continental margin exemplified by the Alpine history of the Caucasus. // Tectonophysics. – 1977. – V. 40. No. 3-4. – Pp. 183–199.

15. Adamia S.A., Chkhotua T.G., Gavtadze T.T., Lebanidze Z.A., Lursmanashvili N.D., Sadradze N.G., Zakaraia D.P., Zakariadze G.S. Tectonic setting of Georgia-Eastern Black Sea: a review. // The Geological Society of London. – 2017. – Pp. 11–40.

16. Gamkrelidze I. Geodynamic evolution of the Caucasus and adjacent areas in Alpine time. // Tectonophysics. – 1986. – No. 127. – Pp. 261–277.

17. Gamkrelidze I. Geologic structure and evolution of the Republic of Georgia. // Encyclopedia of European and Asian regional geology. Chapman and Hall. – London. – 1997. – Pp. 256–261.

18. Gamkrelidze I.P., Giorgobiani T.V. Kinematics of the Alpine deformation of the Caucasus and adjacent areas. // Mechanics of Jointed and Faulted Rock. – Rotterdam. – 1990. – Pp. 183–186.

19. Giorgobiani T. Condition of formation of the Alpine structure of the North-Western Caucasus. // Geologica Balcanica. – 1995. – No. 25. – Pp. 27–34.

20. Giorgobiani T., Zakaraia D. Intersecting Fording of Some Tectonic Zones of the Greater Caucasus. // The problems of Geology of the Caucasus. International Science Conference. Proceedings. 25–27 November 2010. V. 1. – Tbilisi. – 2010. – Pp. 39–41.

21. Giorgobiani T., Zakaraia D. The Newest and Modern Tectonics of the Grater Caucasus and of the Adjacent Transcaucasus. // 1<sup>st</sup> International Conference and Workshop. Caucasus Active Tectonics and Magmatism. Hazards and Resources. 29 August-3 September. – Tbilisi. – 2013. – Pp. 17-18.

### References

1. Giorgobiani T.V. Interferential folded structures of Western Abkhazia. Mechanisms of structure formation in the lithosphere and seismicity. Proceedings. Moscow. IPE AS SSSR, 1991. pp. 33-34. (In Russ.)

2. Giorgobiani T.V. Paragenesis of the collision structures of the Caucasus. Structural parageneses and their ensembles. Conference Proceedings. Moscow. GEOS, 1997. pp. 39–41. (In Russ.)

3. Giorgobiani T.V. Late Cenozoic geodynamics of the Greater Caucasus. Tectonics, geodynamics and processes of magmatism and metamorphism. Vol. 1. Moscow. GEOS, 199a. pp. 174–178. (In Russ.)

4. Giorgobiani T.V. Scholle tectonics of the Greater Caucasus and adjacent Transcaucasia. Tectonics, geodynamics and processes of magmatism and metamorphism. Conference Proceedings. Vol. I. Mscow. GEOS, 199b. pp. 178–181. (In Russ.)

5. Giorgobiani T.V. Late Collision Structures of the Greater Caucasus. Proceedings. XXXVII Tectonic conference. The evolution of tectonic processes in the history of the Earth. Vol. 1. Novosibirsk: GEO, 2004. pp. 94–96. (In Russ.)

6. Giorgobiani T.V. Alpine collision geodynamics of the Greater Caucasus and adjacent Transcaucasia. Tectonics of the Earth's crust and mantle. Tectonic patterns of the location of minerals. Vol.1. M. GEOS, 2005. pp. 143–146. (In Russ.)

7. Giorgobiani T.V., Zakaraya D.P. The folded structure of the Northwest Caucasus and the mechanism of its formation. Tbilisi: Metsniereba, 1989. 60 p. (In Russ.)

8. Grigor'yants B.V. The conditions for the formation of intermittent folding in geosynclinal regions as exemplified by the east of the Greater Caucasus. Geotectonics. 1968. No. 4. pp. 128–136. (In Russ.)

9. Grigor'yants B.V., Khain V.E. Superimposed folding in geosynclinal areas and some conditions for its formation. Proceedings of universities. Geology and exploration. 1958. No. 12. pp. 3–16. (In Russ.)

10. Mirchink M.F., Shurygin A.M. The formation of the structure of the Tertiary and Cretaceous deposits of the southeast submergence of the Caucasus. M. Nauka, 1972. 60 p. (In Russ.)

11. Ostrovskii A.B., Burlakin V.E. On interference tectonic structures (on example of the southern slope of the Western Caucasus). Proceedings of reports, IV Conference on geology and mineral deposits of North Caucasus. Essentuki. 1974. pp. 96-97. (In Russ.)

12. Patalakha E.I., Slepykh Yu.F. Intersecting folding. Moscow. Nedra, 1974. 118 p. (In Russ.)

13. Adamia S.A. Plate tectonics and evolution of the Alpine system. Discussion. Bull. Geol. Soc. America. 975. Vol. 86. pp. 15–17.

14. Adamia S.A., Lortkipanidze M.B., Zakariadze G.S. Evolution of an active continental margin exemplified by the Alpine history of the Caucasus. Tectonophysics. 1977. Vol. 40. No. 3-4. pp. 183–199.

15. Adamia S.A., Chkhotua T.G., Gavtadze T.T., Lebanidze Z.A., Lursmanashvili N.D., Sadradze N.G., Zakaraia D.P., Zakariadze G.S. Tectonic setting of Georgia-Eastern Black Sea: a review. The Geological Society of London. 2017. pp. 11–40.

16. Gamkrelidze I. Geodynamic evolution of the Caucasus and adjacent areas in Alpine time. Tectonophysics. 1986. No. 127. pp. 261–277.

17. Gamkrelidze I. Geologic structure and evolution of the Republic of Georgia. Encyclopedia of European and Asian regional geology. Chapman and Hall. London. 1997. pp. 256–261.

18. Gamkrelidze I.P., Giorgobiani T.V. Kinematics of the Alpine deformation of the Caucasus and adjacent areas. Mechanics of Jointed and Faulted Rock. Rotterdam. 1990. pp. 183–186.

19. Giorgobiani T. Condition of formation of the Alpine structure of the North-Western Caucasus. Geologica Balcanica. 1995. No. 25. pp. 27–34.

20. Giorgobiani T., Zakaraia D. Intersecting Fording of Some Tectonic Zones of the Greater Caucasus. The problems of Geology of the Caucasus. International Science Conference. Proceedings. 25–27 November 2010. Vol. 1. Tbilisi. 2010. pp. 39–41.

21. Giorgobiani T., Zakaraia D. The Newest and Modern Tectonics of the Grater Caucasus and of the Adjacent Transcaucasus. 1st International Conference and Workshop. Caucasus Active Tectonics and Magmatism. Hazards and Resources. 29 August-3 September. Tbilisi. 2013. pp. 17-18.

= GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS =

VДК 551.435.627 DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44491</u>

## Review

# Complex Environmental Monitoring in Russia and India

## V.B. Svalova D<sup>1</sup>, V.B. Zaalishvili D<sup>2</sup>, G.P. Ganapathy D<sup>3</sup>, A.V. Nikolaev<sup>2,4</sup>, A.A.Ginzburg D<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, 13 Ulansky pereulok building 2, Moscow 101000, Russian Federation, e-mail: v-svalova@ mail.ru

<sup>2</sup> Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Center, Russian Academy of Sciences,

93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: cgi\_ras@mail.ru

<sup>3</sup>Centre for Disaster Mitigation and Management, Vellore Institute of Technology, Tamil

### Nadu, Vellore 632014, India;

<sup>4</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10/1 B. Gruzinskaya Str., Moscow 123995, Russian Federation

### Received: 03.09.2019, revised: 05.10.2019, accepted: 21.10.2019

Abstract: Relevance. Complex environmental monitoring is one of the main aspects of risk management concept. Natural hazards are potentially damaging physical events and phenomena, which may cause the loss of life, injury or human life disruption, property damage, social, economic, and political disruption, or environmental degradation. The study object is hazardous geological processes. Aim. To define the relationship between geological hazards and risks. Methods. Systematic approach to the natural hazards research on the base of risk concept is a very fruitful and progressive method. Areas of possible disaster events could be the places of the highest risk at the natural risk maps of the territories. Results. It is necessary to use big data bases and data banks and GIS technologies for such maps constructions. It is necessary for people leaving under natural risk to understand and estimate this risk and to know how to overcome it and how to act in case of crises events. Earthquakes, volcano eruptions, tsunamis, curst, suffusion, coast erosion, and landslides belong to geological hazards. The development of modern socio-economic system provides for the establishment and operation of such grand and environmentally hazardous facilities like pipelines, nuclear power plants, chemical industry, etc. Most ecologically dangerous objects or grandiose constructions are in seismic areas and tectonically active zone, in which there may be strong earthquakes, as well as landslides and mudflows. During operation it is necessary to ensure the safety of both the expensive facilities and safety of the environment. Under these conditions, the timely detection of dangerous earthquakes and giving alarms and automatic shutdown of environmentally hazardous facilities is a paramount task. Risk management concept is a good instrument for systematic approach to the problems of the rational land use. Monitoring systems elaboration and construction is designed to provide natural and man-made risk management and reduction for providing of sustainable development of environment and society.

Keywords: monitoring, risk, risk management, risk analysis, risk assessment, mapping, land use planning.

**Acknowledgments:** The research was supported by Russian Science Foundation (Project No. 19-47-02010 RSF-DST(2018): "Natural hazards and monitoring for mountain territories in Russia and India".

**For citation:** Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Ginzburg A.A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 87-101. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44491.

= ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА =

# VДК 551.435.627 DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44491</u>

### Обзорная статья

# Комплексный экологический мониторинг в России и Индии

В.Б. Свалова (D<sup>1</sup>, к.ф.-м.н., В.Б. Заалишвили (D<sup>2</sup>, д.ф.-м.н, проф., Г.П. Ганапати (D<sup>3</sup>, проф., А.В. Николаев<sup>2, 4</sup>, д.-ф.-м.н., проф., А.А. Гинзбург (D<sup>1</sup>)

<sup>1</sup>Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Россия, 101000, Москва,

Уланский переулок, 13, к. 2, e-mail: v-svalova@mail.ru;

<sup>2</sup>Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, ул. Маркова, 93а,

Владикавказ, 362002, e-mail: cgi\_ras@mail.ru;

<sup>3</sup>Центр по смягчению последствий стихийных бедствий и управлению,

Технологический институт Веллуру, Индия, 632014, Веллуру, Тамил Наду;

<sup>4</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва,

Большая Грузинская ул., 10

Статья поступила: 03.09.2019, после рецензирования: 05.10.2019, принята к публикации: 21.10.2019

Аннотация: Актуальность работы. Комплексный экологический мониторинг является одним из основных аспектов концепции управления рисками. Природные опасности - это разрушительные физические события и явления, которые могут привести к травмам или человеческим жертвам, материальному ущербу, социальным, экономическим и политическим потрясениям или ухудшению состояния окружающей среды. Объект исследования – опасные геологические процессы. Цель работы - найти взаимосвязи между геологическими опасностями и рисками. Методы исследования. Системный подход к исследованию природных опасностей на основе концепции риска является прогрессивным методом. Местами возможных стихийных бедствий могут быть районы наибольшего риска на картах природных рисков территорий. Результаты работы. Для построения таких карт необходимо использовать большие базы данных, банки данных и ГИС-технологии. Для населения, постоянно находящегося в условиях природных рисков, необходимо понимать и оценивать этот риск и знать, как его преодолеть и как действовать в случае кризисных явлений. Землетрясения, извержения вулканов, цунами, карст, суффозия, береговая эрозия и оползни относятся к геологическим опасностям. Развитие современной социально-экономической системы предусматривает создание и эксплуатацию таких крупных и экологически опасных объектов, как трубопроводы, атомные электростанции, химическая промышленность и т. д. Большинство экологически опасных объектов или грандиозных сооружений находятся в сейсмических районах и тектонически активных зонах, в которых могут происходить сильные землетрясения, а также сходить оползни и сели. Во время эксплуатации необходимо обеспечить безопасность, как дорогостоящих объектов, так и безопасность окружающей среды. В этих условиях своевременная регистрация опасных землетрясений и оповещение сигналом тревоги, а также автоматическое отключение экологически опасных объектов является первостепенной задачей. Концепция управления рисками является хорошим инструментом для системного подхода к проблемам рационального землепользования. Разработка и построение систем мониторинга призваны обеспечить управление и снижение естественных и техногенных рисков для обеспечения устойчивого развития окружающей среды и общества.

**Ключевые слова:** мониторинг, риск, управление рисками, анализ рисков, оценка рисков, картирование, планирование землепользования.

**Для цитирования:** Свалова В.Б., Заалишвили В.Б., Ганапати Г.П., Николаев А.В., Гинзбург А.А. Комплексный экологический мониторинг в России и Индии. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 86-101. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44491.

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-47-02010 RSF-DST (2018): «Природные опасности и мониторинг горных территорий в России и Индии».

### 1. Introduction

Natural hazards are potentially damaging physical events and phenomena, which may cause the loss of life, injury or human life disruption, property damage, social, economic, and political disruption, or environmental degradation.

Earthquakes, volcano eruptions, tsunamis, curst, suffusion, coast erosion, and landslides belong to geological hazards [Kutepov et al., 2002; Osipov et al., 2002; Wirtz et al., 2014].

The development of modern socio-economic system provides for the establishment and operation of such grand and environmentally hazardous facilities like pipelines, nuclear power plants, chemical industry, etc.

Most ecologically dangerous objects or grandiose constructions are in seismic areas and tectonically active zone, in which there may be strong earthquakes, as well as landslides and mudflows. During operation it is necessary to ensure the safety of both the expensive facilities and safety of the environment.

Under these conditions, the timely detection of dangerous earthquakes and giving alarms and automatic shutdown of environmentally hazardous facilities is a paramount task [Corominas et al., 2014; Ragozin, 2003; Svalova, 2014, 2015, 2016a-c, 2017a, b, 2018a-d, 2019; Svalova et al., 2019].

### 2. Monitoring Systems for Natural Hazards

# 2.1. Topsides Induced Acceleration Monitoring System for Oil and Gas Offshore Platforms – TIAMS

Analysis of seismological phone changes will give possibility to elaborate early warning system. Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS) has developed and delivered the "System monitoring acceleration induced on the upper part of the offshore oil and gas platforms" for deposits Lunskoe- A (LUN-A) and Piltun – Astokhskoye (PA-B) for Sakhalin-2 project. The System is intended to ensure the safety of the operation of these facilities. [Svalova, 2011, 2018b; Ginzburg et al., 2018a, b].

IEG RAS for many years carries out all the work necessary to create the monitoring of environmental and seismic safety,

In 2005-2006. IEG RAS has developed and delivered the "System monitoring acceleration induced on the upper part of the offshore oil and gas platforms" for deposits Lunskoe-A (LUN-A) and Piltun –



Astokhskoye (PA-B), located near about Sakhalin for Sakhalin-2 project. "System ...." is intended to ensure the safety of the operation of these facilities.

Fig. 1a. Sakhalin Island and oil-gas platforms.

According to the Sakhalin II Project Sakhalin Energy Investment Company is building offshore oil and gas platforms PA-B and LUN-A at the Sakhalin Island shelf.

The platforms are situated within the seismically dangerous area where destructive earthquakes are likely to occur.

Oil and gas platforms for deposits Lunskoe-A (LUN-A) and Piltun – Astokhskoye (PA-B) for Sakhalin-2 project are represented at Figures 1.

To reduce the risk of environmental accidents that can appear during oil and gas production the as a result of destructive earthquake Client took a decision to provide platforms with Topsides Induced Acceleration Monitoring System (further referred as TIAMS).



Fig. 1b. Platform for PA-B deposit



Fig. 1c. Commissioning works in South Korea.



Fig. 1d, e. Platform for Lunskoe-A (LUN-A) deposit.

Institute of Environmental Geoscience RAS has won the Tender for design, development and manufacturing of the TIAMS arranged by Sakhalin Energy Investment Company (SEIC). Basing on the technical assignment Information and Measuring Systems Department, IEG RAS has designed and manufactured in 2005-2006 TIAMS packages for two offshore oil and gas platforms near Piltun – Astokhskoe (PA B) and Lunskoe (LUN-A) fields.

LUN-A and PA-B platforms are very complicated constructions. Each platform has three decks of the

football ground size. The platforms are supported by four legs. Their diameters are from 16 to 24 meters, height is approximately 60 m; depth of the sea at the site is 30-35 m. The lower decks are placed at the height of  $\sim 27$  m, the upper decks are at the height of 50-60 m above the sea surface.

Friction pendulum bearings are placed at the tops of the legs to damp horizontal oscillations under seismic and load impacts to the platform supports.

The main function of the TIAMS is to determine dangerous earthquakes from other impacts induced to the platform (ice impacts, ship impacts, wave impacts, drill snatch, etc.) that can cause accelerations same to the dangerous earthquakes accelerations at the topsides of the platforms. In case the destructive earthquake has been detected and its acceleration level exceed the threshold of 0,5 g in any key point of the platform the TIAMS shall initiate the Emergency Shutdown signal (ESD).

In such away TIAMS shall provide safety of the oil and gas offshore platforms.

It is necessary to mention that there were no such systems in the world practice between earthquake detection systems that can detect earthquakes from other impacts that can cause the same accelerations as dangerous earthquakes.

During the first stage IEG RAS has done the following:

- Theoretical justification of the external non-seismic impacts to the platform, detection of their features: value and direction of the affecting forces and time dependences.

- Modelled of 17 variant of impacts using ABAQUS platform model developed by AMEC.

- Qualitative physical analyses of the topsides responses to the earthquakes and other impacts, detection of the main directions and methods of the mathematical processing of the modeling results.

- Developed the software program to process modeling results.
- Analyses of modeling results from seismic and non-seismic impacts.
- Determined the key point for the sensors and their numbers as 6.
- Developed requirements for sensors installation.
- Developed earthquake detection algorithm and algorithm of signal initiation

An experience in development of such systems and its operation in the severe environment are very important for solving the same problems at other hazardous ecological objects, such as atomic power plants, chemical plants, high dams and barrages. Such systems can also be used to provide safety of the mega polices.

### 2.2. Landslide Monitoring System for Coastal Slope of the River Yenissei

Experience of the System creation was used for real time early-warning landslide monitoring system construction. This system was successfully used for landslides monitoring of coastal slope of the river Yenissei.

A second example of environmental safety monitoring system is a system of monitoring of dangerous geological processes. The system is designed for monitoring of landslides coastal slope of the river Yenissei in real time. The system provides rapid collection of measurement data on the state of the observed landslides, processing and analysis of the distribution of monitoring results between users and controls the security of shopping and entertainment complex, located on the coastal slope.

Geohazards monitoring system designed to monitor landslides coastal slope of the river Yenissei in real time. The system provides rapid collection of measurement data on the state of the observed landslides, processing and analysis of the distribution of monitoring results between users and controls the security of "June" shopping and entertainment center, located on the coastal slope (Fig. 2a).

The monitoring system includes eight mass displacements of ground points, two points of monitoring changes in the level of groundwater and automatic workplace of geologist, provides organizations with the process of collecting, processing and distributing data and carrying out management of all its elements (Fig. 2b-d).

In order to collect and exchange information using cellular communications channels, which included two GSM-modems (primary and backup), and each control point it is a part of a GSM-modem.



Fig. 2a. Trade and amusement complex "JUNE", located on the monitored coastal slope of the river Yenissei.



Fig. 2b. The main window of the work program.

The system has two modes of user access to information. Access to each of the modes of operation is carried out by a password. The first mode of access – "Operator," which is only possible to view all parameters of the control points and the region, measurement data and alarms, and change the system configuration or structure of any device in this mode cannot be. The second access mode – "Administrator", in which it is possible to make a change of settings and system structure. To transmit alarm signals provided connectivity with unified duty-dispatch service of Krasnoyarsk by the Internet.

Equipment set deep frame is designed to measure linear displacement of soil that occurs when the landslide processes caused by natural and man-made causes, by its (linear movement) transformation into a digital code (Fig. 5b). The kit has controls equipment malfunctions and unauthorized access to and allows you to quickly transfer the alarm information. Complete registration of groundwater level is designed for continuous automated measurement level, water temperature and atmospheric pressure well and transfer the measurement results in digital form (Fig. 5b-d). The kit has fault controls equipment and unauthorized access to it.



Fig. 2c. Equipment set deep frame. Fig. 2d. Complete registration of groundwater levels.



Fig. 2e. Installation and commissioning of geohazards monitoring system (Ginzburg A.A.).



Fig. 2f. After installation and commissioning of geohazards monitoring system (Ginzburg A.A.).

The monitoring system has two operating modes: normal and abnormal. In any mode of functioning of the data from the hardware coastal slope control points are processed in real time. If the ground speed displacement mass or velocity of groundwater level changes less than a predetermined threshold, the information is recorded and subsequently subjected to analysis and comparison with data obtained previously. In another case, when the speed of the displacement of soil mass or rate of change of groundwater level with some – any control point exceeds a predetermined threshold, the equipment together with the data sends an alarm. Alarm is the basis for the transition to a freelance mode, in which decisions are made on a more detailed examination of the coastal slope and, if necessary, the evacuation of people from the building trade and entertainment complex "June" and further strengthening of the coastal slope (Fig. 2e,f).

### 2.3. Landslide Monitoring System for Objects of the 2014 Olympics in Sochi

It is necessary to elaborate specific monitoring system for every type of landslide. One of the case studies was mountain area of the 2014 Winter Olympics in Sochi, Caucuses. The landslide hazard is the main geologic hazard along the combined road from Adler to Krasnaya Polyana. The largest part of the area along the road is landslide-prone area and numerous landslides historically occurred on the bank slopes. At present, monitoring systems are installed at a number of Olympic structures (Fig. 3).



Fig. 3a. Ski slope.



Fig. 3b. Bobsleigh track.



Fig. 3c. Bobsleigh track.



Fig. 3d. Ski jump.



Fig. 3e. The location of landslide sites along the combined road from Adler to Alpika-Service (Krasnaya Polyana).

Also monitoring systems were used during constructing the roads. They include an automatic monitoring of main parameters which characterize the state of the landslide area at each moment.Numerous factors contribute to such an active development of landslides in the region, such as a high degree of bedrock weathering on slopes. Abundant rainfalls and saturation of cover sediments also lead to the formation of numerous cracks and sliding.Nine landslide sites have been detected along the route of the combined road during geological investigations.

It was determined that the most widespread type of landslides within the study area is a debris slide. Several sites, especially ones at the beginning of the route, exhibited block-type landslides of compressionextrusion. The investigations have shown that on landslide slopes with relatively long-time displacements and with periodic changes in displacement conditions, the acceleration of a displacement velocity up to hazardous levels may lead to the initiation of the sliding in new areas near upper and side borders of an active landslide. This increase of the size of a landslide can result in a catastrophic destruction.

Two general methods of observations were accepted in the automatic monitoring system, set along the combined highway and railway: 1) extensometric arrays (providing automatic measurements of displacements over the surface of a landslide prone slopes), and 2) inclinometric measurement in drills (supplying measurements of sliding parameters vs depth, some in manual and automatic modes). The results of research have shown that the most useful parameters related to the characterization of an active landslide state and sliding dynamics, including the progressing development of a landslide during activation, are: landslide displacement velocity, depths of slip surfaces and propagation of active displacements within the territory.

Landslide hazard criteria were proposed for the constructions of the road based on the monitoring data of an active landslide at one of the study sites along the railway from Adler to Krasnaya Polyana. These criteria are based on measurements of displacement velocities and distribution of landslide deformations (including new volumes of ground masses involved along the margins of active landslides) with area and dept.As a result, several monitoring methods as related to the landslide hazard were recommended along the Adler-Krasnaya Polyana railway: automatic observations of displacements over the slope surface using extensometers;inclinometers (during site visits and in partly automatic mode).

### 2.4. RUSSIA-TURKEY GAS PIPELINE "BLUE STREAM" MONITORING SYSTEM

The construction of the Russia-Turkey gas pipeline "Blue Stream" was accomplished in 2002 (Fig. 4). The pipeline route of a total length of 1226 km crosses the Black Sea. The pipeline consists of two pipes

each 610 m in diameter. The project volume of transported gas is equal to 16 billion cubic m per year. When approaching the Black Sea, the pipeline crosses the northwestern slopes of the Big Caucasus Ridge, where landslides are widespread. Thirty-five landslides are registered at this section of the pipeline route, 7 of them being the most hazardous. The on-line operating automatic control system of landslide processes was projected for these sites. The following registering devices were installed at each of the 7 sites:the seismic acoustic control unit; the inclinometric control unit; the groundwater level control unit.



Fig. 4a. "Blue Stream" scheme.



Fig. 4b. "Blue Stream" during construction.



Fig. 4c, d. The compressor station "Beregovaya," view from the sea. Visible glade in which the buried pipeline.

Each unit was disposed in a separate borehole drilled in the landslide-prone slope. The equipment of each borehole provides the control of only one parameter. The measurement complex included the gauge of seismic acoustic emission and two units of data registration and collection. A special hydrogeodynamic gauge was used for measuring the groundwater level, and the tree-point extensometer was applied for rock mass displacement measurement. The measured data are communicated to the monitoring center, where they are processed using the special software.

In addition to the surface automatic control, the remote sensing control based on the high-resolution space and aerial survey is used. The remote survey data are also processed using the special software. The developed monitoring system permits to control the conditions of the landslide-prone slopes and thus ensure the safety of pipeline operation at the site of high geological risk.

### 1.5. EASTERN SIBERIA-PACIFIC OCEAN OIL PIPELINE

Similar monitoring system was elaborated and constructed for ESPOOP. The Eastern Siberia–Pacific Ocean oil pipeline (ESPO pipeline or ESPOOP) is a pipeline system for exporting Russian crude oil to the Asia-Pacific markets (Japan, China and Korea). The pipeline is built and operated by Russian pipeline company Transneft. The 4,857-kilometer pipeline is being laid by the route of Taishet-Kazachinskoye-Skovorodino-Kozmino. Because of protests of environmental organizations, the initial pipeline route was moved 40 kilometers north of Lake Baikal (Figures 5).

The pipeline consist of 32 pumping stations, including 13 with tank farms with a total capacity of 2.67 million cubic meters. For feeding pumping stations with electricity, a 35 MW power station was built near the town of Olyokminsk in the Sakha Republic. It is fired by the crude oil from the ESPO pipeline. The power station is designed for independent operation in demanding Arctic temperature conditions.

During the construction of pipelines it arises the necessity of laying tracks on sloping areas or near them (at the intersection of rivers, construction along the coast, etc.) (Fig.5).

IEG RAS provided geological research before and during ESPOOP construction and elaborated ESPOOP monitoring system.



Fig. 5a, b. Eastern Siberia–Pacific Ocean oil pipeline.









Fig. 5c, d, e, f. ESPOOP construction.

# 3. Monitoring in India.

According to the United Nations Environment Program (UNEP), most of disasters happen in developing nations like in India and it is always the poorest who are most at risk like the hilly region habitants of Uttarakhand. These are getting both frequent and more serious. Since 1990, their number increased threefold and their cost, in real terms, rose ninefold culminating into economic losses from weather-related disasters exceeding those for the previous decade. As the population and poverty is increasing in the hilly regions of Uttarakhand, more and more people are having to live on vulnerable land of hill slopes. The earth's natural defenses against disaster are becoming even more eroded due to deforestation. Even, the global warming is playing an important role in controlling the weather conditions of this area.

### 3.1. Geological Setting of the Uttarakhand Area

The focus is on the Sub-Himalaya and Lesser Himalayan terrain. From south to north, the following sub-divisions of the Himalaya are generally recognized:

1. Sub-Himalaya – refers to southern most part of Himalaya and is demarcated to the south by the alluvial piedmont. To the north, the Sub-Himalaya is delineated by a tectonic Main Boundary Thrust (MBT). The Sub-Himalayan belt consists predominantly of fluvial sequences which have been deposited in the Neogene.

2 .Lesser – Himalaya – refers to the litho-tectonic province which is demarcated to the south by the MBT and is separated to the north by the Main Central Thrust (MCT). It predominantly consists of Proterozoic – Cambrian shelf to shallow marine sequences deposited in two main belts viz; the inner carbonate belt and the outer Krol belt.

- 3. Higher Himalaya
- 4. Tibetan Tethys Himalaya
- 5. Indus Suture Zone.

Of these, the first two are of relevance to present investigations. The following Fig.6 shows five seismic zones divisions (I to V) and the area of Sub and Lesser – Himalaya in Uttarakhand lying in the northern part of India which is falling under Zone IV indicated by the green color).



Fig. 6. Seismic Zones of India (Green color shows the highest seismic activity zone – Utaarakhand lies in this zone)

### **3.2. Monitoring the Damage by Space-Based Satellite**

In a bid to quantify the extensive damage due to deforestation and incessant rain, the Uttarakhand state government is now forced to seek help of state-of-the-art space based satellite technology [Sharma, Singh, 2013]. Such a sophisticated technology is being used in the Central Himalayan region to assess the natural as well as the human induced damages. The monitoring and assessing the damage of Central Himalayan region through satellite imagery is more relevant than physical land verification because most of the areas are inaccessible due to poor communication. The state government has acquired a Canadian Satellite Radar Sat-II, which is a high resolution satellite fitted with the highly sensitive cameras, that can easily take high resolution physical pictures of the damages caused to the roads, properties, agricultural lands etc. by landslides and flash floods etc. The satellite is being used to provide data pertaining to the rising water levels in all the big dams dotting the Uttarakhand Himalaya including the Tehri dam (260 m high Large Tehri Dam on one of the tributaries of the river Ganges in Central Himalayan Region, is the highest in this part of world) as well as the damages the landslides triggered by these overflowing reservoirs have caused in villages in their vicinity. Besides, there is one more major advantage of carrying out this type of scientific assessment that relates to getting a correct picture of the extent of the damage that would be done by the construction of medium and big dams to the region's fragile hills. Once that is known, it would be easy to take necessary measures required to build such hydropower projects without causing damage to the environment. One of the major monitoring strategies could be through micro zonation approach. Satellite imagery can help both the monitoring and measuring of soil erosion.

Number of eco-task force have been created by the Government of India by enacting "The Forest Conservation Act, 1980" to conserve the forests for protecting the valuable soil cover, acquiring fresh water and air, shelter, and a clean and healthy environment.

### Conclusions

Risk management concept is a good instrument for systematic approach to the problems of the rational land use. Measures for risk reduction could belegislative; organizational and administrative; economic, including insurance; engineering and technical; modeling; monitoring; information. Monitoring system organization and construction is one of the most important method for natural hazards forecasting, prognosis and early warning.

The "System monitoring acceleration induced on the upper part of the offshore oil and gas platforms" for deposits Lunskoe- A (LUN-A) and Piltun – Astokhskoye (PA-B) for Sakhalin- 2 project have been developed and constructed by Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS (IEG RAS). The system was successfully modified for landslides alarm monitoring and used for coastal slope of the river Yenissei and for a number of large industrial objects and urban areas.

It is impossible to stop natural disasters to occur but it is possible to mitigate the damage caused by them. Landslides and debris floweffects can be mitigated by effectively controlling deforestation. Balance is required between development and protection of natural resources in the Himalayan region.

Monitoring through Canadian Satellite Radar Sat-II which is being used in the Central Himalayan region has helped in taking appropriate steps, as some of the human activities had an impact on increasingly instability of slopes, making them susceptible to potential degradation by run off through flash floods, sheet erosion and massive landslides.

### References

1. Corominas J., van Westen C., Frattini P., Cascini L., Mallet J.-P. et al. Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and Environment. 2014. No. 73(2). pp. 209–263.

2. Ginzburg A., Nikolaev A., Svalova V., Manukin A., Savosin V. TXT-tool 2.007-1.1: Monitoring Alarm System of Landslide and Seismic Safety for Potentially Hazardous Objects. In: Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools. Springer. 2018a. pp. 309–325.

3. Ginzburg A., Nikolaev A., Svalova V., Postoev G., Kazeev A. TXT-tool 2.007-1.2 Landslide and Seismic Monitoring System on the Base of Unified Automatic Equipment. In: Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools. Springer. 2018b. pp. 327–340.

4. Kutepov V.M, Sheko A.I., Anisimova N.G., Burova V.N., Victorov A.S. et al. Natural hazards in Russia. Exogenous geological hazards. Moscow. KRUK. 2002. 345 p.

5. Osipov V.I., Shojgu S.K., Vladimirov V.A., Vorobjev Yu.L., Avdod'in V.P. et al. Natural hazards in Russia. Natural hazards and society. Moscow. KRUK. 2002. 245 p.

6. Ragozin A. (ed). Natural hazards of Russia. Evaluation and management of natural risk. Moscow. KRUK. 2003. 316 p.

7. Sharma S.K., Singh S. Landslide Monitoring in the Himalayan Region, India. In: Landslide Science and Practice. Springer. Berlin, Heidelberg. 2013. pp. 99–103.

8.Svalova V.B. Monitoring and modeling of landslide processes. Monitoring. Science and technology. 2011. No. 2(7). pp. 19–27.

9. Svalova V.B. Modeling and Monitoring for Landslide Processes. Chapter in book: Natural Disasters – Typhoons and Landslides – Risk Prediction, Crisis Management and Environmental Impacts. Editor: K. Linwood, Nova Science Publishers, NY USA. 2014. pp. 177–198.

10. Svalova V.B. Monitoring and reducing the risk of landslides in Taiwan. Monitoring. Science and technology. 2016a. No. 3. pp. 13–25.

11. Svalova V.B. Risk analysis, evaluation and management for landslide processes. Sciences of Europe(Praha, Czech Republic). 2016b. Vol. 4. No. 6(6). pp. 15–25.

12. Svalova V.B. Landslides modeling, monitoring, risk management and reduction. EESJ(East European Scientific Journal, Poland). 2016c. No. 7(11). pp. 43–52.

13. Svalova V.B. Landslide Risk: Assessment, Management and Reduction. Nova Science Publishers. New York. 2017a. 253 p.

14. Svalova V.B. Landslide Risk Analysis, Management and Reduction for Urbanized TerritoriesProceedings of WLF4 (World Landslide Forum 4). Springer. Ljubljana, Slovenia. 2017b. pp. 439–445.

15. Svalova V.B. (ed.) Risk Assessment. In-Tech. 2018a. London, UK. 380 p.

16. Svalova V. TXT-tool 3.007-1.1: Mechanical-Mathematical Modeling and Monitoring for Landslide Processes. In: Sassa K., Tiwari B., Liu KF., McSaveney M., Strom A., Setiawan H. (eds) Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools. Springer. 2018b. pp. 315–319.

17. Svalova V.B. Landslide risk management and crises events. In: Crisis Management. Theory and practice. ISBN: 978-953-51-6103-5. Edited by: Katarina HollaInTech. 2018c. pp. 239–258. DOI: 10.5772/ intechopen.79181.

18. Svalova V. (editor). Earthquakes - Forecast, Prognosis and Earthquake Resistant Construction.2018d. InTech. London, UK. 320 p.

19.SvalovaV. (ed.) Natural Hazards and Risk Research in Russia. 2019. Springer book: 86943020. Switzerland. 400 pp.

20. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Melkov D.A. Landsliderisk in mountain areas. Geology of the South of Russia. 2019. No. 9(2). pp. 109–127.

21. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vandekerckhove L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. Landslides. 2015. Vol. 12. No. 4. pp. 787–798.

22. Wirtz A., Kron W., Löw P., and Steuer M. The need for data: natural disasters and the challenges of database management. Natural Hazards. 2014. No. 70. pp. 135–157.

= ГЕОФИЗИКА =

# УДК 504.064.37 DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44492</u>

### Оригинальная статья

Методы дешифрирования геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов на основании данных дистанционного зондирования земли

А.В. Иванов (), к.т.н., А.В. Стриженок (), к.т.н., И.К. Супрун (), к.т.н.

Санкт-Петербургский горный университет, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, д. 2, e-mail: www.igor\_suprun@mail.ru

Статья поступила: 19.09.2019, после рецензирования: 27.10.2019, принята к публикации: 07.11.2019

Аннотация: Актуальность работы. В последние десятилетия наблюдается устойчивая тенденция к значительному увеличению объемов добычи и переработки минерального сырья, что, в свою очередь приводит к увеличению объемов промышленных отходов, преобладающим способом утилизации которых является наземное размещение в виде техногенных массивов. Такие техногенные массивы особенно сильно подвержены риску возникновения чрезвычайных ситуаций, которые могут повлечь за собой значительный социальный, экологический и экономический ущерб. В этой связи особую актуальность для общества, экономики и государства приобретает разработка и внедрение на территории воздействия хранилищ промышленных отходов систем экологического мониторинга, позволяющих оперативно выявлять источники техногенной нагрузки и осуществлять своевременную их ликвидацию. Одной из наиболее инновационных и развивающихся сфер экологического мониторинга на сегодняшний день является мониторинг состояния компонентов природной среды на основании данных дистанционного зондирования Земли, разработка которого является целью работы. Объект исследования – изучение и анализ геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов. Методы исследования: визуальное и автоматизированное (компьютерное) дешифрование космоснимков. Под визуальным дешифрированием понимается процесс, выполняемый оператором. В противоположность этому автоматизированное (компьютерное) дешифрирование – это программная обработка снимков на компьютере при помощи специальных программ. Результаты работы. В данной работе представлены основные методы дешифрирования геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов на основании данных дистанционного зондирования Земли. Наиболее достоверным методом дешифрирования геоэкологических условий является работа с данными многовременной космосъёмки. Данный метод позволяет определить не только качественные, но и количественные показатели экологического состояния территории, а также динамику изменения этих показателей.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, дистанционное зондирование земли, визуальное дешифрирование, автоматизированное дешифрирование, классификация, многовременная космосъёмка.

**Для цитирования:** Иванов А.В., Стриженок А.В., Супрун И.К. Методы дешифрирования геоэкологических условий территорий горнопромышленных комплексов на основании данных дистанционного зондирования земли. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 102-110. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44492. = GEOPHYSICS =

## DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44492

## Original paper

# Methods of decoding of the geoecological conditions of territories of mining complexes based on the data of Earth remote sensing

# A.V. Ivanov (D), A.V. Strizhenok (D), I.K. Suprun (D)

## St. Petersburg Mining University, 2 21st Line, St Petersburg 199106, Russian Federation, e-mail: www.igor\_suprun@mail.ru

Received: 19.09.2019, revised: 27.10.2019, accepted: 07.11.2019

Abstract: Relevance. The steady significant increasing tendency of the volume of extraction and processing of mineral raw materials on our planet is observed in recent decades. Therefore it leads to an increase in the volume of industrial waste, a predominant disposal method of which is the placement on the Earth surface in the form of anthropogenic arrays. Such anthropogenic arrays are especially subjecting to the risk of emergencies, which can entail significant social, environmental and economic damage. Therefore the development and implementation of the environmental monitoring system on the territory affected by industrial waste storages, which can quickly identify sources of anthropogenic load and carry out their timely elimination, is of particular relevance for the society, the economy and the state. Aim. To monitor the state of components of the environment based on remote sensing data is one of the most innovative and developing areas of environmental monitoring today. The study object is exploration and analysis of the geoecological conditions of the territories occupied by mining structures. Methods. Visual and automated (computer) decryption of space images. Visual decryption refers to the process performed by the operator. In contrast, automated decryption is the software processing of images on a computer using special programs. Results. This paper presents the main methods of decoding of the geo-ecological conditions of territories of mining complexes based on the data of earth remote sensing. The most reliable method of geoecological conditions` decryption is working with data from multi-temporal satellite imagery. This method allows determining not only qualitative, but also quantitative indicators of the ecological condition of the territory, as well as the dynamics of changes in these indicators.

**Keywords:** environmental monitoring, Earth remote sensing, visual decoding, automated decoding, classification, multitime satellite imagery.

**For citation:** Ivanov A.V., Strizhenok A.V., Suprun I.K. Methods of decoding of the geoecological conditions of territories of mining complexes based on the data of earth remote sensing. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 102-110. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44492.

### Введение

Фонд данных дистанционного зондирования земли сегодня очень обширен, представлен несколькими десятками различных спутниковых с и позволяет получать снимки отдельных территорий в кратчайшие сроки, а главное с фиксированной регулярностью [Данилов и др., 2018]. В этой связи данные космосъёмки являются одним из наиболее достоверных источников информации при экологическом картографировании и дешифрировании геоэкологических условий [Бибаева, 2017].

Однако одно только наличие космоснимка не позволяет сделать вывод об экологическом состоянии рассматриваемой территории или установить какие-то количественные показатели. Все полученные материалы космосъёмки должны пройти соответствующую камеральную обработку, которая позволит качественно и количественно оценить изменение геоэкологических условий [Ямашкин, Ладанова, 2019].

Несмотря на глобальную компьютеризацию, на сегодняшний день визуальное дешифрирование считается более надежным, а по мере все более широкого использования снимков со сверхвысоким пространственным разрешением роль визуального дешифрирования возрастает [Seward et al., 2018]. Это объясняется тем, что способности человека анализировать изображение пока существенно превосходят возможности вычислительной техники [Стриженок, Воронова, 2015].

Все разнообразие приемов и способов дешифрирования космоснимков сводится к двум основным методам: визуальному и автоматизированному. Одно из основных преимуществ визуального метода дешифрирования перед автоматизированным заключается в легкости получения пространственной информации [Absalon et al., 2014]. Оператор без труда определяет форму, относительные размеры объектов и особенности их распределения. Другое несомненное преимущество визуального способа – одновременное использование всей совокупности дешифровочных признаков, в особенности косвенных [Wang, Liu, 2016]. Также при помощи компьютера невозможно выполнить процессы логического мышления, которые позволяют человеку извлекать из снимка информацию не только об объектах и их свойствах, но и о процессах и явлениях [Семячков и др., 2018].

К преимуществам компьютерного метода дешифрирования можно отнести возможность преобразования яркостей цифровых снимков для улучшения их восприятия, а также разнообразные математические операции, классификацию по заданным признакам [Sims, Colloff, 2012]. Несомненны преимущества этого метода при обработке многозональных снимков и, особенно, при сопоставлении разновременных съемочных и картографических материалов с целью изучения изменений объектов [Laefer, 2019].

Визуальное дешифрирование основывается на выделении дешифровочных признаков. Дешифровочные признаки принято делить на прямые и косвенные. Прямые дешифровочные признаки – это свойства объекта, находящие непосредственное отображение на снимках. К ним относятся геометрические (форма, тень), яркостные (уровень яркости, цвет, спектральный образ) и структурные (текстура, структура, рисунок) [Дуров, 1998].

Форма – наиболее надежный и не зависящий от условий съемки признак. С изменением масштаба снимков форма объекта на нем может несколько изменяться, за счет исчезновения деталей она упрощается. Форма в плане часто используется при распознавании объектов, связанных с деятельностью человека, поскольку они, как правило, имеют форму, близкую к правильной геометрической [Мочалов и др., 2016].

Тень – дешифровочный признак, позволяющий судить о пространственной форме объектов на одиночном снимке. Различают собственную тень - часть объекта, не освещенную прямым солнечным светом, и падающую – тень от объекта на земной поверхности или поверхности других объектов. Собственная тень позволяет судить о поверхности объектов, имеющих объемную форму: резкая граница тени характерна для угловатых объектов, например крыш домов, а размытая свидетельствует о плавной поверхности, например крон деревьев [Jiang et al., 2019].

Падающая тень в большей степени характеризует вертикальную протяженность, силуэт объекта.

Яркостные дешифровочные признаки связаны со спектральной отражательной способностью, которая фиксируется на снимке в зависимости от вида съемки и типа материала, используемого при дешифрировании [Peng et al., 2016]. Отражательные свойства объектов не постоянны во времени, зависят от высоты Солнца, прозрачности атмосферы, фазы вегетативного развития и других факторов. Изменчивостью спектральной яркости объектов, а также неоднозначностью изобразительных свойств съемочных систем объясняется невысокая надежность яркостных дешифровочных признаков [Волкодаева, Киселёв, 2017]. Яркостные дешифровочные признаки одного и того же объекта на разных снимках могут сильно варьировать, но, несмотря на это, они широко используются при визуальном дешифрировании, а при компьютерном в настоящее время являются основными. Зависимость спектральной яркости основных природных объектов от длины волны представлена на рисунке 1.



*Puc. 1. Зависимость спектральной яркости основных природных объектов от длины волны. / Fig. 1. Dependence of the spectral brightness of the main natural objects on the wavelength* 

Структурные признаки являются отражением реально существующих ландшафтных рисунков, горизонтальной ландшафтной дифференциации. На снимке эти признаки представляют собой сочетание изображений объектов и их частей определенной формы, размера и тона (цвета), дополняя его новым свойством — пространственным распределением элементов изображения, их размещением, повторяемостью. Благодаря этим свойствам структурные признаки мало зависят от условий освещения, сезона и технических параметров съемки, несмотря на изменчивость отдельных составляющих изображения, поэтому их принято считать надежными дешифровочными признаками. Относительно мелкие элементы на снимке, у которых распознаются форма и размер, образуют структуру изображения. Типичным примером служат изображения лесных насаждений на аэроснимках и космических снимках сверхвысокого разрешения [Жигульский, Коновалов, 2012].

Несколько разных структур часто формируют довольно устойчивые сочетания, типичные для определенных объектов земной поверхности. Такие сочетания называют рисунком изображения. В рисунке находят отражение как природные особенности территории (структура почвенного и растительного покрова, распределение геоморфологических элементов, литологические особенности слагающих пород, тектонические условия), так и пространственные взаимоотношения объектов антропогенного происхождения. Очень часто рисунок изображения территории определяется ее рельефом и растительностью [Коробова, Ткачева, 2016].

Наличие взаимосвязей и взаимообусловленности всех природных и антропогенных свойств территории служит методологической основой дешифрирования по косвенным признакам. В качестве косвенных обычно выступают прямые дешифровочные признаки других объектов, называемых индикаторами. Интерпретировать изобразившийся на снимке объект можно по его географической приуроченности, местоположению.

Косвенные признаки условно делят на три группы: индикаторы объектов, индикаторы свойств объектов и индикаторы движения или изменений. Так, индикатором административных и государственных границ могут служить различия в нарезке сельскохозяйственных полей, структуре организации территории, состоянии растительного покрова. По косвенным признакам определяют скрытые свойства отчетливо читающихся на снимке объектов. Чаще это относится к объектам хозяйственной деятельности [Корельский и др., 2018].

Автоматизированное (компьютерное) дешифрирование основано на использовании цифровых снимков. Компьютерная обработка материалов дистанционного зондирования включает геометрические и яркостные преобразования и классификацию [Chevrel, Bourguignon, 2016].

Большинство яркостных преобразований направлено на улучшение качества изображения для визуального дешифрирования на экране, но иногда путем преобразований можно получить нужный окончательный результат. Среди наиболее часто применяемых преобразований – повышение контрастности снимка для его наилучшего отображения, выполняемое путем изменения гистограммы значений яркости; фильтрация, квантование снимка по яркости, синтезирование цветных изображений, слияние (синергизм) снимков с разным пространственным разрешением, создание индексных изображений [Ямашкин, 2015].

Квантование – способ яркостных преобразований одиночного снимка, заключающийся в группировке уровней яркости в несколько относительно крупных ступеней. В результате такого преобразования получают новое изображение, на котором мелкие детали исчезают, постепенное изменение яркости заменяется четкой границей, закономерности распределения яркостей на снимке становятся более отчетливо выраженными. Весь интервал яркостей может быть разделен на равные ступени. Но в большинстве случаев лучшего эффекта можно достигнуть, если границы новых ступеней выбирает дешифровщик, пользуясь при этом гистограммой или измеряя на снимке интервалы яркостей для каждого из интересующих его объектов. Квантование чаще используют в случаях неопределенных границ, постепенных переходов [Chen, 2019].

Яркостные преобразования многозонального снимка преследуют две основные цели: сжать информацию, т.е. получить одно изображение вместо нескольких, или улучшить визуальное восприятие снимка.

Синтез цветного изображения – простой и наиболее широко применяемый вид преобразования, при котором изображению в каждом из съемочных каналов присваивается свой цвет. Наиболее часто для синтеза используются зоны 0,5–0,6; 0,6–0,7 и 0,8–1,1 мкм или аналогичные им, которым присваивают соответственно синий, зеленый и красный цвета. Пример создания снимка с таким синтезом цветов представлен на рисунке 2.



Рис. 2. Создание цветного синтезированного изображения: 1 – панхроматический канал; 2 – цветное синтезированное изображение. /

Fig. 2. Creating a color synthesized image: 1 – panchromatic channel; 2 – color synthesized image

Растительность на изображении имеет красные тона, что объясняется ее высокой яркостью в ближней инфракрасной зоне спектра. Если изменить комбинацию съемочных каналов и цветов и присвоить инфракрасной зоне зеленый цвет, можно получить цветопередачу, близкую натуральной. Синтезировать можно не только зональные снимки, составляющие многозональный, но также разновременные снимки и изображения, полученные в результате более сложных преобразований.

Для улучшения пространственного разрешения цветного изображения выполняется операция, называемая улучшением пространственного разрешения. Это другой вариант создания одного изображения из трех – одного с высоким разрешением (обычно это снимок в панхроматическом канале, но может быть и снимок другой съемочной системы, например радиолокационный), и двух зональных снимков, например в инфракрасном и красном каналах.

Математические операции с матрицами значений яркости пикселей двух цифровых снимков (сложение, умножение и др.) также относятся к простейшим преобразованиям. Наиболее часто вы-

числяется отношение значений яркости двух зональных изображений при работе с многозональными снимками и вычитание – при анализе двух разновременных.

Широко распространено определение индексов, т.е. преобразование изображений, основанных на различиях яркости природных объектов в двух или нескольких частях спектра. Наибольшее количество индексов относится к дешифрированию зеленой, вегетирующей растительности, отделении ее изображения от других объектов, в первую очередь от почвенного покрова и водной поверхности.

Вегетационные индексы основаны на отношениях значений яркости в спектральных зонах, наиболее информативных для характеристики растительности – красной и ближней инфракрасной. Наиболее часто используют нормализованный разностный вегетационный индекс *NDVI (Normalised Difference Vegetation Index)*, рассчитываемый по формуле [NDVI Index, 2019]:

### NDVI = (EUK-K) / (EUK+K),

где *К* – значение яркости в красной зоне, а *БИК* – в ближней инфракрасной.

Значения индекса изменяются в пределах от -1 до +1. Для растительности характерны положительные значения *NDVI*, и чем больше ее фитомасса, тем они выше. На значения индекса влияют также видовой состав растительности, ее сомкнутость, состояние, в меньшей степени экспозиция и угол наклона поверхности. Результат определения вегетационного индекса *NDVI* представлен на рисунке 3.



*Рис. 3. Результат определения вегетационного индекса NDVI: 1 – исходное изображение;* 2 – изображение индекса NDVI. /

Fig. 3. Result of determining the vegetation index NDVI: 1 – original image; 2 – NDVI index image

Индексные изображения создают на основе и других зональных соотношений. Например, содержание в воде фитопланктона определяют по различиям в синей и зеленой зонах, а концентрацию минеральных частиц (взвесей) – в красной и синей [Ямашкин и др., 2015].

Классификация многозонального снимка предполагает компьютерное, программное распознавание объектов на снимке. Использование многозональных снимков для распознавания объектов основано на особенностях их спектральной отражательной способности, следствием которых являются различия яркостных характеристик на зональных снимках, благодаря чему человек воспринимает различия в цвете. Классификация цифрового снимка заключается в группировке пикселей в соответствии с принятым правилом классификации.

### Выводы

По результатам проведенных исследований можно сказать, что в проверенном составе шламов глиноземного производства преобладают оксиды кальция, железа, кремния и алюминия, титана, натрия, магния, калия, марганца и хрома. По гранулометрическому составу можно сделать вывод о преобладании гравелистой и крупнопесчаной фракции.
Дистанционное зондирование Земли достаточно трудоемкий метод и требует не только наличия исходных данных и специализированного программного обеспечения, но и соответствующую квалификацию оператора. Поэтому надежность информации, извлеченной из съемочных материалов, в наибольшей степени зависит от свойств изучаемых объектов и квалификация исполнителя. Достоверность распознавания на снимке природных объектов в решающей степени обусловлена их спектральными свойствами, выраженностью границ, степенью изменчивости, а также наличием устойчивых взаимосвязей с другими объектами.

На основании проведенного обзора можно сделать вывод, что наиболее достоверным методом дешифрирования геоэкологических условий является работа с данными многовременной космосъёмки. Данный метод позволяет определить не только качественные, но и количественные показатели экологического состояния территории, а также динамику изменения этих показателей.

#### Литература

1. Бибаева А.Ю. Дешифрирование космоснимков для задач мониторинга пирогенной трансформации геосистем. // Геодезия и картография. – 2017. – № 78(12). – С. 31–38.

2. Волкодаева М.В., Киселев А.В. Разработка системы экологического мониторинга качества атмосферного воздуха. // Записки Горного института. – 2017. – №227. – С. 589–596.

3. Данилов А.С., Пашкевич М.А., Петрова Т.А. Интегрированная система экологического мониторинга при освоении крупного угольного разреза. // Инновационное развитие минерально-сырьевого комплекса: проблемы и перспективы. 11-я конференция Российско-Немецкого сырьевого форума. – 2018. – С. 189–194.

4. Дуров В.В. Охрана атмосферного воздуха в цементной промышленности. // Цемент и его применение. – 1998. – №6. – С. 2–4.

5. Жигульский В.П., Коновалов В.Е. Особенности дешифрирования аэрофотоснимков и космоснимков с целью выявления технических и технологических объектов горнопромышленного комплекса. Известия высших учебных заведений. // Горный журнал. – 2012. – №5. – С. 49–52.

6. Корельский Д.С., Стриженок А.В., Имашова С.Н. Экологический мониторинг и оценка состояния природно-территориальных комплексов, подвергающихся воздействию цементной промышленности. // Московский экономический журнал. – 2018. – №5(1). – С. 116–123.

7. Коробова О.С., Ткачева А.С. Экологические аспекты цементного производства. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2016. – №7. С. 42–47.

8. Мочалов В.Ф., Марков А.В., Григорьева О.В., Жуков Д.В., Бровкина О.В., Пиманов И.Ю. Дистанционное зондирование для мониторинга окружающей среды. // Комплексное моделирование в области интеллектуальных систем и вычислений. – 2016. – №466. – С. 497–506.

9. Семячков А.И., Слаковская Ю.О., Почечун В.А. Методологические особенности оценки экономического ущерба от неблагоприятных экологических последствий в условиях территорий с развитым горнопромышленным комплексом. // Экология и промышленность России. – 2018. – №22(4). – С. 46–51.

10. Стриженок А.В., Воронова Д.С. Мониторинг и оценка воздействия цементного производства на окружающую среду. // Материалы I Ежегодной международной научной конференции «Фундаментальная и прикладная наука: основные итоги 2015 г.». – СПб.: CreateSpace, 2015. – С. 58–60.

11. Ямашкин С. А. Гибридная система для анализа данных дистанционного зондирования Земли. // Научно-технический вестник Поволжья. – 2015. – №4. – С. 173–175.

12. Ямашкин С.А., Ладанова Е.О. Разработка эффективного метода классификации и картографирования геоэкологических процессов с использованием спутниковых снимков. // Постулат. – 2019. – №2(40). – С. 27.

13. Ямашкин А.А., Новикова Л.А., Ямашкин С.А., Яковлев Е.Ю., Уханова О.М. Ландшафтноэкологическое планирование системы охраняемых территорий Пензенской области. // Вестник Удмуртского университета. – 2015. – №25(1). – С. 24–35.

14. Absalon D., Lesak B. Preface of the "Symposium on GIS, statistics and remote sensing for environmental monitoring". // AIP Conference Proceedings. – 2014. – V. 1618. – Pp. 273–274.

15. Chen P. Visualization of real-time monitoring datagraphic of urban environmental quality. // Eurasip Journal on Image and Video Processing. -2019. - No. 1. - P. 42.

16. Chevrel S., Bourguignon A. Application of Optical Remote Sensing for Monitoring Environmental Impacts Of Mining: From Exploitation to Postmining Land Surface Remote Sensing. // Environment and Risks. – 2016. – No. 12. – Pp. 191–220.

17. Jiang C.-L., Wu L., Liu D., Wang S.-M. Dynamic monitoring of eco-environmental quality in arid desert area by remote sensing: Taking the Gurbantunggut Desert China as an example. // Chinese Journal of Applied Ecology. – 2019. – No. 30 (3). – Pp. 877–883.

18. Laefer D.F. Harnessing Remote Sensing for Civil Engineering: Then, Now, and Tomorrow. // Lecture Notes in Civil Engineering. – 2019. – No. 33. – Pp. 3–30.

19. NDVI Index [Electronic Resource]. http://gis-lab.info/qa/ndvi.html (11/05/2019).

20. Peng Y., He G.J., Zhang Z.M., Jiang W., Ouyang Z.Y., Wang G.Z. Eco-environmental dynamic monitoring and assessment of rare earth mining area in Southern Ganzhou using remote sensing. Shengtai Xuebao. // Acta Ecologica Sinica. – 2016. – No. 36(6). – Pp. 1676–1685.

21. Seto K.C. Monitoring urban growth and its environmental impacts using remote sensing: Examples from China and India. // Global Urbanization. – 2011. – Pp.151–166.

22. Seward A., Ashraf S., Reeves R., Bromley C. Improved environmental monitoring of surface geothermal features through comparisons of thermal infrared, satellite remote sensing and terrestrial calorimetry. // Geothermics. - 2018. – No. 73. – Pp. 60–73.

23. Sims N.C., Colloff M.J. Remote sensing of vegetation responses to flooding of a semi-arid floodplain: Implications for monitoring ecological effects of environmental flows. // Ecological Indicators. – 2012. – No. 18. – Pp. 387–391.

24. Wang Q., Liu S. Research and implementation of national environmental remote sensing monitoring system. Yaogan Xuebao. // Journal of Remote Sensing. – 2016. – No. 20(5). – Pp. 1161–1169.

#### References

1. Bibaeva A.Yu. Decoding satellite images for monitoring the pyrogenic transformation of geosystems. Geodesy and cartography. 2017. No. 78 (12). pp. 31–38. (In Russ.)

2. Volkodaeva M.V., Kiselev A.V. On the development of the system for environmental monitoring of atmospheric air quality. Journal of Mining Institute, 227. 2017. pp. 589–596. (In Russ.)

3. Danilov A.S., Pashkevich M.A., Petrova T.A. Environmental integrated monitoring system at reclamation of large open-cast coal mine. Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects - 11th conference of the Russian-German Raw Materials. 2018. pp 189-194. (In Russ.)

4. Durov V.V. Air protection in the cement industry. Cement and its application. 1998. No. 6. pp. 2–4. (In Russ.)

5. Zhigulsky V.P., Konovalov V.E. Features of decryption of aerial photographs and satellite imagery in order to identify technical and technological objects of the mining complex. News of higher educational institutions. Mountain Journal. 2012. No. 5. pp. 49-52. (In Russ.)

6. Korelsky D.S., Strizhenok A.V., Imashova S.N. Environmental monitoring and assessment of the condition of natural-territorial complexes exposed to the cement industry. Moscow Economic Journal. 2018. No. 5 (1). pp. 116–123. (In Russ.)

7. Korobova O.S., Tkacheva A.S. Environmental aspects of cement production. Mountain Information and Analytical Bulletin. 2016. No. 7. pp. 42–47. (In Russ.)

8. Mochalov V.F., Markov A.V., Grigorieva O.V., Zhukov D.V., Brovkina O.V., Pimanov I.Y. Remote sensing for environmental monitoring. Complex modeling. Advances in Intelligent Systems and Computing, 466. 2016. Pp.497-506. (In Russ.)

9. Semyachkov A.I., Slawikowskaja Y.O., Pochechun V.A. Methodological features of the assessment of economic damage from adverse environmental consequences in conditions of territories with a developed mining complex. Ecology and Industry of Russia, 22(4). 2018. pp. 46-51. (In Russ.)

10. Strizhenok A.V., Voronova D.S. Monitoring and assessment of the impact of cement production on the environment. Materials of the I Annual international scientific conference "Fundamental and applied science: the main results of 2015". St. Petersburg: CreateSpace, 2015. pp. 58–60. (In Russ.)

11. Yamashkin S.A. A hybrid system for analyzing data from remote sensing of the Earth. Scientific and Technical Bulletin of the Volga Region, 4. 2015. pp. 173-175. (In Russ.)

12. Yamashkin S.A., Ladanova E.O. Development of an effective method of classification and mapping of geoecological processes using satellite images. Postulate, 2 (40). 2019. 27 p. (In Russ.)

13. Yamashkin A.A., Novikova L.A., Yamashkin S.A., Yakovlev E.Yu., Ukhanova O.M. Landscapeecological planning of the system of protected areas of the Penza region. Bulletin of the Udmurt University, 25 (1). 2015. pp. 24-35. (In Russ.)

14. Absalon D., Lesak B. Preface of the "Symposium on GIS, statistics and remote sensing for environmental monitoring". AIP Conference Proceedings, 1618. 2014. pp. 273-274.

15. Chen P. Visualization of real-time monitoring datagraphic of urban environmental quality. Eurasip Journal on Image and Video Processing. 2019(1). 42 p.

16. Chevrel S., Bourguignon A. Application of Optical Remote Sensing for Monitoring Environmental Impacts Of Mining: From Exploitation to Postmining Land Surface Remote Sensing. Environment and Risks, 12. 2016. pp. 191-220.

17. Jiang C.-L., Wu L., Liu D., Wang S.-M. Dynamic monitoring of eco-environmental quality in arid desert area by remote sensing: Taking the Gurbantunggut Desert China as an example. Chinese Journal of Applied Ecology, 30 (3). 2019. pp. 877-883.

18. Laefer D.F. Harnessing Remote Sensing for Civil Engineering: Then, Now, and Tomorrow. Lecture Notes in Civil Engineering, 33. 2019. pp. 3-30.

19. NDVI Index [Electronic Resource]. http://gis-lab.info/qa/ndvi.html (11/05/2019).

20. Peng Y., He G.J., Zhang Z.M., Jiang W., Ouyang Z.Y., Wang G.Z. Eco-environmental dynamic monitoring and assessment of rare earth mining area in Southern Ganzhou using remote sensing. Acta Ecologica Sinica, 36 (6). 2016. pp. 1676-1685.

21. Seto K.C. Monitoring urban growth and its environmental impacts using remote sensing: Examples from China and India. Global Urbanization. 2011. pp.151-166.

22. Seward A., Ashraf S., Reeves R., Bromley C. Improved environmental monitoring of surface geothermal features through comparisons of thermal infrared, satellite remote sensing and terrestrial calorimetry. Geothermics, 73. 2018. pp. 60-73.

23. Sims N.C., Colloff M.J. Remote sensing of vegetation responses to flooding of a semi-arid floodplain: Implications for monitoring ecological effects of environmental flows. Ecological Indicators, 18. 2012. pp. 387-391.

24. Wang Q., Liu S. Research and implementation of national environmental remote sensing monitoring system. Journal of Remote Sensing, 20 (5). 2016. pp. 1161-1169.

#### = ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГЕОМЕХАНИКА =

#### VДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44493

Оригинальная статья

## Определение динамических параметров моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации

#### С.А. Мамаев 问 ¹, к.т.н., В.М. Дорофеев², к.ф.-м.н., А.С. Мамаев¹

<sup>1</sup>Институт геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук,

Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail.ru;

<sup>2</sup>Московский научно-исследовательский и проектный институт типологии и экспериментального проектирования, Россия, 107031, г. Москва, ул. Петровка, д. 15, стр. 1

Статья поступила: 26.10.2019, после рецензирования: 20.11.2019, принята к публикации: 29.11.2019

Аннотация: Актуальность работы. Повышение экономичности инженерной сейсмологии – основы сейсмостойкого строительства и надежности поведения сооружений при землетрясениях в значительной степени зависит от адекватности расчетной модели сооружения и реальной работы конструкции. Создание новых конструктивных решений при проектировании сооружений должно, прежде всего, опираться на соответствующее изменение в расчетных моделях сооружений, а также на создание новых моделей, которые более точно описывают реальную работу конструкций. Наиболее точную и полную картину о поведении здания при реальном сейсмическом воздействии можно получить только при помощи информации, получаемой на станциях инженерно-сейсмометрической службы, т.к. только в этом случае можно получить данные о реакции реального сооружения на воздействие грунтов, при которой конструкции могут испытывать предельные состояния. Объект исследования – совокупность грунтов оснований строительных конструкций. Цель работы - разработка моделей зданий и сооружений на основе детальной инженерно-сейсмометрической информации. Методы исследования. Численные исследования моделей и анализ. Представлены результаты исследований, направленных на создание динамических моделей сооружений, пригодных для расчета на сейсмостойкость. Определение ожидаемых амплитуд перемещений, внутренних усилий и напряжений в сооружении при его колебаниях под действием динамической нагрузки, т.е. при вынужденных колебаниях и сравнение их с допустимыми значениями составляют основное содержание динамического расчёта сооружения. Допустимые значения амплитуд внутренних усилий обусловлены требованиями прочности и долговечности строительных конструкций. Для определения динамических параметров зданий и возможности использования методов расчета сооружений с применением импульсных передаточных функций разработаны статистические методы решения обратных задач по восстановлению подобных передаточных функций на базе инженерно-сейсмометрической информации. Анализ зарегистрированных на инженерно-сейсмометрических станциях процессов входа и (грунты основания, фундамент) и выхода (покрытие, перекрытия) позволяет определять передаточные функции и решать приведенные интегральные уравнения. Практическая значимость работы. Предложенная в работе методика построения динамических моделей сооружения на основе инженерно-сейсмометрической информации позволяет строить как детерминистские, так и статистические динамические модели сооружений и использовать их в расчетах сооружений на сейсмостойкость, основанных на детерминистских и статистических подходах.

**Ключевые слова:** динамическая модель, инженерно-сейсмометрическая информация, частоты свободных колебаний, коэффициент затухания, гистограмма, деформация, землетрясение, смещение, задача идентификации.

Для цитирования: Мамаев С.А., Дорофеев В.М., Мамаев А.С. Определение динамических параметров моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации. *Геология и Геофизика Юга России*. 2019. 9(4): 111-125. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44493.

=GEOTECHNOLOGY. GEOMECHANICS =

#### DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44493

#### **Original paper**

## Determination of dynamic parameters of models of buildings and structures based on engineering seismometric information

#### S.A. Mamaev (D<sup>1</sup>, V.M. Dorofeev<sup>2</sup>, A.S. Mamaev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 75 Yaragskiy Str., Makhachkala 367010, Russian Federation, e-mail: dangeogis@mail.ru; <sup>2</sup>Moscow Research and Design Institute of Typology and Experimental Design, 15, p. 1

Petrovka Str., Moscow 107031, Russian Fedration

Received: 26.10.2019, revised: 20.11.2019, accepted: 29.11.2019

Abstract: Relevance. Improving the efficiency of engineering seismology as the basis of earthquake engineering and the reliability of structures during earthquakes largely depends on the adequacy of the design model of the structure and the actual operation of the structure. The creation of new structural solutions in the design of structures first of all should be based on a corresponding change in the design models of structures, as well as on the creation of new models that more accurately describe the real work of structures. The most accurate and complete behavior pattern of the building under real seismic effects can be obtained only with the help of information obtained at stations of the engineering-seismometric service, because only in this case it is possible to obtain data on the reaction of a real structure to the effect of soils, in which structures can experience extreme conditions. Study object is a set of soil foundations-building structures. Aim. To develop models of buildings and structures based on detailed engineering-seismometric information. Methods. Numerical investigation models and analysis. Results. The research is aimed at creating dynamic models of structures suitable for calculating earthquake resistance. Determination of the expected amplitudes of displacements, internal forces and stresses in the structure during its oscillations under the action of dynamic load, i.e. in case of forced vibrations and their comparison with acceptable values are the main content of the dynamic calculation of the structure. The permissible values of the amplitudes of internal forces are determined by the requirements of strength and durability of building structures. To determine the dynamic parameters of buildings and the possibility of using methods for calculating structures using pulsed transfer functions, statistical methods have been developed for solving inverse problems to restore such transfer functions on the basis of engineering-seismometric information. An analysis of the input and (base, foundation) and output (cover, overlap) processes recorded at the engineering-seismometric stations allows determining the impulse transfer functions, and then solving the given integral equations. Practical significance. The proposed methodology for constructing dynamic models of structures based on engineering-seismometric information allows us to develop both deterministic and statistical dynamic models of structures and use them in calculations of structures for earthquake resistance based on deterministic and statistical approaches.

**Keywords:** dynamic model, engineering-seismometric information, frequencies of free vibrations, attenuation coefficient, histogram, deformation, earthquake, displacement, identification problem.

**For citation:** Mamaev S.A., Dorofeev V.M., Mamaev A.S. Determination of dynamic parameters of models of buildings and structures based on engineering seismometric information. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4):111-125. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44493.

#### Введение

Повышение экономичности сейсмостойкого строительства и надежности поведения сооружений при землетрясениях в значительной степени зависит от адекватности расчетной модели сооружения и реальной работы конструкции. Создание новых конструктивных решений при проектировании сооружений должно, прежде всего, опираться на соответствующее изменение в расчетных моделях сооружений, а также на создание новых моделей, которые более точно описывают реальную работу конструкций.

Для создания и идентификации новых расчетных моделей используют различные методы моделирования реальных сооружений, а также натурные испытания. Однако наиболее точную и полную картину о поведении здания при реальном сейсмическом воздействии можно получить только при помощи информации, получаемой на станциях инженерно-сейсмометрической службы, т.к. только в этом случае можно получить данные о реакции реального сооружения на воздействие, при которой конструкции могут испытывать предельные состояния.

Идентификация расчетных моделей сооружений в свою очередь является не простой задачей, т.к. ее решение приводит к классу некорректно поставленных задач, что требует дополнительной, в общем-то, произвольной, информации, а также в связи с необходимостью идентификации все более сложного класса моделей. В последнее время ряд авторов в своих расчетах использовали статистические расчетные модели сооружений, что, как ожидается, позволит вывести расчет сооружений на сейсмостойкость на уровень теории надежности. Однако работы по идентификации подобных расчетных моделей практически отсутствуют.

В настоящей работе дается довольно простой инженерный метод идентификации расчетных моделей сооружений на основе информации инженерно-сейсмометрических данных, позволяющей строить как детермированные, так и статистические модели.

#### Теория построения моделей

Идентификация моделей механических объектов сводится к определению параметров некоторого операторного уравнения, описывающего поведение объекта:

$$Y = L(\alpha(\beta, \gamma, ...) X,$$
(1)

где Х – входное воздействие;

Ү – выходной сигнал;

L – оператор известной структуры;

α, β, γ,..., – коэффициенты оператора L, определение которых и ставится задачей параметрической идентификации.

Как известно, задача идентификации является обратной задачей прикладной механики и относится к классу некорректно поставленных задач [Тихонов, Арсенин, 1969].

Некорректность постановки решаемой задачи обуславливается следующими соображениями:

1) неадекватность математической модели и реального объекта, т.е. принятая нами модель, в принципе, не может описать все особенности поведения реального объекта (в нашем случае строительной конструкции),

2) невозможность получения истинной картины о поведении объекта, т.к. в любом случае мы получаем ограниченное количество экспериментальной информации подверженной ошибкам.

При решении некорректных задач приходится использовать дополнительную информацию (ограничения) о характере искомого решения. Использование дополнительной информации количественного характера приводит к понятию квазирешения [Тихонов, Арсенин, 1969; Иванов, 1962, 1963]. В случае использования дополнительной информации качественного характера (например, гладкость решения и т.д.) вводится понятие регуляризованного решения [Тихонов, Арсенин, 1969; Тихонов, 1963а, б].

Частным примером механического объекта является сооружение, модель которого можно представить в виде многомассового осциллятора (рис. 1).



Puc. 1. Многомассовый осциллятор. / Fig. 1. Multi-mass oscillator.

Движение подобной, модели может быть описано уравнением:

$$[M] \{Y\} + [C] \{Y\} + [K] \{Y\} = -[M] \{1\} X,$$

где [M] – матрица масс (обычно диагональная);

[С] – матрица вязкого сопротивления;

[К] – матрица жесткостей;

 $\{\dot{Y}\}, \{\dot{Y}\}, \{Y\}$  – векторы матрицы относительного ускорения, скорости и перемещения соответственно;

 $\{1\}$  – единичный вектор.  $\{1\} = \{1, 1, \dots, l\}$ .

Умножая обе части уравнения (2) на  $[M]^{-1}$ , получим

$$\{\ddot{Y}\} + [C^*] \ \{\dot{Y}\} + [K^*] \ \{Y\} = -\ddot{X} \ \{1\}, \tag{3}$$

где  $[C^*] = [M]^{-1} \cdot [C], \quad [K^*] = [M]^{-1} \cdot [K].$ 

Существует достаточно много инженерных методов определения параметров модели, описываемой уравнением (3). Большинство из них определяют квазирешения, в качестве дополнительной информации выбирая некоторый функционал (целевую функцию). Решением поставленной задачи являются те коэффициенты, которые минимизируют эту целевую функцию. Надо отметить, что минимизация целевой функции может происходить, как во временной [Дейч, 1979; Cifuentus, 1984], так и в частной [Дейч, 1979; Pедько и др., 1985; Цейтлин, Атаев, 1975; Conde, 1972; Masri, 1973; Backus, Gilbert, 1967; Jackson, 1972; Jupp et al., 1971; Barbat, Canet, 1994; Chopra, 1996; Craig, 1981] областях. Однако при использовании этого метода до сих пор не преодолены определенные трудности, связанные, прежде всего, с выбором критерия подобия модели и объекта (целевой функции), а также построением вычислительной процедуры, устойчивой к локальным минимумам.

В последнее время авторами был предложен довольно простой инженерный метод определения параметров модели, использующий идеи, как метода квазирешений, так и регуляризованных решений [Денисов и др., 1967, 1983, Мамаев, 1991; Denisov et al., 1986, 1990].

Будем искать все такие значения коэффициентов  $[C_{ij}^*]$  и  $[K_{ij}^*]$ , элементов матриц  $[C^*]$  и  $[K^*]$  соответственно, которые удовлетворяют в какой-то момент времени уравнению

$$\{\widetilde{\ddot{\mathbf{Y}}}\} + [\mathbf{C}^*] \ \{\widetilde{\dot{\mathbf{Y}}}\} + [\mathbf{K}^*] \ \{\widetilde{Y}\} = -\widetilde{\ddot{\mathbf{X}}} \ \{\mathbf{I}\}$$
(4)

где  $\{\widetilde{Y}\}, \quad \widetilde{\ddot{X}}$  – значения выходного и входного сигнала, отличающемся от величин  $\{Y\}$  и X, так что

$$\rho_{\rm Y}(\{\widetilde{\rm Y}\}-\{{\rm Y}\})\prec\delta\,;\ \ \rho_{\rm X}(\widetilde{\rm X}-{\rm X})\prec\delta\,, \tag{5}$$

где *δ* – ошибка измерений;

 $\rho_{Y}(...)$  – выбранная норма пространства векторов {Y};

 $\rho_{X}(...)$  – выбранная норма пространства X .

Из анализа этой области в каждый конкретный момент времени, совокупности полученных областей, с привлечением дополнительной информации количественного и качественного характера, и определяются искомые параметры.

Действительно, если на сооружении, модель которого описывается уравнением (3), производить регистрацию кинематических параметров движения в местах сосредоточения масс и на фундаменте, то, подставив значения этих кинематических величин в  $2n^2 + 1$  моменты времени в (3), и представляя матричное уравнение как систему уравнений, получим систему  $2n^2 + 1$  алгебраических уравнений для определения  $2n^2 + 1$  неизвестных  $c^*_{ij}$ ,  $k^*_{ij}$  ( $c^*_{ij}$  и  $k^*_{ij}$  – элементы матриц и [ $C^*$ ] и [ $K^*$ ] соответственно):

где  $_{e}\ddot{Y}_{i} = _{e}\ddot{x} + _{e}\ddot{y}_{i}$ , d = 2n, а индекс слева у величин  $_{e}$  У<sub>i</sub>,  $_{e}\dot{y}_{i}$ ,  $_{e}\ddot{y}_{i}$ ,  $_{e}\ddot{x}_{i}$ ,  $_{e}Y_{i}$  обозначает порядковый номер момента времени, для которого взяты эти величины.

Учитывая, что вместо величин  $\{y\}$  в результате инженерно-сейсмометрических наблюдений получены величины  $\{\tilde{y}\}$ , удовлетворяющие: неравенству (5), т.е. вместо  $y_i$ ,  $\dot{y}_i$ ,  $\ddot{y}_i$ ,  $\ddot{x}_i$ ,  $\ddot{Y}_i$  мы имеем, соответственно,  $y_i \pm \delta y_i$ ,  $\dot{y}_i \pm \dot{\delta} y_i$ ,  $\ddot{y}_i \pm \delta \ddot{y}_i$ ,  $\ddot{x}_i \pm \delta \ddot{x}_i$ ,  $\ddot{Y}_i \pm \delta \ddot{Y}_i$ , где  $\delta y_i$ ,  $\delta \dot{y}_i$ ,  $\delta \ddot{y}_i$ ,  $\delta \ddot{x}_i$ ,  $\delta \ddot{Y}_i$  – предполагаемые ошибки определения соответствующих величин, а из системы уравнений (6) мы можем получить следующую систему алгебраических неравенств:

$$\begin{cases} \sum_{j}^{n} [\max_{max} (c_{ije}^{*} \dot{y}_{j} + \max_{max} (k_{ije}^{*} y_{j})] \leq \max_{max} (-e\ddot{Y}_{i}) \\ \sum_{j}^{n} [\min_{min} (c_{ije}^{*} \dot{y}_{j} + \min_{min} (k_{ije}^{*} y_{j})] \geq \min_{min} (-e\ddot{Y}_{i}) \\ i = 1, \dots, n, \qquad j = 1, \dots, 2n \end{cases}$$
(7)

Система неравенств (7) определяет множество  $Q_{\delta}$  ( $\delta$  – ошибка определения исходных данных) всех возможных решений системы (6). Для того, чтобы возможно было устойчивое исследование области, определяемой системой (7), необходимо привлечь дополнительную информацию о характере элементов матриц [c<sup>\*</sup>], [k<sup>\*</sup>]. Это может быть следующая система неравенств:

$$\begin{cases} \underline{k}_{ij}^* \leq k_{ij}^* \leq \widetilde{k}_{ij}^* \\ \underline{c}_{ij}^* \leq c_{ij}^* \leq \widetilde{c}_{ij}^* \end{cases}$$
<sup>(8)</sup>

где  $k_{-ij}^*, \widetilde{k}_{ij}^*, c_{-ij}^*, \widetilde{c}_{ij}^*$  – минимальное и максимальное значение соответствующих коэффициентов, определение которых возможно, исходя из предварительного изучения свойств сооружения и из опыта.

Чтобы упростить систему (7), воспользуемся следующими соображениями. Рассмотрев систему, представленную на рисунке (1), а также воспользовавшись свойствами и физическим смыслом матрицы жесткости [K] этой системы, можно определить знак элементов этой матрицы:

$$sign(k_{ii}) = (-1)^{i+j}$$
, (9)

а, следовательно, если предположить что матрица [*M*] – диагональная или близка к этому виду (т.е. по отношению к диагональным элементам все остальные достаточно малы), то

$$ign(k_{ij}^*) = (-1)^{i+j}$$
 (10)

Предположим, что так как коэффициенты  $C_{ij}$  имеют ту же силовую природу, что и  $k_{ij}$ , скорость i-той массы оказывает на j-тую такое же влияние как и соответствующие перемещения, т.е.

$$sign(c_{ii}^{*}) = sign(k_{ii}^{*}) = (-1)^{i+j}.$$
(11)

Используя гипотезу (11), а также объединяя системы (7) и (8) получим:

$$\begin{aligned} &\sum_{j}^{n} [\left| \mathbf{c}_{ij}^{*} \right|_{max} \left( (-1)^{i+j} {}_{e}^{*} \mathbf{Y}_{j} \right) + [\left| \mathbf{k}_{ij}^{*} \right|_{max} \left( (-1)^{i+j} {}_{e}^{*} \mathbf{Y}_{j} \right) ]] \leq_{max} (-e\ddot{\mathbf{Y}}_{i}) \\ &\sum_{j}^{n} [\left| \mathbf{c}_{ij}^{*} \right|_{min} \left( (-1)^{i+j} {}_{e}^{*} \mathbf{Y}_{j} \right) + [\left| \mathbf{k}_{ij}^{*} \right|_{min} \left( (-1)^{i+j} {}_{e}^{*} \mathbf{Y}_{j} \right) ]] \geq_{min} (-e\ddot{\mathbf{Y}}_{i}) \\ &\frac{\mathbf{k}_{ij}^{*}}{\mathbf{c}_{ij}^{*}} \leq \mathbf{k}_{ij}^{*} \leq \widetilde{\mathbf{k}}_{ij}^{*}, \qquad i = 1, ..., n, \quad j = 1, ..., 2 n. \end{aligned}$$
(12)

Решая задачу линейного программирования, минимизируя последовательно функционалы  $L = \pm |c_{ij}^*|$ ,  $L = \pm |k_{ij}^*|$  по области, определяемой системой неравенств (12), получим предельные границы области  $Q_{\delta}$  (предельные возможные значения величин  $c_{ij}^*, k_{ij}^*$ ).

В результате получаем систему интервалов  $c_{ij}^*$  и  $k_{ij}^*$ , внутри которых заключены значения этих коэффициентов, удовлетворяющие системе (6) при условии (5). Повторяя описанную процедуру для других моментов времени, получаем систему интервалов  $\{c_{ij} \pm \delta c_{ij}\}, \{k_{ij} \pm \delta k_{ij}\}$ . На основе этих интервалов можно построить гистограммы, представляющие собой значения количества попаданий искомой величины в некоторый промежуток (рис. 3). Этим гистограммам можно придать смысл плотности вероятности распределения  $k_{ij}$  и  $c_{ij}$ . На основе таких гистограмм можно построить как статистическую модель, так и детерминированную.

Получаемые, таким образом, коэффициенты  $k_{ij}^*$  и  $c_{ij}^*$  полностью описывают поведение модели, интегрируя всю сложность работы сооружения: нелинейность, пространственность, качение и др. эффекты. В то же время  $k_{ij}^*$  и  $c_{ij}^*$  полностью описывают текущее состояние модели независимо от того, как модель пришла в это состояние.

Если ограничиться простейшим случаем, когда модель сооружения представлена в виде одномассового осциллятора (рис. 2) и описывается следующим уравнением:

$$\ddot{\mathbf{y}} + 2\varepsilon\omega_0\dot{\mathbf{y}} + \omega_0^2\mathbf{y} = -\ddot{\mathbf{x}},\tag{13}$$

где  $\ddot{y}, \dot{y}, y$ , – относительное ускорение, скорость и перемещение сосредоточенной массы соответственно;

*О*<sub>0</sub> – частоты свободных колебаний системы;

 $\mathcal{E}$  – коэффициент затухания системы (в % от критического), то в этом примере систему (12) можно разрешить и написать в замкнутом виде:

$$\begin{cases} \sqrt{\min \frac{p_2}{p_3}} \le \omega_0 \le \sqrt{\max \frac{p_2}{p_3}}, \\ \frac{\min \frac{p_1}{p_3}}{2 \cdot \sqrt{\max \frac{p_2}{p_3}}} \le \varepsilon \le \frac{\min \frac{p_1}{p_3}}{2 \cdot \sqrt{\min \frac{p_2}{p_3}}}, \\ \omega_{\min} \le \omega_0 \le \omega_{\max}, \\ \varepsilon_{\min} \le \varepsilon_0 \le \varepsilon_{\max}, \end{cases}$$
(14)

P<sub>1</sub> = y<sub>1</sub>(
$$\ddot{x}_2 + \ddot{y}_2$$
) - y<sub>2</sub>( $\ddot{x}_1 + \ddot{y}_1$ )  
где P<sub>2</sub> =  $\dot{y}_2(\ddot{x}_1 + \ddot{y}_1) - \dot{y}_2(\ddot{x}_2 + \ddot{y}_2)$  (15)  
P<sub>3</sub> =  $\dot{y}_1\ddot{y}_2 - \dot{y}_1y_1$ .

При идентификации конкретных моделей использовалась связь между собственной частотой колебаний и собственным периодом:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} , \qquad (16)$$

и строились гистограммы для параметров T и  $\varepsilon$ , на основе которых получали те или иные модели.

Представленная методика позволяет выявить также и некоторые особенности работы сооружений:

- нелинейность если рассматривать зависимость параметров  $c_{ij}^*$  и  $k_{ij}^*$  от величин входного воздействия или реакции;
- деградация жесткости элементов конструкции если рассматривать параметры k<sup>\*</sup><sub>ij</sub>
   в зависимости от участка записи;
- пространственный характер работы сооружения если рассматривать изменение коэффициента c<sup>\*</sup><sub>ij</sub> и k<sup>\*</sup><sub>ij</sub> в зависимости от направления относительного смещения.



Puc. 2. Одномассовый осциллятор. / Fig. 2. Single-mass oscillator.

Одним из достоинств, представленного метода, является возможность создания статистических моделей сооружений, создание которых становится актуальной задачей теории сейсмостойкости.

Имея, описанные выше гистограммы собственных периодов (в случае одномассовой модели) для различных интервалов смещения, можно определить параметры плотности вероятности  $F_T$  для каждого интервала. Анализ этих плотностей позволяет определить плотность вероятности  $F_T(y)$  в зависимости от y. Затем для каждого уровня интенсивности y, задаются конкретные периоды собственных колебаний, и для них строят гистограммы коэффициентов затухания. Для каждого уровня интенсивности находим зависимость плотности вероятности коэффициентов затухания  $F_{\varepsilon}$  от собственного периода, т.е.  $F_{\varepsilon}(T)$ . Имея зависимость плотности вероятности коэффициентов затухания интервалов смещения y, можно определить зависимость плотности вероятности коэффициента затухания как от T, так и от y, т.е. можем найти  $F_{\varepsilon}(T, y)$ .

Таким образом, получаем статистическую динамическую модель сооружения (для ономассового осциллятора) в виде двух связанных статистических законов  $F_T(y)$  и  $F_{\varepsilon}(T, y)$ , описывающих изменение динамических параметров сооружения во время землетрясения.

#### Примеры моделирования

#### Детерминированный случай.

Описанным методом определялись модели пятиэтажного крупнопанельного жилого здания в г. Петропавловске-Камчатском, на котором были получены записи кинематических параметров фундамента и покрытия при землетрясении 2 декабря 1977 г. (интенсивностью 5 баллов по шкале MSK-64) в двух направлениях и 21 декабря 1977 г. (интенсивностью 4 балла) в направлении короткой оси здания. Условимся в дальнейшем короткую ось здания называть осью X, а длинную – осью Y.

Были построены гистограммы для коэффициентов Т и  $\mathcal{E}$  в зависимости от величины относительного смещения покрытия y. Пример полученных гистограмм для коэффициента T приведен на рисунке 3.



*Puc. 3. Гистограмма для периода собственных колебаний. / Fig. 3. The histogram for the period of natural oscillations* 

На основе максимальных значений вычисленных гистограмм была найдена зависимость периода собственных колебаний Т от величины смещения покрытия относительно фундамента у (рис. 4).



*Рис. 4. Зависимости периода T от у для: а) землетрясения 21.12.77 ось X; b) землетрясения 2.12.77, ось X; с) землетрясения 2.12.77, ось У. /* 

Fig. 4. The dependence of the period T from y for:

a) earthquake 12/12/77 axis X; b) the earthquake of 2.12.77, the X axis; c) the earthquake of 2.12.77, the U axis.

Представленные экспериментальные данные аппроксимировались зависимостью вида

$$T = ay^b + c$$
.

В результате получены следующие выражения:

$$T = 0,594 |y|^{0,654} + 0,21,$$
  

$$T = 0,189 |y|^{0,399} + 0,19,$$
(17)

для оси Х и У, соответственно.

Для данного здания были получены значения периода собственных колебаний Т экспериментальным путем с помощью оттяжки и последующего резкого сброса нагрузки (так называемый метод оттяжки ), что до сих пор является наряду с параметрами, полученными в результате вычислений, исходными данными при расчете сооружений на сейсмическое воздействие:

(T=0,23 с. для оси X и T=0,22 с. для оси У).

Из сравнения этих результатов видно, что значения, получаемые «методом оттяжки», являются фактически начальными параметрами для выражений (17). Тогда, как видно из (17), с возрастанием амплитуд колебаний, период собственных колебаний здания увеличивается, что ведет к фактическому снижению нагрузки при расчете сооружений по СНиП за счет уменьшения величины коэффициента динамичности  $\beta$ . Таким образом, уже при малых сейсмических нагрузках при землетрясениях силой 4-5 баллов, работа сооружения является нелинейной, и период собственных колебаний, фактически, в значительной степени зависит от их амплитуды.

Исходные данные, по которым строились модели, обладают сильными шумами, что в первую очередь сказывается при определении коэффициента  $\mathcal{E}$ , т.к. ошибка в определении этого параметра сравнима с самой величиной  $\mathcal{E}$ .

Поэтому при нахождении реакции модели предполагалось, что коэффициент вязкого затухания  $\mathcal{E}$  изменяется в пределах от 2% до 15% от критического. Эта величина, полученная при испытаниях «методом оттяжки» была равна соответственно 5,6% и 3,2% для осей X и У. Для сравнения были вычислены реакции следующих моделей:

1) линейной с коэффициентами, полученными «методом оттяжки»;

T=0,23 с. *Е* =0,056 для оси X и

T=0,22 с. *Е* =0,032 для оси У.

2) линейной так называемыми «эффективными» коэффициентами, т.е. такими, которые соответствуют максимальным отклонениям здания от оси и наилучшим образом должны описывать состояние объекта в точках максимального отклонения сооружения от оси, без учета предыстории загружения;

T=0,30 с.,  $\mathcal{E}$  =0,04 — при воздействии силой 4 балла,

T=0,40 с.,  $\mathcal{E}$  =0,056 – при воздействии силой 5 баллов для оси X и

T=0,25 с.,  $\mathcal{E}$  =0,10 — при воздействии силой 5 баллов для оси У.

3) нелинейная модель с представленными выше зависимостями периода T от относительного смещения модели.

Вычисленные реакции в виде смещения описанных моделей и записи смещений, полученной на покрытии, представлены на рисунке 5. Как видно из рисунка, наибольшим сходством с записью на покрытии обладает смещение нелинейной модели и хуже остальных описывает эту запись реакция линейной модели с коэффициентами, определенными «методом оттяжки».





Рис. 5. Графики смещений, полученные для землетрясений: 1) 21.12.1977, ось X; 2) 2.12.1977, ось X; 3) 2.12.1977, ось У; а) запись на покрытии сооружения, b) реакция нелинейной модели (на основе предложенного метода) с) реакция линейной модели с параметрами, полученными «методом оттяжки»; d) реакция линейной модели с «эффективными». Коэффициентами. /

Fig. 5. Graphs of displacements obtained for earthquakes: 1) 12/21/1977, X axis; 2) 12.12.1977, X axis; 3) 2.12.1977, the U axis; a) a record on the surface of the structure, b) the response of a non-linear model (based on the proposed method) c) the reaction of a linear model with parameters obtained by the "drawdown method"; d) the reaction of a linear model with "effective" coefficients.

Была также предпринята попытка на основе гистограмм, аналогичных изображению на рисунке 3, построить статистическую динамическую модель сооружения. На рисунке 6 представлены анализировавшиеся гистограммы для воздействия силой 5 баллов. Анализ этих гистограмм позволяет сделать вывод, о том, что они могут быть для каждого уровня интенсивности описаны с помощью нормального закона

$$F_{\rm T} = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \,\sigma_{\rm T}} e^{-\frac{(x-\mu_{\rm T})}{2\sigma^2_{\rm T}}} \,, \tag{18}$$

причем  $\mu_T$  и  $\sigma_T$ , определяющие в каждом таком случае соответствующий нормальный закон распределения в зависимости от *у* могут быть описаны выражениями:

 $\mu_{\rm T}(y) = ay^{\rm b} + c$  и  $\sigma_{\rm T}(y) = ey + d$ , (19) где a=0,594, b=0,654, c=0,21, e=0,45, d=0,07 (для рис. 6).





*Рис. 6. Гистограммы для периодов собственных колебаний при разных уровнях деформаций у (см) для* землетрясения 2.12.77 г., интенсивностью 5 баллов, ось У: а) 0,0 <y ≤0,01; b) 0,01< y ≤0,02; c) 0,02 < y ≤0,03; d) 0.03 <y ≤0,04; e) 0.04 < y ≤0,05. /

Fig. 6. Histograms for periods of natural oscillations at different deformation levels y (cm) for an earthquake of 2.12.77, with an intensity of 5 points, the Y axis: a)  $0.0 < y \le 0.01$ ; b)  $0.01 < y \le 0.02$ ; c)  $0.02 < y \le 0.03$ ; d)  $0.03 < y \le 0.04$ ; e)  $0.04 < y \le 0.05$ .

Таким образом, для статистического описания изменения собственного периода осциллятора, в зависимости от *y*, получаем на основе выражений (18) и (19) закон  $F_{\tau}(y)$ .

Анализ гистограмм построенных для коэффициента затухания с учетом работы [Денисов и др., 1983] по тем же данным указывает на то, что в области реальных значений коэффициента затухания его распределение соответствует также нормальному закону и что его среднее значение и дисперсия в зависимости от T и y могут быть описаны выражениями:

$$\mu_{\varepsilon}(\mathbf{T}, \mathbf{y}) = (0, 42e^{-20y} + 0, 35)\mathbf{T},$$
(20)

 $\sigma_{\varepsilon}(\mathbf{T}, \mathbf{y}) = 0.08 \, \mathrm{T}^2 \quad . \tag{21}$ 

Следует отметить, что по анализировавшимся исходным данным получено, что дисперсия  $\sigma_{\varepsilon}$  не зависит от уровня деформации. Таким образом, для статистического описания поведения сооружения может быть использована статистическая модель с нормальными законами распределения  $F_{\tau}(y)$ .,  $F_{\varepsilon}(T,y)$  и значениями параметров, описываемыми выражениями (20) и (21).

Для реализации описанных выше статистических динамических моделей, строятся нестационарные статистические модели сейсмических воздействий [Дорофеев и др., 1990; Мамаев, 1991, 2003; Мамаев, Дорофеев, 2002; Савович, 2005; Dorofeev et al., 1990]. Таким образом, изложенная практическая методика построения статистических динамических моделей зданий или сооружений и сейсмических воздействий позволит вывести расчеты зданий на сейсмостойкость с обоснованием надежности полученных расчетов. Для получения статистических данных по идентификации динамических характеристик и сейсмических нагрузок для зданий и сооружений по акселерограммам землетрясений, конечно же, надо восстановить инженерно-сейсмометрическую службу [Гурьев и др., 2018; Дорофеев и др., 2003; Таймазов и др., 2013Черкашин и др., 2003]. В последнее время сотрудниками института исследуются динамические параметры грунта геофизическими методами [Мамаев, 2006, 2011; Мамаев и др., 2017, 2018, 2019]. Стационарные инженерно-сейсмометрические станции с грунтовыми точками решали многие задачи в сейсмостойком строительстве, в том числе задачи сейсмического микрорайонирования городов и крупных населенных пунктов.

#### Заключение

Предложенная в работе методика построения динамических моделей сооружения на основе инженерно-сейсмометрической информации позволяет строить как детерминистские, так и статистические динамические модели сооружений и использовать их в расчетах сооружений на сейсмостойкость, основанных на детерминистских и статистических подходах. Подобная методика применима и для экспериментальных исследований сооружений с использованием динамических испытаний. Особенно актуальна эта методика в современное компьютеризованное время, когда всю информацию поведения здания или сооружения полностью в цифровом пространственном виде можно использовать при расчетах на сейсмостойкость, что позволит вывести расчет сооружений на сейсмостойкость на уровень теории надежности. Однако работы по идентификации подобных расчетных моделей практически отсутствуют.

#### Литература

1. Гурьев В.В., Дорофеев В.М., Дмитриев А.Н., Панкратов Е.П., Лепешкина Е.А. Об экономических проблемах и механизмах реновации и реконструкции пятиэтажной застройки. // Экономика строительства. – 2018. – №1(49). – С. 3–17.

2. Дейч А.М. Методы идентификации динамических объектов. – М.: Энергия, 1979. – 240 с.

3. Денисов Б.Е., Дорофеев В.М. и др. Инженерно-сейсмометрическая служба СССР. – М.: Наука, 1967. – 367 с.

4. Денисов Б.Е., Дорофеев В.М., Погосян О.К. Определение динамических характеристик строительных конструкций по данным инженерно-сейсмометрических станций. // Известия АН Арм. ССР, серия технических наук. – 1983. – №6. Т. ХХХУ. – С. 47–50.

5. Дорофеев В.М., Дорофеева Л.Н., Мамаев С.А. Модель 7-балльных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений с эффективной длительностью около 10 с. // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – №4. – С. 42–47.

6. Дорофеев В.М., Федоров Н.Н., Сурков В.И., Курзанов А.М. О мониторинге технического состояния зданий. // Промышленное и гражданское строительство. – 2003. – №11. – С. 31-32.

7. Иванов В.К. О линейных некорректных задачах. // ДАН СССР. – 1962. – Т.145(2), - С. 170–172.

8. Иванов В.К. О некорректно поставленных задачах. // Мат. Сборник. – 1963. – 6(2). – С. 211–223.

9. Мамаев С.А. Оценка статистической динамической модели здания и статистической модели сейсмического воздействия на основе инженерно-сейсмометрической информации. // Дисс. на соискания ученой степени к.т.н. ЦНИИСК им. Кучеренко. – М. – 1991. – 145 с.

10. Мамаев С.А. Численное статистическое моделирование сейсмических воздействий. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2003. – №15. – С. 35–44.

11. Мамаев С.А. Экспериментальные исследования динамических свойств грунтов геофизическими методами и их инженерно-геологическая интерпретация при уточнении сейсмичности площадки строительства. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2006. – №50. – С. 222–230.

12. Мамаев С.А. Исследование динамических свойств грунтов геофизическими методами при уточнении сейсмичности площадки строительства. // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А. / Гл. редактор Заалишвили В.Б. – Владикавказ. – 2011. – С. 320–331.

13. Мамаев С.А., Дорофеев В.М. Численное статистическое моделирование 7-бальных сейсмических воздействий для дальней зоны землетрясений. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2002. – №48. – С. 97–103.

14. Мамаев С.А., Дорофеев В.М., Абдулатипов А.М., Мамаев А.С. Методы определения параметров динамических моделей зданий и сооружений на основе инженерно-сейсмометрической информации. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019. – №78. – С. 17–29.

15. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Гусейнова А.Ш., Курбанисмаилова А.С., Мамаев А.С. Применение

электронных баз данных в геологических исследованиях. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №4. – С. 104–116.

16. Мамаев С.А., Ибаев Ж.Г., Мамаев А.С., Маммаева Ж.А. К вопросу перевода прогноза землетрясений на количественную основу. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2017. – №71. – С. 68–71.

17. Редько С.Ф., Ушкалов В.Ф., Яковлев В.П. Идентификация механических систем. – Киев: Наукова Думна, 1985. – 215 с.

18. Савович М.К. Динамический расчет каркасных зданий: Учебное пособие. – Ханты-Мансийск: РИЦ ЮГУ, 2005. – 31 с.

19. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Абакаров А.Д., Таймазов М.Д. О состоянии и перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2013. – №51. – С. 36–42.

20. Тихонов А.П. О решении некорректно поставленных задач и методе регуляризации. // ДАН СССР. – 1963а. – Т. 151(3). – С. 501–504.

21. Тихонов А.П. О регуляризации некорректно поставленных задач. // ДАН СССР. – 19636. – Т. 153(3). – С. 49–52.

22. Тихонов А.Н., Арсенин В.Д. Методы решения некорректных задач. – М.: Наука, 1969. – 285 с.

23. Цейтлин А.И., Атаев М. Определение характеристик сооружений по результатам динамических испытаний. // Строительная механика и расчет сооружений. – 1975. – №6.

24. Черкашин В.И., Дорофеев В.М., Крамынин П.И., Магомедов Р.А., Мамаев С.А., Никуев Р.Ю. Организация инженерно-сейсмометрической службы в Республике Дагестан. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2003. – №14. – С. 25–37.

25. Backus G., Gilbert P, Numerical application of a formalism for geophysical inverse problems. // Geophys. J,R.Ast. Soc. – 1967. V. 3. – Pp. 247–276.

26. Barbat A.H., Canet J.M., Estructuras sometidas a acciones sismicas, Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingenieria. – Barcelona. – 1994.

27. Chopra, A.K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. – Prentice Hall. – 1996.

28. Cifuentus O.A. System identification of hysteretic structure, BBRL 84-04. - Pasadena. - 1984.

29. Conde F.F. Seismic structures / F.F. Conde // International Simposium FIP. – Tbilisi. – 1972. – Pp. 655–663.

30. Craig R.R. Structural dynamics, An introduction to Computer methods, John Wiley & Sons. – New York. – 1981.

31. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Mamaev G.V., Shumicheva O.V. Analysis of the structural performance based on engineering-seismometric information. // Proceedings of eighth European conference on earthquake engineering. – Lisbon. – 1986.

32. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Zeldin B.A., Mamaev S.A., Shumicheva O.V. Method of parameter determination of dynamic structure models based on engineering-seismometric data. // Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. –1990. – Vol. 8. – Pp. 321–332.

33. Dorofeev V.M., Dorofeev L.N., Mamaev S.A., Rusol E.I. Statistical modeling of seismic effects for earthquake-resistant of structures. // Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. – 1990. – Vol. 4. – Pp. 140–151.

34. Jackson D.D. Interpretation of inaccurate, inaccurate, insufficient and inconsistent date. // Geophys. J.R. Ast. Soc. – 1972. – V. 28 (2). – Pp. 97–109.

35. Jupp D.L.B., Vosoff K. Stable iterative methods for the inverse problem in geophysics. // Proc. Nat. acad. Sei. – 1971. – V. 68 (2). – Pp. 291–293.

36. Masri S.F. Response of the impact damper to stationary random excitation / S.F. Masri, A.M. Ibrahim. // The Journal of the Acoustical Society of America. – 1973. – V. 53. No. 1. – Pp. 200–211.

#### References

1. Guriev V.V., Dorofeev V.M., Dmitriev A.N., Pankratov E.P., Lepeshkina E.A. On economic problems and mechanisms of renovation and reconstruction of five-story buildings. Construction Economics. 2018. No. 1 (49). pp. 3–17. (In Russ.)

2. Deitsh A.M. Methods for identifying dynamic objects. Moscow. Energiya. 1979. 240 p. (In Russ.)

3. Denisov B.E., Dorofeev V.M. et al. Engineering-seismometric service of the USSR. Moscow. Nauka 1967. 367 p. (In Russ.)

4. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Poghosyan O.K. Determination of dynamic characteristics of building structures according to engineering seismometric stations. Bulletin of the Academy of Sciences of Arm. SSR, a series of technical sciences. 1983. No. 6. Vol. XXXV. pp. 47-50. (In Russ.)

5. Dorofeev V.M., Dorofeeva L.N., Mamaev S.A. Model of 7-point seismic effects for the far zone of earthquakes with an effective duration of about 10 s. Structural mechanics and calculation of structures. 1990. No. 4. pp. 42–47. (In Russ.)

6. Dorofeev V.M., Fedorov N.N., Surkov V.I., Kurzanov A.M. On monitoring the technical condition of buildings. Industrial and civil engineering. 2003. No. 11. pp. 31-32. (In Russ.)

7. Ivanov V.K. On linear incorrect problems. DAN of the USSR. 1962. Vol.145 (2). pp. 170–172. (In Russ.)

8. Ivanov V.K. About incorrectly posed tasks. Mat. Collection. 1963. No. 6(2). pp. 211–223. (In Russ.)

9. Mamaev S.A. The study of the dynamic properties of soils by geophysical methods to clarify the seismicity of the construction site. In: Seismic hazard and seismic risk management in the Caucasus Proceedings of the IV Caucasian International School-Seminar for Young Scientists. Center for Geophysical Research VSC RAS and North Ossetia-Alania. Vladikavkaz. 2011. pp. 320–331. (In Russ.)

10. Mamaev S.A. Assessment of the statistical dynamic model of the building and the statistical model of seismic impact based on engineering-seismometric information. Thesis for the degree of Ph.D. TSNIISK them. Kucherenko. Moscow. 1991. 145 p. (In Russ.)

11. Mamaev S.A. Numerical statistical modeling of seismic effects. Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2003. No. 15. pp. 35–44. (In Russ.)

12. Mamaev S.A. Experimental studies of the dynamic properties of soils by geophysical methods and their engineering and geological interpretation in specifying the seismicity of the construction site. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2006. No. 50. pp. 222–230. (In Russ.)

13. Mamaev S.A., Dorofeev V.M. Numerical statistical modeling of 7-point seismic effects for the far zone of earthquakes. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2002. No. 48. pp. 97–103. (In Russ.)

14. Mamaev S.A., Dorofeev V.M., Abdulatipov A.M., Mamaev A.S. Methods for determining the parameters of dynamic models of buildings and structures based on engineering-seismometric information. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2019. No. 78. pp. 17–29. (In Russ.)

15. Mamaev S.A., Ibaev Zh.G., Huseynova A.Sh., Kurbanismailova A.S., Mamaev A.S. The use of electronic databases in geological research. Geology and geophysics of the South of Russia. 2018. No. 4. pp. 104–116. (In Russ.)

16. Mamaev S.A., Ibaev Zh.G., Mamaev A.S., Mammaeva Zh.A. On the issue of translating earthquake forecast on a quantitative basis. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2017. No. 71. pp. 68–71. (In Russ.)

17. Redko S.F., Ushkalov V.F., Yakovlev V.P. Identification of mechanical systems. Kiev: Naukova Dumna, 1985. 215 p. (In Russ.)

18. Savovich M.K. The dynamic calculation of frame buildings: a manual. Khanty-Mansiysk. RIC of SUSU. 2005. 31 p. (In Russ.)

19. Taymazov D.G., Mamaev S.A., Abakarov A.D., Taymazov M.D. On the state and prospects of the development of the seismic safety system of the territory of Dagestan. Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2013. No. 51. pp. 36–42. (In Russ.)

20. Tikhonov A.N., Arsenin V.D. Methods for solving incorrect tasks. Moscow. Nauka, 1969. 285 p. (In Russ.)

21. Tikhonov A.P. On the regularization of incorrectly posed problems. DAN of the USSR. 1963b. Vol. 153 (3). pp. 49-52. (In Russ.)

22. Tikhonov A.P. On solving incorrectly posed problems and the regularization method. DAN of the USSR. 1963a. Vol. 151 (3). pp. 501-504. (In Russ.)

23. Tseytlin AI, Ataev M. Determination of the characteristics of structures according to the results of dynamic tests. Structural mechanics and calculation of structures. 1975. No. 6. (In Russ.)

24. Cherkashin V.I., Dorofeev V.M., Kraminin P.I., Magomedov R.A., Mamaev S.A., Nikuev R.Yu.

Organization of engineering-seismometric service in the Republic of Dagestan. Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2003. No. 14. pp. 25–37. (In Russ.)

25. Backus G., Gilbert P, Numerical application of a formalism for geophysical inverse problems. Geophys. J.R. Ast. Soc. 1967. Vol. 3. pp. 247-276.

26. Barbat A.H., Canet J.M., Estructuras sometidas a acciones sismicas, Centro Internacional de Metodos Numericos en Ingenieria. Barcelona.1994.

27. Chopra, A.K., Dynamics of Structures: Theory and Applications to Earthquake Engineering. Prentice Hall. 1996.

28. Cifuentus O.A. System identification of hysteretic structure, BBRL 84-04. Pasadena. 1984.

29. Conde, F.F. Seismic structures. International Simposium FIP. Tbilisi, 1972. pp. 655-663.

30. Craig R.R, Structural dynamics. An introduction to Computer methods. John Wiley & Sons, New York. 1981.

31. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Mamaev G.V., Shumicheva O.V. Analysis of the structural performance based on engineering-seismometric information. Proceedings of eighth Eu-ropean conference on earthquake engineering. Portugal, Lisbon. 1986.

32. Denisov B.E., Dorofeev V.M., Zeldin B.A., Mamaev S.A., Shumicheva O.V. Method of parameter determination of dynamic structure models based on engineering-seismometric data. Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. 1990. Vol. 8. pp. 321–332.

33. Dorofeev V.M., Dorofeev L.N., Mamaev S.A., Rusol E.I. Statistical modeling of seismic ef-fects for earthquake-resistant of structures. Proceedings of ninth European conference on earthquake engineering. 1990. Vol. 4. pp. 140–151.

34. Jackson D.D., Interpretation of inaccurate, inaccurate, insufficient and inconsistent date. Geophys. J.R. Ast. Soc. 1972. Vol.28 (2). pp. 97-109.

35. Jupp D.L.B., Vosoff K., Stable iterative methods for the inverse problem in geophysics. Proc. Nat. acad. Sei. 1971. Vol. 68 (2). pp. 291-293.

36. S.F. Masri, A.M. Ibrahim Response of the impact damper to stationary random excitation. The Journal of the Acoustical Society of America. 1973. Vol. 53. No. 1. pp. 200-211.

#### = ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГЕОМЕХАНИКА 😑

VДК 528.58+550.34.034 DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44536

#### Обзорная статья

## О перспективных направлениях развития средств и методов повышения сейсмической безопасности территории Дагестана

#### Д.Г. Таймазов<sup>1, 2</sup>, к.ф.-м.н., С.А. Мамаев<sup>2</sup>, к.т.н., А.С. Мамаев<sup>2</sup>

# <sup>1</sup>Единая геофизическая служба РАН, Россия, 249020, Калужская обл., г. Обнинск, пр-т Ленина, 189;

<sup>2</sup>Институт геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук, Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeogis@mail.ru

Статья поступила: 06.11.2019, после рецензирования: 08.12.2019, принята к публикации: 12.12.2019

Аннотация: Актуальность работы. После Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года прогностические наблюдения (сейсмические, геофизические и геохимические) на территории Дагестана не прекращались, но по продолжительности и детальности и охвату сейсмоактивных территорий, не отвечают требованиям, предъявляемым к подобным наблюдениям. Объект исследования – сейсмические процессы горного региона. Цель работы – определение направлений развития ресурсов и методов повышения сейсмической безопасности территории Дагестана. Методы исследования. Перспективы использования, разработанных авторами, новых аппаратурно-методических разработок. Результаты работы. Установлено, что разработанная деформационная станция траншейного типа (ДСТТ) в десятки раз дешевле и эффективнее, чем известная подземная деформационная станция штольневого типа. Это делает реальным создание в сейсмоопасных районах сети ДСТТ, что существенно расширит круг контролируемых параметров земной коры. В число этих параметров войдут локальные объемные деформации вмещающей среды, локальные линейные деформации в трех ортогональных координатах, величина и направление максимальных сдвиговых деформаций, азимут простирания и угол падения плоскости максимальных сдвиговых деформаций, деформация кручения относительно вертикальной оси, сейсмодеформации по трем координатам в широком частотном и динамическом диапазоне, локальные наклоны по двум ортогональным азимутам, сейсмоакселерограммы по трем ортогональным координатам в динамическом диапазоне 100 децибел, среднемасштабные (– 100 м) линейные деформации по трем ортогональным координатам, градиенты среднемасштабных линейных деформаций, среднемасштабные наклоны земной коры в двух ортогональных азимутах, крупномасштабные горизонтальные движения земной коры, вертикальные движения земной коры; неприливные изменения силы тяжести и ее производных, обусловленные тектоническими причинами, амплитуды и фазы приливных гармоник во временных изменениях деформаций, наклонов, силы тяжести и ее градиентов. Становится возможным регулярное разномасштабное картирование всех перечисленных параметров, что означает качественно новый уровень деформационного мониторинга земной коры. Показана целесообразность использования инструментального комплекса для организации сейсмопрогностических наблюдений на территории Дагестана.

**Ключевые слова:** деформация, площадные наблюдения, компьютерная обработка геофизических наблюдений, сейсмическое микрорайонирование, гравиметр, вариометр, наклономер, гидронивелир, деформационная станция, экстензометр.

**Для цитирования:** Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Мамаев А.С. О перспективных направлениях развития средств и методов повышения сеймической безопасности территории Дагестана. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 126-139. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44536.

= GEOTECHNOLOGY. GEOMECHANICS =

DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44536

#### Review

# On the promising areas for the development of tools and methods of improving the seismic safety of the territory of Dagestan

#### D.G. Taymazov<sup>1, 2</sup>, S.A. Mamaev<sup>2</sup>, A.S. Mamaev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unified Geophysical Service, Russian Academy of Sciences, 189 Lenin Ave., Obninsk 249020, Russian Federation;

<sup>2</sup>Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 75 Yaragskiy Str., Makhachkala 367010, Russian Federation, e-mail: dangeogis@mail.ru

#### Received: 06.11.2019, revised: 08.12.2019, accepted: 12.12.2019

Abstract: Relevance. After the Dagestan earthquake on May 14, 1970, prognostic observations (seismic, geophysical and geochemical) in the territory of Dagestan continued, but in terms of duration, detail and coverage of seismically active territories, they do not meet the requirements for such observations. The study object is the seismic processes of the mountain region. Aim. To determine the directions of resources development and methods for increasing the seismic safety of the territory of Dagestan. **Methods.** Prospects for the use of new hardware and methodological developments of authors. Results. It is established that the developed trench-type deformation station (TTDS) is ten times cheaper and more efficient than the well-known underground tunnel type deformation station. This makes it possible to create a network of TTDS in seismically hazardous areas, which will significantly expand the range of controlled parameters of the earth's crust. These parameters will include local volumetric deformations of the host medium, local linear deformations in three orthogonal coordinates, the magnitude and direction of maximum shear deformations, the strike azimuth and the angle of incidence of the plane of maximum shear deformations, torsional deformation relative to the vertical axis, seismic deformation along three coordinates in a wide frequency and dynamic range, local slopes along two orthogonal azimuths, seismic accelerograms along three orthogonal coordinates in dynamic range 100 decibels, medium-scale (- 100 m) linear deformations along three orthogonal coordinates, gradients of medium-scale linear deformations, medium-scale crustal tilts in two orthogonal azimuths, large-scale horizontal earth's crust movement, vertical movement of the earth's crust; nontidal changes in gravity and its derivatives caused by the tectonic reasons, the amplitudes and phases of tidal harmonics in temporal variations of deformations, inclinations, gravity and its gradients. The regular multi-scale mapping of all these parameters becomes possible, which means a qualitatively new level of deformation monitoring of the earth's crust. The expediency of the instrumental complex using for the organization of seismic-prediction observations in the territory of Dagestan is shown.

**Keywords:** deformation, areal observations, computer processing of geophysical observations, seismic microzonation, gravimeter, variometer, tiltmeter, hydraulic level, deformation station, extensometer.

**For citation:** Taymazov D.G., Mamaev S.A., Mamaev A.S. On the promising areas for the development of tools and methods of improving the seismic safety of the territory of Dagestan. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 126-139. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44536x.

Наиболее сейсмоактивными регионами России являются Камчатка и Курильские острова, где Тихоокеанская литосферная плита сталкивается с Евразийской, Северный Кавказ, находящийся неподалеку от места соединения сразу нескольких плит, а также район в окрестностях озера Байкал. Как отметил на недавней пресс-конференции «Прогноз землетрясений в России» заведующий отделением сейсмологии Института физики земли РАН Г.А. Соболев, России не хватает станций наблюдения за движениями земной коры в наиболее сейсмоопасных регионах. В долгосрочном плане Г.А. Соболев и его коллеги прогнозируют на территории нашей страны как минимум два крупных землетрясения: на границе Чечни и Дагестана и по соседству с Петропавловском-Камчатским. При этом, если на Камчатке сейсмологи отслеживают все подземные колебания, то на Северном Кавказе, по его словам, наблюдений практически не ведется.

Однако следует уточнить, что после Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года прогностические наблюдения (сейсмические, геофизические и геохимические) на территории Дагестана не прекращались, но ввиду хронического недофинансирования они как по продолжительности и детальности, так и по охвату сейсмоактивных территорий, никогда не отвечали в полной мере требованиям, предъявляемым к подобным наблюдениям. Тем не менее, в ходе этих работ в Институте геологии ДНЦ РАН был выполнен ряд теоретических разработок в области аппаратуры и методики прогностических наблюдений, защищенных 27 авторскими свидетельствами и патентами РФ и на базе которых предложены новые подходы к прогнозу землетрясений. При этом мы исходили из общепризнанного положения о том, что наиболее информативными для прогностических целей являются прямые площадные деформационные наблюдения. Их реализации препятствуют несовершенство существующей аппаратурной базы и методов площадных деформационных наблюдений, обработки и интерпретации результатов, чем и определяется актуальность проводимых исследований. В ходе этих исследований нами получены результаты, включающие новые алгоритмы и компьютерные программы обработки и интерпретации геофизических наблюдений, а также новые аппаратурные комплексы, и создающие тем самым определенный научный задел для дальнейших исследований. Они заключаются в следующем.

1. Разработана обобщенная модель подготовки очага тектонического землетрясения, содержащая основные признаки трех известных моделей сейсмогенеза – Stick-slip, ЛНТ и Консолидационной модели [Прогноз землетрясений, 1984; Добровольский, 1984]. На ее основе разработана стратегия прогноза сильных землетрясений по распределению амплитуд скачков сдвиговых деформаций на дневной поверхности, обусловленных сейсмическими событиями средней силы [Таймазов, 2000а, 2006а; Таймазов, Мамаев, 2011]. Показано, что по ним, а также по площадным наблюдениям микросейсмической эмиссии, можно оценить магнитуды будущих толчков и определить координаты их очагов уже на докритической стадии подготовки, соответствующей этапу долго- и среднесрочного прогноза, что существенно упрощает также задачу прогноза времени землетрясения. Согласно предложенному и запатентованному нами способу прогнозирования землетрясений [Таймазов, 2008а] микросейсмическую эмиссию предполагается регистрировать только из выделенного на глубине 3–10 км (в зависимости от геологических условий) слоя компетентных пород (компетентного слоя), перекрывающего в плане зону подготовки землетрясения.

2. Разработаны алгоритм и компьютерная программа OchagZeml.exe (в DELPHI) для определения по распределению в плане наблюдаемых амплитуд аномалий геофизических полей магнитуд и координат очаговых зон ожидаемых землетрясений. В основу программы заложен алгоритм локализации очагов землетрясения по данным площадных наблюдений геофизических полей, амплитуды которых убывают с расстоянием от источника (потенциального очага) по закону обратных кубов, например, касательных напряжений и микросейсмической эмиссии [Таймазов, 2006а, 2008а].

3. На территории Дагестана, помимо упомянутой выше приграничной с Чеченской Республикой зоны, по нашим наблюдениям можно выделить еще два потенциально сейсмоактивных района – эпицентральная область Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года с магнитудой 6,7, для которого период повторяемости составляет примерно 40 лет (Кумторкалинская зона), и область сейсмического затишья в Центральном Дагестане, ограниченная координатами 42°.00-42°.70 с.ш. и 46°.70-48°.00 в.д., в которой после относительно высокой сейсмоактивности в 2000 г. (за вторую половину 2000 года здесь произошло 4 землетрясения средней силы с магнитудами 3,1, 4,6, 4,6, 4,7, три из которых – в ее центральной области вблизи населенных пунктов Мекеги и Муги) не наблюдалось ошутимых землетрясений (сейсмическая брешь второго рода с кольцевой сейсмичностью [Рикитаке, 1979]). Более детальное рассмотрение этой зоны показало следующее: 1) до активизации в 2000 г., в предыдущие 10 лет (с 1991 года), здесь также имело место полное сейсмическое затишье; 2) по палеосейсмическим данным, в историческом прошлом на этой территории произошло ряд значимых сейсмических событий; 3) в течение 2002–2008 гг. наблюдалась тенденция к расширению зоны затишья, что находится в согласии с Консолидационной моделью подготовки землетрясений И.П. Добровольского. Активизация в 2000 г. центральной области этой зоны может быть интерпретировано как завершающий этап консолидации.

4. На этой площади создана наблюдательная сеть из 40 пунктов, равномерно покрывающих зону сейсмического затишья [Мамаев и др., 2009]. Координаты пунктов определялись с использованием системы GPS. Для определения уровня микросейсмической эмиссии на пунктах использовался вертикальный сейсмограф с пороговой чувствительностью к событиям 4 энергетического класса при глубине очагов микроземлетрясений до 10 км. Для спектрального анализа записей микросейсмической эмиссии разработана и апробирована специальная программа SPECTR на алгоритмическом языке DELPHI.

Для расширения исследований на этой площади разработано и изготовлено 6 комплектов передвижных цифровых сейсмостанций на базе сейсмодатчиков СМ-3. Это существенно облегчит сбор наблюдательного материала, необходимого для составления карты площадного распределения уровня микросейсмической эмиссии, апробации программы «OchagZeml» на реальных данных, ее доводки и выявления кольцевых структур в изолиниях микросейсмической эмиссии для возможного определения по ним координат и магнитуды очаговой зоны ожидаемого землетрясения в Дагестане.

В конечном итоге целью этих исследований является экспериментальная проверка предлагаемого подхода к долго- и среднесрочному прогнозированию землетрясений.

5. Разработана схема лабораторного эксперимента с использованием испытательной машины для независимой проверки обобщенной модели подготовки очага и предлагаемого алгоритма прогнозирования места и силы землетрясения по деформационным и сейсмоакустическим наблюдениям на искусственном образце, моделирующем реальную сейсмогенерирующую структуру. Эксперимент будет заключаться в деформировании бетонного куба с внесенным в него двухмерным мягким включением (моделирующим разлом) с введенными в него разномасштабными жесткими включениями в виде перемычек, самая крупная из которых моделирует потенциальную ОЗ главного толчка. По всей площади одной из граней куба, перпендикулярных «разлому», располагаются тензодатчики и приемники акустических сигналов. Обработке по программе OchagZeml.exe будут подвергнуты скачки деформаций окрестности «ОЗ главного толчка» после разрушения перемычек меньшего масштаба, а также уровень акустической эмиссии, регистрируемый приемниками в периоды относительного затишья.

Для независимой апробации алгоритма разработана также схема лабораторного эксперимента с большими (до 1 м) образцами без использования испытательной машины, которая воспроизведёт модель Stick-slip в условиях чистого сдвига. Для инициирования сдвиговых деформаций в эксперименте предполагается использовать вес самих образцов.

6. Разработан и запатентован способ определения изменений напряженно-деформированного состояния земной коры по изменениям относительных амплитуд отклика (ОАО) и времен запаздывания отклика (ВЗО) уровней воды в скважинах на баровариации с использованием когерентных гармоник во временных рядах наблюдений этих величин, например полусуточной гармоники S<sub>2</sub> [Таймазов, 2008б]. Теоретические оценки указывают на зависимость передаточной функции «атмосферное давление – уровень воды в скважине» от условий заложения скважины (ее глубины, удаленности от разрывных нарушений, степени трещиноватости пород между коллектором и скважиной и т.д.). Эти выводы подтверждены также данными почасовых измерений атмосферного давления и уровней воды в скважинах «Каспийск-115», «Айды» и «Серебряковка» в Дагестане, заложенных в различных геодинамических условиях [Таймазов и др., 2009] (за 2000–2008 гг. уже накоплено более 160 000 реализаций). Для калибровки ОАО и ВЗО в единицах деформаций используются приливные волны в деформациях, амплитуды и фазы которых определяются независимо. Для этого разработана и апробирована компьютерная программа «Period Searcher». С ее помощью во временных рядах атмосферного давления уверенно выделяются устойчивые гармоники S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub>, причем амплитуда S<sub>2</sub> существенно больше S<sub>1</sub>, что позволяет нам использовать ее как зондирующий сигнал в исследованиях напряженно-деформированного состояния земной коры. Цель этих исследований – развитие нового подхода к оценке изменений напряженно-деформированного состояния земной коры по откликам пьезометрических уровней воды в скважинах на вариации атмосферного давления.

Комплексный анализ результатов микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений

даст дополнительную информацию о напряженно-деформированном состоянии земной коры на территории Дагестана и сопредельных регионов.

7. Мы уже отмечали выше преимущества прямых деформационных наблюдений перед наблюдениями вторичных предвестников, в том числе и проводимыми нами микросейсмическими и гидрогеодинамическими наблюдениями. Однако проблема организации прямых площадных деформационных наблюдений, без которых последние теряют во многом свою прогностическую ценность, упирается в проблему создания деформационных станций, пригодных для этих целей по метрологическим и технико-экономическим характеристикам. Исходя из этого, мы в течение ряда лет проводили теоретические исследования по совершенствованию аппаратурно-методической базы геофизических наблюдений, которые завершились разработкой эскизного проекта деформационной станции траншейного типа (ДСТТ) [Таймазов, 2010а], которая базируется на следующих предложенных нами аппаратурных разработках: 1) Емкостный преобразователь перемещений [Магомедов, Мамаев, 2015; Мамаев и др., 2019] (пат. РФ №2281457, 2006); 2) Газожидкостный гравиметр [Мамаев и др., 2007, 2009] (пат. РФ №2282218, 2006); 3) Вертикальный гравитационный градиентометр [Отчет..., 1988; Прогноз землетрясений, 1984] (пат. РФ №2292065, 2007); 4) Гравитационный вариометр [Рикитаке, 1979] (пат. РФ №2290674, 2006); 5) Двухкоординатный струнный наклономер (пат. РФ №2287777, 2006); 6) Многокомпонентный скважинный деформограф [Таймазов, 20066] (пат. РФ №2282143, 2006); 7) Проволочный экстензометр [Таймазов, 2000а, 2008г] (пат. РФ №2282138, 2006); 8) Гидростатический нивелир [Таймазов, 1999, 2006] (пат. РФ №2282144, 2006); 9) Глубинный геодезический репер [Магомедов, Мамаев, 2019] (пат. РФ №2282145, 2006). Основные достоинства этих разработок заключаются в долговременной стабильности характеристик и наличии эффективной компенсации влияния экзогенных факторов (температуры, атмосферного давления, влажности, а также их градиентов), что позволяет размещать их в неглубоких траншеях.

ДСТТ представляет собой проложенные в направлениях С-Ю и В-3 две субгоризонтальные пересекающиеся траншеи с перекрытием длиной порядка 50–200 м и сечением около 2,5'1 м<sup>2</sup>, в которых установлены проволочные экстензометры и гидростатические нивелиры. Для повышения информативности дополнительно может быть проложена и оборудована диагональная траншея. На пересечениях траншей пробурены три субвертикальные скважины глубиной 100–200 м (до скальных пород), в которых устанавливаются многокомпонентные скважиные деформографы, наклономерысейсмографы и глубинные геодезические репера, верхние концы которых выходят в траншею (к экстензометрам и гидронивелирам) или на дневную поверхность (для геодезических измерений) и в реальном масштабе повторяют движения пород в местах закрепления в скважинах их нижних концов. На одном из пересечений траншей располагается лабораторное помещение станции, где устанавливаются гравиметр, гравиградиентометр, вариометр и аппаратура для предварительной обработки и передачи информации в центральный пункт системы прогнозных наблюдений.

По предварительным расчетам описанная ДСТТ в 20÷50 раз дешевле, чем известная подземная деформационная станция штольневого типа, что делает реальным создание в сейсмоопасных районах сети ДСТТ с интервалами порядка 30-50 км. Создание такой сети существенно расширит круг контролируемых параметров земной коры, в число которых войдут: 1) локальные объемные деформации вмещающей среды; 2) локальные линейные деформации в трех ортогональных координатах; 3) величина и направление максимальных сдвиговых деформаций; 4) азимут простирания и угол падения плоскости максимальных сдвиговых деформаций; 5) деформация кручения относительно вертикальной оси; 6) сейсмодеформации по трем координатам в широком частотном и динамическом диапазоне; 7) локальные наклоны по двум ортогональным азимутам; 8) сейсмоакселерограммы по трем ортогональным координатам в динамическом диапазоне 100 децибел; 9) среднемасштабные (100 м) линейные деформации по трем ортогональным координатам; 10) градиенты среднемасштабных линейных деформаций (по разнесенным в плане ДСТТ); 11) среднемасштабные наклоны земной коры в двух ортогональных азимутах (гидронивелиры); 12) крупномасштабные горизонтальные движения земной коры (по геодезическим измерениям с использованием глубинных реперов); 13) вертикальные движения земной коры (по гравиметрическим наблюдениям); 14) неприливные изменения силы тяжести и ее производных, обусловленные тектоническими причинами; 15) амплитуды и фазы приливных гармоник во временных изменениях деформаций, наклонов, силы тяжести и ее градиентов. Становится возможным регулярное разномасштабное картирование всех перечисленных параметров, что означает качественно новый уровень деформационного мониторинга земной коры.

Кроме того, каждая разработка в отдельности может быть применена и в других областях деятельности: в геодинамических наблюдениях, геологоразведке, для измерения малых сил в прецизионных гравитационных экспериментах [Taimazov, 2009б, в, 2010; Таймазов, 2008д, е, 2000б], для деформационного мониторинга крупных наземных инженерных сооружений (ГЭС, АЭС, ускорительных и антенных комплексов, зданий и т.п.) [Таймазов, 2008в, г, 2009а, б, 2010, 2006б; Taimazov, 2009а, г, 2010], в прецизионных станках и системах позиционирования (например, в сканирующем атомно-силовом микроскопе), что придает их реализации дополнительную актуальность.

Разумеется, реализация ДСТТ возможна только при наличии целевого финансирования, но в завершенном виде, вместе с технологией ее установки, проведения наблюдений, обработки и интерпретации результатов она могла бы стать предметом экспорта в такие экономически развитые страны с сейсмически активной территорией как США, Япония, Китай, Индия, Турция, Греция, Италия, что обеспечило бы многократную окупаемость всех финансовых затрат.

8. Для повышения информативности проводимых геофизических исследований в перспективе, при наличии дополнительного финансирования, предусмотрена разработка технологии режимных просвечиваний сейсмоактивных зон Восточного Кавказа с использованием тяжелых вибросейсмоисточников Кубанского государственного университета. Выбор и апробацию оптимальных трасс просвечивания и методики обработки данных предполагается осуществить совместно с Геофизическим полигоном Кубанского ГУ. В ходе выполнения этих работ планируется решить следующие задачи: 1) поиск скоростных контрастов между выделенными ранее в зоне сейсмического затишья объемами с повышенным и пониженным уровнями сейсмической эмиссии, сопоставление результатов вибропросвечиваний с результатами ГГД наблюдений; 2) сопоставление всех наблюдений с сейсмическим режимом контролируемой территории и временами пробега сейсмических волн от естественных источников (по региональному каталогу), поиск комплексных предвестников землетрясений; 3) вибропросвечивание сейсмически активной структуры на границе сочленения складчатого сооружения Восточного Кавказа и Терско-Каспийского передового прогиба и разрывных нарушений антикавказского простирания для уточнения их геометрических параметров (координат, глубин заложения, азимутов простирания и углов падения); 4) вибропросвечивание массива горных пород в зоне влияния водохранилища Чиркейской ГЭС в Дагестане для выявления изменений скоростных характеристик среды, связанных с сезонными изменениями уровня воды в водохранилище; 5) комплексная обработка и интерпретация микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений с результатами вибропросвечиваний земной коры Восточного Кавказа для уточнения параметров сейсмогенерирующих структур и выявления новых предвестников землетрясений.

9. Хотя тригтерная роль искусственных водохранилищ в сейсмическом процессе общеизвестна, но с точки зрения сейсмической опасности их роль явно преувеличена. Как показано в обзоре [Гупта, Растоги, 1979; Таймазов, 2000а], в общем потоке сильных сейсмических событий доля «плотинных» землетрясений крайне незначительна, а влияние самих водохранилищ сводится, по-видимому, лишь к незначительной коррекции времени срабатывания очага тектонического землетрясения (как правило, в сторону ускорения) и, как следствие, магнитуды главного толчка, преимущественно в сторону уменьшения. Тем не менее, сосредоточение сейсмопрогностических наблюдений вблизи искусственных водохранилищ с переменной нагрузкой на ложе с научной точки зрения оправдано, во-первых, самоподобием геологических процессов, позволяющим «переложить» закономерности, установленные для сравнительно слабых «плотинных» землетрясений, на тектонические землетрясения, во-вторых, существенно большей частотой повторяемости последних, позволяющей быстро накапливать материал для статистической обработки. В итоге наших многолетних (с 1975 по 1989 гг.) геофизических исследований в районе Чиркейского водохранилища с существенными сезонными колебаниями уровня (их амплитуда составляет 40 м, что соответствует изменению веса воды в водохранилище в 1,5 млрд тонн), к этим аргументам добавился еще один: выяснилось, что приле-

гающий к водохранилищу массив сравнительно более чувствителен к тектоническим процессам, в том числе и предсейсмическим [Гупта, Растоги, 1979]. Мы объясняем это тем, что ввиду больших значений градиентов водонасышенности пород предвестниковые деформации прибрежного массива приводят к большим изменениям интенсивности фильтрационных процессов, что проявляется в вариациях фильтрационного потенциала (естественное поле), кажущегося электросопротивления, а также компонентов магнитного и гравитационного полей. Большая протяженность периметра водохранилища повышает вероятность воздействия на него региональных тектонических деформации, т.е. оно выступает в роли своеобразной «антенны», улавливающей предвестниковые деформации земной коры на значительном удалении от водохранилища: по нашим оценкам вблизи Чиркейского водохранилища мы в состоянии зарегистрировать аномальные деформации, соответствующие подготовке землетрясения с магнитудой 5,5-6,0 в радиусе до 200 км. Важно, что при этом открывается возможность по амплитудам аномалий геофизических полей прогнозировать также степень возможного воздействие на водохранилище ожидаемого землетрясения, что поможет в разработке защитных мероприятий.

10. Неотъемлемой частью мер по обеспечению сейсмической безопасности является сейсмическое районирование и микрорайонирование. Согласно карте общего сейсмического районирования (ОСР-97), прибрежная и предгорная части Республики, в которых сосредоточена большая часть инфраструктуры Дагестана, переведены в девятибалльную зону сотрясений. В соответствие с нормами и правилами, разработанными в свое время ЕСССН и Госстроя РФ, сейсмическое микрорайонирование городов и других объектов должно обновляться через каждые 10 лет. Связано это как с изменением геолого-сейсмологической ситуации, так и с освоением новых площадей, занимаемых под строительство зданий и промышленных сооружений. В этой связи предлагается возобновить работы и по созданию сети сейсмометрических станций для изучения поведения зданий и сооружений в городах и крупных населенных пунктах республики во время землетрясений. Результаты этих исследований будут применены строителями-проектировщиками для оптимизации и выбора сейсмостойких конструктивных решений, что также будет способствовать существенному снижению степени сейсмического риска. Проведение работ по инженерно-геологическому районированию на территориях, охваченных микрорайонированием, позволит выполнить корректировку генпланов, приводящей к существенному уменьшению затрат на строительство и антисейсмические мероприятия [Отчет..., 1988; Заалишвили, 2009; Магомедов, Мамаев, 2015; Мамаев и др., 2019; Мамаев и др., 2009]. Планируются также исследования по оценке сейсмической опасности для ответственных объектов промышленного и гражданского значения, а также источников вторичной сейсмической опасности в Дагестане (каскад ГЭС, ТЭЦ, водохранилища, оползневые массивы, трубопроводные системы и т.д.).

Для снижения сейсмического риска территории городов и крупных населенных пунктов Дагестана необходимо провести сейсмическое микрорайонирование, которое не проводилось со времен развала Советского Союза. К первоочередным объектам для проведения сейсмического микрорайонирования относятся следующие города и населенные пункты: Махачкала, Каспийск, Дербент, Буйнакск, Избербаш, Кизилюрт, Хасавюрт, Кизляр, Бабаюрт. Для некоторых городов таких как Избербаш, Хасавюрт, Кизилюрт, Кизляр ранее не существовали карты сейсмического микрорайонирования, а были составлены временные схемы инженерно-геологического районирования, которые в настоящее время не отвечают нормам для проектирования и строительства. Известно, что многие объекты в республике возводятся без должного соблюдения строительных норм и правил [Таймазов и др., 2013; Черкашин и др., 2006; Мамаев и др., 2007; Таймазов, Мамаев, 2010; Магомедов, Мамаев, 2019; Мамаев и др., 2019; Абдулганиева и др., 2019]. К примеру, последняя карта сейсмического микрорайонирования г. Махачкала была составлена более 30 лет назад [Отчет..., 1988; Черкашин и др., 2003]. За это время город значительно увеличился по занимаемой площади, т.е. вышел за пределы карты сейсмического микрорайонирования, следствием чего является значительное увеличение степени сейсмического риска при возможном сильном землетрясении.

Ниже, в таблице 1 приведены сведения об имеющихся картах (схемах) сейсмического микрорайонирования территорий городов и населенных пунктов РД.

#### Таблица 1. / Table 1.

# Сведения о существующих картах (схемах) сейсмического микрорайонирования городов Республики Дагестан. / Information about the existing maps (schemes) of seismic microzonation of the cities of the Republic of Dagestan.

<u>№</u> π/π / No.	Название карты сейсмического микрорайониро- вания, масштаб, численность на- селения. / Title of the map of seismic microzonation, scale, population.	Год разра- ботки, год корректиров- ки. / Year of development, year of adjustment	Организация исполнитель. / Executing agency	Площадь карты СМР, площадь города в преде- лах современ- ного генплана. / SMZ map area, the area of the city within the limits of the modern general plan	Основные методы СМР, примененные при разработке карты. / The main SMZ methods used in the development of the map	Примечание. / Remark
1	Карта сейсми- ческого микро- районирования г. Махачкала; М:1:10000. Око- ло 700 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Makhachkala; M: 1:10000. About 700 thousand people.	1988 г.	Трест Ставро- поль-Тисиз. / Stavropol-Tisiz group	62 км <sup>2</sup> 100 км <sup>2</sup>	А,Б,В,Г / А,В,С,D	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) вы- ход районов перспек- тивной застройки за пределы существу- ющей карты СМР. / Increase in the initial seismicity in SNiP II- 7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map
2	Карта сейсми- ческого микро- районирования г. Каспийск; M:1:10000 150 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Kaspiysk; M: 1:10000 150 thousand people	1990 г.	Трест Ставро- поль-Тисиз. / Stavropol-Tisiz group	25 км <sup>2</sup> 32 км <sup>2</sup>	А,Б,В,Г / А,В,С,D	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97), вы- ход районов перспек- тивной застройки за пределы существу- ющей карты СМР. / Increase in the initial seismicity in SNiP II- 7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map
3	Карта сейсми- ческого микро- районирования г. Дербента; M:1:10000 140 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Derbent; M: 1:10000 140 thousand people	1985 г	Трест Ставро- поль-Тисиз. / Stavropol-Tisiz group	21 км <sup>2</sup> 30 км <sup>2</sup>	А,Б,В,Г / А,В,С,D	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) вы- ход районов перспек- тивной застройки за пределы существую- щей карты СМР, под- топление отдельных участков территории города / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory

4	Карта сейсмиче- ского микрорайо- нирования г. Буйнакска; M:1:10000 40 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Byinaksk; M:1:10000 40 thousand people	1974 u/	Дагестан- гражданпроект. / Dagestan- grazhdanproekt	18 км <sup>2</sup> 22 км <sup>2</sup>	А,Б,В,Г / А,В,С,D	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) вы- ход районов перспек- тивной застройки за пределы существую- щей карты СМР, под- топление отдельных участков территории города. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory
5	Карта сейсми- ческого микро- районирования г. Избербаша; M:1:10000 50 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Izberbash; M:1:10000 50 thousand people	Временная cxeмa 1997. / Time scheme 1997	Дагестан- гражданпроект / Dagestan- grazhdanproekt	20 км <sup>2</sup>	А,Б,В,Г / А,В,С,D	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) вы- ход районов перспек- тивной застройки за пределы существую- щей карты СМР, под- топление отдельных участков территории города. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory
6	Карта сейсми- ческого микро- районирования г. Кизилюрта; M:1:10000 30 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Kizilyurt; M:1:10000 30 thousand people	Временная cxeмa. / Time scheme		20 км <sup>2</sup>	А,Б,В,Г / А,В,С,D	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) вы- ход районов перспек- тивной застройки за пределы существую- щей карты СМР, под- топление отдельных участков территории города / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory

7	Карта сейсми- ческого микро- районирования г. Xасавюрта; M:1:10000 60 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Khasavyurt; M:1:10000 60 thousand people	Временная cxeмa. / Time scheme	20 км <sup>2</sup>	А,Б,В,Г / А,В,С,D	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) вы- ход районов перспек- тивной застройки за пределы существую- щей карты СМР, под- топление отдельных участков территории города. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) the expansion of prospective development areas beyond the existing SMZ map, flooding of the certain sections of the town territory
8	Карта сейсми- ческого микро- районирования г. Кизляра; М: 1:10000, 50 тыс. чел. / The map of seismic microzonation of Kizlyar; M:1:10000 50 thousand people	Временная схема. / Time scheme	25 км <sup>2</sup>	А,Б,В,Г / А,В,С,D	Повышение исходной сейсмичности в СНиП II-7-81, (ОСР-97) под- топление отдельных участков территории города. / Increase in the initial seismicity in SNiP II-7-81, (GSZ-97) flooding of the certain sections of the town territory

В заключение кратко перечислим те задачи, которые вытекают из выше изложенного и будут выполнены в рамках плановой тематики.

1. Совершенствование компьютерной программы OchagZeml, апробация ее на модельных и реальных примерах.

2. Полигонные испытания и наладка разработанных и изготовленных нами передвижных цифровых сейсмометров (6 комплектов). Наблюдения в режиме опроса микросейсмической эмиссии на 40 пунктах, заложенных в зоне сейсмического затишья в Дагестане, накопление и систематизация данных площадных наблюдений. Обработка данных с использованием модернизированной программы OchagZeml.exe, поиск кольцевых структур в их площадном распределении для возможной локализации очаговой зоны готовящегося землетрясения.

3. Продолжение наблюдений за выявленной ранее динамикой расширения площади зоны сейсмического затишья на территории Дагестана с использованием данных локальной сети Дагестанского филиала Геофизической службы РАН и проводимой нами регистрации микросейсмической эмиссии.

4. Апробация нового метода определения изменений напряженно-деформированного состояния земной коры (патент №2316027): 1) гармонический анализ многолетних гидрогеодинамических наблюдений в 3-х скважинах на территории Дагестана по модернизированной программе «Period Searcher»; 2) составление временных рядов ОАО и ВЗО по двум устойчивым гармоникам S<sub>1</sub> и S<sub>2</sub> в атмосферном давлении и поиск в них приливных гармоник путем повторной обработки по программе «Period Searcher»; 3) корреляционный анализ временных рядов ОАО и ВЗО с временным рядом сейсмических событий.

5. Комплексный анализ результатов микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений, уточнение по ним напряженно-деформированного состояния земной коры на территории Дагестана.

6. Разработка и изготовление 3-го варианта МСД с тангенциальным расположением обкладок емкостного преобразователя, изготовление и сборка стенда для лабораторного исследования МСД, разработка рабочих чертежей опытного образца МСД, разработка рабочих чертежей лабораторного

образца проволочного экстензометра (ПЭ), подготовка проектов МСД, ПЭ и других разработок к представлению на конкурсы инновационных проектов.

При наличии дополнительного финансирования могут быть решены следующие задачи.

7. Разработка технического проекта, изготовление и исследование лабораторного образца ДСТТ. Проектирование, изготовление и тестирование опытного образца ДСТТ.

8. Реализация лабораторного эксперимента с использованием испытательной машины для независимого тестирования алгоритма и программы OchagZeml.exe; реализация лабораторного эксперимента без использования испытательной машины, в условиях **чистого сдвига**.

9. Разработка и практическая реализация технологии режимных просвечиваний сейсмоактивных зон Восточного Кавказа с использованием тяжелых вибросейсмоисточников Кубанского государственного университета.

10. Возобновление геофизических наблюдений в окрестности Чиркейского водохранилища для регистрации аномальных деформаций, предваряющих сильные тектонические землетрясения.

11. Обобщение результатов комплексного анализа микросейсмических и гидрогеодинамических наблюдений, а также вибросейсмического просвечивания и разработка практических рекомендаций по широкому использованию предлагаемого комплекса при исследовании напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

12. Сейсмическое районирование и микрорайонирование городов и крупных населенных пунктов на территории Дагестана и сопредельных регионов.

#### Литература

1. Абдулганиева Т.И., Самедов Ш.Г., Мамаев С.А., Курбанисмаилова А.С. Экологические аспекты охраны природных вод Дагестана. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019. – №2(77). – С. 55–59.

2. Гупта Х., Растоги Б. Плотины и землетрясения. – М.: Мир, 1979. – 251 с.

3. Добровольский И.П. Механика подготовки тектонического землетрясения. – М.: Наука, 1984. – 188 с.

4. Заалишвили В.Б. Сейсмическое микрорайонирование территорий городов населенных пунктов и больших строительных площадок. – М.: Наука, 2009. – 350 с.

5. Магомедов Р.А., Мамаев С.А. Некоторые результаты исследований геотектонических условий и современной сейсмичности Восточного Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. –№1(9). – С. 29–42.

6. Магомедов Р.А., Мамаев С.А. Сейсмотектонические и геодинамические особенности дагестанского сектора Восточного Кавказа. // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2015. – №4(39). – С. 127–135.

7. Мамаев С.А., Сулейманов В.К., Мамаев А.С. Современное применение Гис-технологий при мониторинге экзогенных процессов в Республике Дагестан. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2019. – №1(76). – С. 61–66.

8. Мамаев С.А., Таймазов Д.Г., Магомедов Р.А., Магомедов Ю.М., Магомедов А.Г., Никуев Р.Ю. Наблюдения за микросейсмической эмиссией на территории Дагестана. // Ресурсы подземных вод Юга России и меры по их рациональному использованию, охране и воспроизводству». Тр. ИГ ДНЦ РАН. Вып. 55. – Махачкала. – 2009. – С. 279–281.

9. Мамаев С.А., Черкашин В.И., Магомедов Р.А. Организация инженерно-сейсмологических и сейсмометрических прогнозных исследований в Дагестане. //Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2007. – №51. – С. 27–34.

10. Отчет о СМР территории перспективной застройки г. Махачкала. // Госстрой РСФСР. «СтаропольТизис». – Пятигорск. – 1988. – 550 с.

11. Прогноз землетрясений. – Душанбе – Москва: ДОНИШ, 1984. – №3. – 216 с.

12. Рикитаке Т. Предсказание землетрясений. – М.: Мир, 1979. – 388 с.

13. Таймазов Д.Г. Водохранилище как индикатор сейсмотектонических деформаций. // Тез. докл. междун. научн. конф. к 275-летию РАН. – Махачкала: Изд-во ДНЦ РАН, 1999. – С. 350-351.

14. Таймазов Д.Г. Аппаратурно-методические аспекты детерминистического подхода к прогнозу землетрясений. // Вестн. ДНЦ РАН. – 2000а. – №6. – С. 38–44.

15. Таймазов Д.Г. О возможности экспериментального обнаружения эффекта экранирования гравитации. // Вест. ДНЦ РАН. – 2000б. – №8. – С. 34–39.

16. Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования сильных землетрясений: Патент РФ № 2282220. БИ № 23. – 2006а.

17. Таймазов Д.Г. Многокомпонентный скважинный деформограф. // Вестн. ДНЦ РАН. – 2006б. – №26. – С. 9–16.

18. Таймазов Д.Г. Способ прогнозирования землетрясений: Патент РФ № 2325673. БИ № 15. – 2008а.

19. Таймазов Д.Г. Способ определения изменений напряженно-деформированного состояния земной коры: Патент РФ № 2316027. БИ №3. – 20086.

20. Таймазов Д.Г. Широкодиапазонный емкостный преобразователь перемещений для прецизионных приборов и систем позиционирования. // Сейсм. приборы. – 2008в. – Т. 44. №3. – С. 55-58.

21. Таймазов Д.Г. Прецизионный проволочный экстензометр для сейсмопрогностических наблюдений. // Сейсмические приборы. – 2008г. – Т. 44. №3. – С. 48–54.

22. Таймазов Д.Г. О путях улучшения метрологических и эксплуатационных характеристик газожидкостных гравиметров. // Сейсм. приборы. – 2008д. – Т. 44. №4. – С. 27–35.

23. Таймазов Д.Г. Струнный вертикальный гравитационный градиентометр. // Сейсм. приборы. – 2008е. – Т. 44. №4. – С. 36–42.

24. Таймазов Д.Г. Безмаятниковый гравитационный вариометр // Сейсмические приборы. – 2009 f. – T. 45. №3. – С. 56–59.

25. Таймазов Д.Г. Трехжидкостный гидростатический нивелир. // Сейсмические приборы. – 2009,. – Т. 45. №2. – С. 42–45.

26. Таймазов Д.Г. О возможности создания многокомпонентной деформационной станции траншейного типа для сейсмопрогностических наблюдений. // Сейсмические приборы. – 2010. – Т. 46. №1. – С. 42–49.

27. Таймазов Д.Г., Лугуев Т.С., Шарапудинов Т.И. Об изменчивости функций связи между когерентными гармониками во временных рядах атмосферного давления и пьезометрических уровней в скважинах. // Ресурсы подземных вод Юга России и меры по их рациональному использованию, охране и воспроизводству». – Тр. ИГ ДНЦ РАН. – 2009. – Вып. 55.– С. 279–282.

28. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А. О перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана. // В сборнике: Сейсмическая опасность и управление сейсмическим риском на Кавказе Труды IV Кавказской международной школы-семинара молодых ученых. Центр геофизических исследований ВНЦ РАН и РСО-А, Заалишвили В.Б. редактор. – Владикавказ. – 2011. – С. 224–235.

29. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А. О развитии новых подходов к проблеме сейсмической безопасности территории Дагестана с использованием геофизических наблюдений. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2010. – №56. – С. 236–244.

30. Таймазов Д.Г., Мамаев С.А., Абакаров А.Д., Таймазов М.Д. О состоянии и перспективах развития системы сейсмической безопасности территории Дагестана. // Вестник Дагестанского научного центра РАН. – 2013. – №51. – С. 36–42.

31. Черкашин В.И., Дорофеев В.М., Крамынин П.И., Магомедов Р.А., Мамаев С.А., Никуев Р.Ю. Организация инженерно-сейсмометрической службы в Республике Дагестан. // Вестник Дагестан-ского научного центра РАН. – 2003. – №14. – С. 25–37.

32. Черкашин В.И., Мамаев С.А., Магомедов Р.А. Сейсмомониторинг и оценка сейсмического риска территории Дагестана. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2006. – №50. – С. 287–291.

33. Taimazov D.G. Wide\_Range Displacement Capacitance Transducer for Precision Instruments and Positioning Systems. // Seismic Instruments. – 2009a. – Vol. 45. – Pp. 75–77.

34. Taimazov D.G. Ways to Improve Metrological and Operational Characteristics of Liquid Gravimeters. // Seismic Instruments. – 20096. – Vol. 45. – Pp. 110–114.

35. Taimazov D.G. Stringed Vertical Gravimetric Gradient Meter. // Seismic Instruments. – 2009B. – Vol. 45. – Pp. 115–118.

36. Taimazov D.G. Precision Wire Extensometer for Seismoprognostic Observations. // Seismic Instruments. – 2009r. – Vol. 45. – Pp. 78–82.

37. Taimazov D.G. Three\_Fluid Hydrostatic Level. // Seismic Instruments. – 2010. – Vol. 46. No. 1. – Pp. 75–77.

#### References

1. Abdulganieva T.I., Samedov Sh.G., Mamaev S.A., Kurbanismailova A.S. Ecological aspects of the natural waters protection in Dagestan. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2019. No. 2 (77). pp. 55–59. (In Russ.)

2. Gupta Kh., Rastogi B. Dams and earthquakes. Moscow. Mir, 1979. 251 p. (In Russ.)

3. Dobrovol'skii I.P. The mechanics of a tectonic earthquake preparation. Moscow. Nauka, 1984. 188 p. (In Russ.)

4. Zaalishvili V.B. Seismic microzonation of territories of cities, settlements and large construction sites. M. Nauka, 2009. 350 p. (In Russ.)

5. Magomedov R.A., Mamaev S.A. Some research results of geotectonic conditions and modern seismicity of the Eastern Caucasus. Geology and geophysics of Russian South. 2019. No.1 (9). pp. 29–42. (In Russ.)

6. Magomedov R.A., Mamaev S.A. Seismotectonic and geodynamic features of the Dagestan sector of the Eastern Caucasus. Bulletin of the Dagestan State Technical University. Technical science. 2015. No. 4 (39). pp. 127–135. (In Russ.)

7. Mamaev S.A., Suleimanov V.K., Mamaev A.S. Modern application of Gis-technologies for monitoring exogenous processes in the Republic of Dagestan. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2019. No. 1 (76). pp. 61–66. (In Russ.)

8. Mamaev S.A., Taimazov D.G., Magomedov R.A., Magomedov Yu.M., Magomedov A.G., Nikuev R.Yu. Observations of microseismic emissions in Dagestan. Groundwater resources of the Russian South and measures for their rational use, protection and reproduction". Proceedings IG DSC RAS. Vol. 55. Makhachkala. 2009. pp. 279–281. (In Russ.)

9. Mamaev S.A., Cherkashin V.I., Magomedov R.A. Organization of engineering-seismological and seismometric prognostic researches in Dagestan. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2007. No. 51. pp. 27–34. (In Russ.)

10. Report on seismic microzonation of the territory for perspective development of the city of Makhachkala. Gosstroy of the RSFSR. StaropolTisis. Pyatigorsk. 1988. 550 p. (In Russ.)

11. The prognosis of earthquakes. Dushanbe – Moscow. DONISH, 1984. No. 3. 216 p. (In Russ.)

12. Rikitake T. Earthquake prognosis. M. Mir, 1979. 388 p. (In Russ.)

13. Taimazov D.G. Water reservoir as an indicator of seismotectonic deformations. Conference abstracts of International Scientific Conference Devoted to the 275th Anniversary of the RAS. Makhachkala. Publishing House of the DSC RAS, 1999. pp. 350-351. (In Russ.)

14. Taimazov D.G. Instrumental and methodological aspects of the deterministic approach for earthquake prognosis. Bulletin of DSC RAS. 2000a. No. 6. pp. 38–44. (In Russ.)

15. Taimazov D.G. On the possibility of experimental detection of the shielding gravity effect. Bulletin of DSC RAS. 2000b. No. 8. pp. 34–39. (In Russ.)

16. Taimazov D.G. A method for strong earthquakes prognosis. RF patent No. 2282220. BI No. 23. 2006a. (In Russ.)

17. Taimazov D.G. Multicomponent downhole strain gauge. Bulletin of DSC RAS. 2006b. No. 26. pp. 9–16. (In Russ.)

18. Taimazov D.G. Earthquake prognosis method: RF Patent No. 2325673. BI No. 15. – 2008a. (In Russ.)

19. Taimazov D.G. A method for determining changes in the stress-strain state of the earth's crust: RF Patent No. 2316027. BI No. 3. 2008b. (In Russ.)

20. Taimazov D.G. Wide-range capacitive displacement transducer for precision instruments and positioning systems. Seismic instruments. 2008c. Vol. 44. No. 3. pp. 55-58. (In Russ.)

21. Taimazov D.G. Precision wire extensioneter for seismic prognostic observations. Seismic instruments. 2008d. Vol. 44. No. 3. pp. 48–54. (In Russ.)

22. Taimazov D.G. About ways to improve metrological and operational characteristics of gas-liquid gravimeters. Seismic instruments. 2008e. Vol. 44. No. 4. pp. 27–35. (In Russ.)

23. Taimazov D.G. Stringed vertical gravity gradiometer. Seismic instruments. 2008f. Vol. 44. No. 4. pp. 36–42. (In Russ.)

24. Taimazov D.G. Limeless gravity variometer. Seismic Instruments. 2009f. Vol. 45. No. 3. pp. 56–59. (In Russ.)

25. Taimazov D.G. Three-fluid hydrostatic level. Seismic instruments. 2009. Vol. 45. No. 2. pp. 42–45. (In Russ.)

26. Taimazov D.G. On the possibility of creating a multicomponent deformation station of a trench type for seismic-prognosis observations. Seismic instruments. 2010. Vol. 46. No. 1. pp. 42–49. (In Russ.)

27. Taimazov D.G., Luguev T.S., Sharapudinov T.I. The variability of the coupling functions between coherent harmonics in the time series of atmospheric pressure and piezometric levels in wells. Groundwater resources of the Russian South and measures for their rational use, protection and reproduction". Proceedings of IG DSC RAS. 2009. Issue. 55. pp. 279–282. (In Russ.)

28. Taimazov D.G., Mamaev S.A. On the prospects for the development of the seismic safety system of the territory of Dagestan. Seismic hazard and seismic risk management in the Caucasus. Proceedings of the IV Caucasian International School-Seminar for Young Scientists. Vladikavkaz. 2011. pp. 224–235. (In Russ.)

29. Taimazov D.G., Mamaev S.A. On the development of new approaches to the problem of seismic safety of the Dagestan territory using geophysical observations. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2010. No. 56. pp. 236–244. (In Russ.)

30. Taimazov D.G., Mamaev S.A., Abakarov A.D., Taimazov M.D. On the state and development prospects of the seismic safety system of the Dagestan territory. Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2013. No. 51. pp. 36–42. (In Russ.)

31. Cherkashin V.I., Dorofeev V.M., Kramynin P.I., Magomedov R.A., Mamaev S.A., Nikuev R.Yu. Organization of engineering-seismometric service in the Republic of Dagestan. Bul. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2003. No. 14. pp. 25–37. (In Russ.)

32. Cherkashin V.I., Mamaev S.A., Magomedov R.A. Seismic monitoring and seismic risk assessment of the Dagestan territory. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2006. No. 50. pp. 287–291. (In Russ.)

=ГЕОЭКОЛОГИЯ =

VДК 553:552.52:691 DOI: <u>10.23671/VNC.2019.4.44539</u>

Оригинальная статья

# Композиционные вяжущие вещества из промышленных отходов

#### Б.Д. Тотурбиев, д.т.н., проф., С.А. Мамаев, к.т.н., А.Б. Тотурбиев, к.т.н.

#### Институт геологии Дагестанского научного центра Российской Академии Наук, Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: totbat@mail.ru

Статья поступила: 26.10.2019, после рецензирования: 21.11.2019, принята к публикации: 12.12.2019

Аннотация: Актуальность. Утилизация многотоннажных отходов черной и цветной металлургии, теплоэнергетики и угольной промышленности в производстве строительных материалов является важной проблемой, решение которой позволит обеспечить промышленность и, прежде всего, строительный комплекс богатейшим источником дешевого, зачастую уже подготовленного сырья и создаст реальные возможности экономии топлива, энергии, сокращения капиталовложений. Объект исследования – композиционные вяжущие вещества. Цель работы – вовлечение промышленных отходов в производство строительных материалов для получения композиционных вяжущих веществ. Методы исследования: лабораторные исследования физико-механических прочностных свойств композиционных объектов. Результаты работы. Приведены результаты использования отходов пемза-шлак, шлаки ваграночные, топливные шлаки, зола для получения композиционных вяжущих веществ; теоретические основы формирования структуры тонкоизмельченной силикатнатриевой композиции избезводных натриево-калиевых силикатов и промышленных отходов. Результаты экспериментальных исследований показали, что управление основными свойствами композиционного вяжущего вещества можно осуществлять изменяя ряд технологических факторов, таких как содержание силиката натрия в композиции (20-30 масс %), тонкость помола компонентов (2000-2500 см2/г), количество воды затворения (17-20%), степень уплотнения смеси, применение тех или иных тонкомолотых отходов. Вяжущие свойства композиций проявляются главным образом за счет приобретения безводным силикатом натрия и калия адгезионных свойств, определяющих клеящую способность этого компонента. Когезионная прочность клеевых контактов, прочность и долговечность, в свою очередь, зависит от условий их образования. Установлено, что при нагревании композиции в интервале температур 90-100°С происходит наиболее интенсивное поверхностное растворение зерен силикат-глыбы и, как следствие, увеличение площади клеевых контактов. Последующее повышение температуры до 180-200°С приводит к почти полному обезвоживанию системы и ее упрочнению, вследствие резкого повышения когезионной прочности клеевых контактов. Проведенные экспериментальные исследования показали возможность получения практически из любого вида отходов композиционных вяжущих на безводных натриево-калиевых силикатах. Вяжущие свойства этих композиций проявляются за счет приобретения безводным натриево-калиевым силикатом адгезионных свойств, определяющих клеящую способность этого компонента, и когезионной прочности клеевых контактов, прочность и долговечность которых, в свою очередь, зависит от условий их образования.

**Ключевые слова**: безводные силикаты натрия, композиционные вяжущие вещества, производственные отходы: зола-унос, топливный шлак, ваграночный шлак, пемзошлак, натриево-калиевая силикатглыба, процесс структурообразования, адгезионные и когезионные свойства, технологические факторы, клеевые контакты.

Для цитирования: Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Композиционные вяжущие вещества из промышленных отходов. Геология и Геофизика Юга России. 2019. 9(4): 140-148. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44539. = GEOECOLOGY =

#### DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44539

#### **Original paper**

### Composite binders from industrial waste

#### B.D. Toturbiev, S.A. Mamaev, A.B. Toturbiev

# Institute of Geology, Dagestan Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 75 Yaragskiy Str., Makhachkala 367010, Russian Federation, e-mail: totbat@mail.ru

Received: 26.10.2019, revised: 21.11.2019, accepted: 12.12.2019

**Abstract: Relevance.** Utilization of large-tonnage wastes of ferrous and non-ferrous metallurgy, heat power engineering and the coal industry in the production of building materials is an important problem. The solution of tis problem will provide the industry and the construction complex with the richest source of cheap, often already prepared raw materials and create real opportunities for saving fuel, energy, and reducing investment. The objects of the study are composite binders. Aim. The involvement of industrial waste in the production of building materials to obtain composite binders. **Methods.** Laboratory analysis of the physicomechanical strength properties of composite objects. Results. The results of using pumice slag waste, cupola slag, fuel slag, ash for the production of composite binders; theoretical foundations of the formation of the structure of finely divided sodium silicate composition from anhydrous sodium potassium silicates and industrial wastes. The results of experimental studies have shown that the basic properties of a composite binder can be controlled by changing a number of technological factors, such as the sodium silicate content in the composition (20-30 mass%), the fineness of the components (2000-2500 cm2/g), the amount of mixing water (17-20%), the degree of compaction of the mixture, the use of one or another fine-ground waste. The binding properties of these compositions are manifested mainly due to the adhesion properties determining the cementing power of this component by anhydrous sodium silicate and potassium silicate. The cohesive strength of adhesive contacts, strength and durability, in turn depends on the conditions of their formation. It was found that during composition heating within the temperature range 90-100°C, the most intense surface dissolution of the silicate block grains occurs and, as a result, the adhesive contact area increases. A subsequent increase in temperature to 180-200°C leads to an almost complete dehydration of the system and its hardening, due to a sharp increase in the cohesive strength of the adhesive contacts. Experimental investigations have shown the possibility of obtaining from virtually any type of waste composite binders on anhydrous sodium-potassium silicates. The binding properties of these compositions are manifested due to the acquisition of anhydrous sodium-potassium silicate adhesive properties that determine the adhesive ability of this component, and the cohesive strength of adhesive contacts, the strength and durability of which, in turn, depends on the conditions of their formation.

**Keywords:** anhydrous sodium silicates, composite binders, industrial waste: fly ash, fuel slag, cupola slag, pumice slag, sodium potassium silicate block, structure formation process, adhesion and cohesion properties, technological factors, adhesive contacts.

**For citation:** Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbiev A.B. Composite binders from industrial waste. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. 9(4): 140-148. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44539.

Известно, утилизация многотоннажных отходов черной и цветной металлургии, теплоэнергетики и угольной промышленности в производстве строительных материалов является важной проблемой, решение которой позволит обеспечить промышленность и, прежде всего, строительный комплекс богатейшим источником дешевого, зачастую уже подготовленного сырья, создает реальные возможности экономии топлива, энергии, сокращения капиталовложений [Абдрахимов В., Абдрахимов Е., 2014; Абдрахимов и др., 2013; Березовский, 2017; Ниязбекова, 2006; Определение качеств..., 2019; Павлов, 2003; Чантурия и др., 2007].

Если учесть к тому же экологический эффект, то решение проблемы широкого вовлечения промышленных отходов в производство строительных материалов становится настоятельной необходимостью сегодняшнего дня. В настоящее время некоторые виды этих вторичных продуктов применяются при изготовлении вяжущих материалов – цемента, ячеистых и плотных бетонов, пористых заполнителей, керамических стеновых изделий, дренажных труб и др. При этом удельные капиталовложения сокращаются в 2-2,5 раза по сравнению с использованием специально добываемого сырья, а себестоимость и трудозатраты в 1,2-2 раза.

Существующие объемы промышленных отходов в десятки раз превышают сегодняшние объемы их реализации, хотя и у нас в стране и за рубежом [Muñoz Velasco et al., 2014; Naganathan et al., 2015; Raut et al., 2011; Sena da Fonseca et al., 2015; Kizinievic et al., 2013; Benlalla et al., 2015; Ukwatta et al., 2015] проводятся большие научно-исследовательские и проектно- конструкторские работы по проблеме утилизации данных отходов.

Поэтому, поиск новых эффективных путей вовлечения промышленных отходов в производство строительных материалов является, несомненно, актуальной задачей.

В этой связи перспективными являются исследования, проведенные в лаборатории «Комплексных исследований горных пород и композиционных материалов» Института геологии ДФИЦ РАН [Тотурбиев Б., Тотурбиев А., 2010, 2011, 2012; Тотурбиев Б. и др., 2018а-в, 2019].

Теоретически и экспериментально обоснована возможность получения наноструктурированных композиционных вяжущих веществ из нерудного минерального сырья и техногенных отходов производства с использованием в качестве связующего вещества нанодисперсного полисиликата натрия, получаемого путем совместного синтеза кремнезоля и безводного силиката натрия непосредственно в самой композиции.

В данной статье приведены результаты использования отходов (пемза-шлак, шлаки ваграночные, топливные шлаки, зола) для получения композиционных вяжущих.

В наших исследованиях, учитывая высокую энергоемкость клинкерных вяжущих и большие капитальные вложения в их производство, для получения композиционных вяжущих веществ в качестве связующего были использованы безводные натриево-калиевые силикаты натрия SiO<sub>2</sub>: (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O).

Теоретические основы формирования структуры тонкоизмельченной силикат-натриевой композиции из тонкомолотых безводных силикатов натрия и различных наполнителей приведены в монографии [Тотурбиев, 1988]. Формирование структуры композиции складывается из двух сложных процессов:

 придание вяжущих свойств силикат-натриевой композиции путем обводнения силикат-натриевого составляющего непосредственно в композиции;

- упрочнение полученной жидкостекольной композиции обезвоживанием, т.е. дегидратацией водного раствора силиката натрия под действием тепла.

Необходимые условия структурообразования – равномерное распределение тонкомолотых частиц силиката натрия в композиции, последующее их обводнение, хорошее смачивание поверхности частиц тонкомолотого компонента-наполнителя растворенным силикатом натрия и обезвоживание последнего путем термообработки. Равномерное распределение безводного силиката натрия обеспечивается совместным помолом составляющих композиций. При этом повышается химическая активность материала и ускоряются физико-химические процессы растворения безводного силиката натрия. С этой целью в него вводят оптимальное количество воды и подвергают тепловой обработке.

Частицы силиката натрия, растворяясь в воде, и под воздействием температуры равномерно распределяются, обволакивают тонкоизмельченные частицы другого компонента, образуя тончайшие пленки между ними. При этом прочность связи лимитируется, в основном, когезией этих пленок, а также адгезией наполнителей. Важнейшее условие упрочнения пленок водных растворов силиката натрия – его дегидратация в результате теплового воздействия.

Под действием температуры водные растворы силиката натрия постепенно переходят в малоустойчивое состояние, характеризующее начало процесса структурообразования. В наибольшей степени коллоидно-химический характер затвердения присущ высокомодульным жидким стеклам, обычно используемым в качестве связующих формовочных смесей. Если учесть при этом, что растворение безводного силиката натрия в самой композиции и его обезвоживание – непрерывные процессы, идущие один за другим, то можно предполагать, что отвердевание водных растворов силиката натрия в композиции обусловлено испарением воды и резким увеличением вязкости растворов. Это сопровождается коагуляцией аморфного и гидросиликатов натрия, что наблюдается при неполном гидролизе безводных силикатов натрия в композиции.

Таким образом, упрочнение композиционных смесей – это следствие одновременно протекающих процессов, приводящих к повышению адгезионной и когезионной прочности. Одним из необходимых условий при этом, как уже отмечалось, является – хорошее смачивание связующим веществом, в данном случае – жидким стеклом, поверхности частиц наполнителя.

Поскольку водного раствора силиката натрия, представляющего собой клеевое связующее, не хватает в силикат-натриевой композиции для полного объемного омоноличивания структуры, то он «омоноличивает» систему путем склеивания частиц наполнителя в местах их контактов, т.е. происходит контактное омоноличивание. Способ этот основывается на общих принципах склеивания двух контактирующих поверхностей тонкими клеевыми прослойками.

Качество такого клеевого соединения зависит от двух условий. Это адгезия клеевой композиции к поверхности склеиваемых частиц и когезионная прочность самой клеевой прослойки. Поэтому прочность и долговечность контактной зоны зависит от таких физико-химических и технологических факторов, как природа склеиваемых частиц и состояние их поверхности, характер контакта клеящих композиций, возможность химического взаимодействия контактируемых частиц с клеевой композицией в условиях изготовления и эксплуатации изделия, площадь контакта, толщина клеевого шва, температура и характер окружающей среды, цикличность изменения этих ее параметров в процессе службы изделий.

В нашем случае прочность связей во многом зависит от свойств клеящего вещества – адгезива и его отношения к склеиваемому материалу. Химическое или физическое взаимодействие адгезива с твердой поверхностью определяет характер деформаций и разрушения контактно омоноличенного материала и ряд других его свойств.

В зависимости от соотношения SiO<sub>2</sub>: (Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O), степени обводнения силиката (его концентрации в водном растворе) клеящие свойства растворимого стекла, равно как его вязкость, могут меняться в значительных пределах.

Из всего многообразия факторов, влияющих на прочность клеевых контактов, образующихся в материале при введении в формовочную смесь тонкоизмельченной силикат-глыбы является ее растворимость в воде при различных условиях.

Как известно, растворимость силикат-глыбы во многом зависит от ее кремнеземистого модуля. Низкомодульные разновидности силикат-глыбы (модуль не более 2) легко растворяются в воде, но создают нестойкие по отношению к ней клеевые контакты. Кроме того, из-за высокого содержания щелочного компонента водостойкость приготовленных на таких стеклах материалов низкая. Наоборот, для высокомодульных видов (модуль более 3) силикат-глыбы показательна весьма низкая растворимость даже при высоких температурах и давлении.

В наших исследованиях для получения композиционных вяжущих были использованы следующие отходы производства: пемза-шлак, шлаки ваграночные, топливные шлаки, пылевидная зола, а в качестве связующего компонента была применена натриево-калиевая силикат-глыба. Химический состав вышеперечисленных компонентов приведен в таблице 1.

При изучении вяжущих свойств композиций из вышеприведенных отходов на основе связующего – безводного натриево-калиевого силиката (силикат-глыбы) мы стремились установить зависимость прочности материала от таких технологических факторов как: количество силикат-глыбы в материале, ее дисперсность и равномерность распределения, исходная влажность формовочных масс, вид тонкодисперсного твердого компонента, его соотношение с силикат-глыбой в % по массе. Это позволило бы создать рациональные технологические приемы для наиболее полного использования этих зависимостей.

Необходимо было также доказать возможность получения композиционного вяжущего на основе безводного натриево-калиевого силиката и определить основные условия его изготовления. Для опытов использовали композиции, состоящие из силикат-глыбы и тонкомолотых твердых веществ, характеристики которых приведены выше.

На рисунке 1. показаны результаты испытаний образцов размером 5x5x5 см, изготовленных из различных видов и составов вяжущих подверженных тепловой обработке по режиму: подъем температуры от 20 до 90°С – 1,5 ч., выдержка при 90+5°С – 2,5 ч., подъем температуры до 200°С – 1 ч., выдержка 2 ч., которые позволяют сделать следующие выводы.


Рис. 1. Содержание силикат-глыбы. Наполнители: 1 – ваграночный шлак; 2 – пемзошлак; 3 – зола-унос; 4 – топливный шлак. / Fig. 1. The content of silicate blocks. Fillers: 1 – cupola slag; 2 – pumice slag; 3 – fly ash; 4 – fuel slag.



Puc. 2. Водовяжущее отношение. / Fig. 2. Water-bindingratio.

Содержание силикат-глыбы в композиционном вяжущем веществе существенно влияет на прочность высушенных образцов. Кривые зависимости имеют при этом экстремальный характер. По характеру левых восходящих ветвей можно сделать вывод о недостатке силикат-глыбы в композиции, что делает невозможным создание оптимального числа клеевых контактов. При 20–30% содержании в системе достигается максимум прочности.

На всех рассматриваемых кривых есть правые нисходящие ветви. Они свидетельствуют о спаде прочности при дальнейшем увеличении в системах содержания безводного натриево-калиевого силиката. Это объясняется рядом причин и, прежде всего, тем, что обводненный и затем высушенный силикат гораздо менее прочен, чем наполнитель. Кроме того, на растворение большого количества силиката расходуется много воды. В итоге при получении вяжущего и тепловой обработке образцов появляется большое количество гидратированного силиката. Это и было причиной того, что при нагревании образцов до 150–200°С они вспучивались, давая значительный (до 20% и более) прирост объема.

Это объясняется объемным омоноличиванием порошков наполнителя обводненным силикатом. Установлено также, что обезвоживание силиката интенсивно протекает при 150–200°С и сопровождается вспучиванием материала, поскольку вязкость всей композиции достаточно высока для прорыва паров воды, так как свободных проходов при объемном омоноличивании для них нет.

При контактном омоноличивании тонкомолотого наполнителя вспучивания не было, так как пары воды через материал, не имеющий сплошности швов, проходят свободно. Следовательно, предельное содержание силикат-глыбы в композиции – 20–30% в зависимости от вида тонкомолотого наполнителя. При этом композиционные вяжущие имеют довольно высокую прочность (20–25 МПа). При таком содержании силикат-глыбы в вяжущем возникает предельное число клеевых контактов. Если их будет еще больше – система превратится в объемно-омоноличенную композицию.

Повышение содержания силикат-глыбы также нежелательно из-за большого количества щелочи, которая при этом образуется, и это существенно снижает водостойкость материалов.

Проводилось также исследование влияния технологических факторов на вяжущие свойства композиций из безводного натриево-калиевого силиката.

Зависимость плотности и прочности образцов, изготовленных с использованием в качестве тонкомолотой добавки золы-уноса, от водо-вяжущего фактора приведена на рис. 2.

Анализ кривых, характер которых подобен наблюдаемым в цементных растворах, показывает, что максимальной прочности вяжущего при равных условиях с учетом смачивания тонкомолотой золы-унос можно достичь при водо-вяжущем соотношении 0,1... 0,2.

Как уже отмечалось выше, необходимые условия структурообразования композиции – равномерное распределение в ней частиц силикат-глыбы, последующее обводнение, хорошее смачивание поверхности частиц минерала растворенным силикатом натрия и обезвоживание путем термообработки. Равномерное распределение силикат-глыбы в материале с наибольшим эффектом достигается при совместном сухом помоле компонентов, для чего можно использовать шаровые одно- и трехсекционные мельницы.

Как показали наши исследования, для получения силикатного вяжущего можно использовать не только золу-унос, но и другие виды техногенных отходов. Основные технические характеристики разработанных натриево-калиевых силикатных композиционных вяжущих представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** / *Table 1*.

Состав в % по массе 80:20 / Composition in % by weight 80:20	Насыпная плотность силикат-натриевых композиций, кг/м <sup>3</sup> / Bulk density of sodium silicate compositions, kg/m <sup>3</sup>	Плотность образцов после сушки при 200°С, кг/м <sup>3</sup> / The density of the samples after drying at 200°С, kg/m <sup>3</sup>	Прочность после сушки при 200°С, MПа / Strength after drying at 200°С, MPa	Коэффициент раз- мягчения после 3 суток в воде / Softening coefficient after 3 days in water
Золо-унос: силикат-глыба / Fly ash: silicate block	900–1000	1400–1500	26,0–30,0	0,85-0,9
Пемзошлак: силикат-глыба / Pumice slag: silicate block	1050	1700	30,0	0,85-0,9
Bаграночный шлак: силикат-глыба / Cupola slag: silicate block	1100	1600	26,0	0,75-0,8
Топливный шлак: силикат-глыба / Fuel slag: silicate block	1200	1800–1900	35,0	0,8-0,9

## Техническая характеристика натриево-калиевых силикатных вяжущих. / Technicalcharacteristicsofsodium-potassiumsilicatebinders.

#### Выводы

Проведенные экспериментальные исследования показали возможность получения практически из любого вида отходов композиционных вяжущих на безводных натриево-калиевых силикатах (силикат-глыбе).

Вяжущие свойства этих композиций проявляются за счет приобретения безводным натриевокалиевым силикатом адгезионных свойств, определяющих клеящую способность этого компонента, и когезионной прочности клеевых контактов, прочность и долговечность которых, в свою очередь, зависит от условий их образования.

Установлено, что при нагревании композиции в интервале температур 90–100°С происходит наиболее интенсивное поверхностное растворение зерен силикат-глыбы и, как следствие, увеличение площади клеевых контактов. Последующее повышение температуры до 160–200°С приводит к почти полному обезвоживанию системы и, следовательно, к ее упрочнению вследствие резкого повышения когезионной прочности клеевых контактов.

Экспериментальные исследования показали, что управление основными свойствами композиционного вяжущего можно осуществлять, изменяя ряд технологических факторов: содержание силикат-глыбы в композиции (20–30 масс %), тонкость помола компонентов (2000–3500 см<sup>2</sup>/г), количество воды затворения (17÷20%), степень уплотнения смеси, применение тех или иных тонкомолотых отходов.

Достаточно высокие физико-механические свойства композиционных вяжущих, разработанных из отходов (зола-унос, топливный шлак, ваграночный шлак, пемзошлак) позволяют сделать предположение о том, что на их основе можно изготавливать легкие бетоны, вводя в качестве заполнителя различные виды пористых зернистых теплоизоляционных материалов (керамзит, аглопорит, гранулированный шлак, вспученный перлит и др.).

## Литература

1. Абдрахимов В.З., Хасаев Г.Р., Абдрахимова Е.С. Колпаков А. В. Использование углеродсодержащих отходов топливно-энергетического комплекса в производстве керамических материалов различного назначения. // Экология и промышленность России. – 2013. – №9. – С. 30–33.

2. Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Использование шлака от сжигания угля Канско-Ачинского бассейна в производстве керамических материалов на основе межсланцевой глины. // Экология и промышленность России. – 2014. – № 3. – С. 36–39.

3. Березовский, Н.И. Вовлечение промышленных отходов в процесс производства пористых строительных материалов. / Н.И. Березовский, Н.П. Воронова, Е.К. Костюкевич. // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2017. – Т. 2. – С. 104–106.

4. Ниязбекова Р.К. Свойства силикатных материалов, содержащих сталеплавильные шлаки. // Строительные и отделочные материалы. Стандарты XXI века: труды XIII Международного семинара Азиатско-Тихоокеанской академии материалов. – Новосибирск. – 2006. – Т. 2. – С. 87-88.

5. Определение качественного и количественного анализа состава отходов и расчет класса опасности отходов [Электронный ресурс]. – Условия доступа: http://www.ecobez.ru/klass-opasnosti-othodov.html.

6. Павлов В.Ф. Способ вовлечения в производство строительных материалов промышленных отходов. // Строительные материалы. – 2003. – №8. – С. 28–30.

7. Тотурбиев Б.Д. Строительные материалы на силикат-натриевых композициях. – М.: Стройиздат, 1988. – С. 208.

8. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б. Жаростойкое композиционное вяжущее. // Бетон и железобетон. – 2010. – №3. – С. 5–8.

9. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б. Теоретические предпосылки формирования структуры жаростойкого бетона на полисиликатнатриевом композиционном вяжущем. // Бетон и железобетон. – 2011. – №6. – С. 2–4.

10. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б. Исследования клеящей способности композиционного связующего на полисиликатах натрия. // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №3. – С. 59–61.

11. Тотурбиев Б.Д., Тотурбиев А.Б, Абдулаев М.Ш., Абдулганиева Т.И. Использования аргиллитовых глин для производства керамзита. // Горный журнал – 2018а. – №3. – С. 58–62.

12. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиева У.Д. Инновационные технологии производства экологически чистых строительных материалов нового поколения. // Геология и геофизика Юга России. – 2018б. – №4. – С. 149–155.

13. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиева У.Д. Производство строительных материалов, с применением глинистых сланцев, аргиллитовых глин, кремнеземистого и техногенного сырья. // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2018в. – №3(74). – С. 87–91.

14. Тотурбиев Б.Д., Мамаев С.А., Тотурбиев А.Б. Использование низкообжиговых аргиллитовых глин для разработки наноструктурированных композиций. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Дагестана. Коллективная монография. ИИЕТ РАН. – 2019. – Т. IX. – С. 173–181.

15. Чантурия В.А., Чаплыгин Н.Н., Вигдергауз В.Е. Ресурсосберегающие технологии переработки минерального сырья и охрана окружающей среды. // Горный журнал. – 2007. – №2. – С. 91–96.

16. Benlalla A., Elmoussaouiti M., Dahhou M., Assafi M. Utilization ofwater treatment plant sludge in structural ceramics bricks. // Applied Clay Science. – 2015. – V. 118. – Pp. 171–177.

17. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M.P., Mendívil Giry M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material – A review. // Construction and Building Materials. – 2014. – V. 63. – Pp. 97–107.

18. Naganathan S., Mohamed A.Y.O., Mustapha K.N. Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 96. – Pp. 576–580.

19. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks // Construction and Building Materials. -2011. - V. 25. - Pp. 4037-4042.

20. Sena da Fonseca B., Galhano C., Seixas D. Technical feasibility of reusing coal combustion byproducts from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks. // Applied Clay Science. -2015. - V. 104. - Pp. 189-195.

21. Kizinievic O., Zurauskiene R., Kizinievic V., Zurauskas R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. // Construction and Building Materials. – 2013. – V. 41. – Pp. 464–473.

22. Ukwatta A., Mohajerani A., Setunge S., Eshtiaghi N. Possible use of biosolids in fired-clay bricks. // Construction and Building Materials. – 2015. – V. 91. – Pp. 86–93.

#### References

1. Abdrakhimov V.Z., Khasaev G.R., Abdrakhimova E.S. Kolpakov A. V. Use of carbon-containing waste from the fuel and energy complex in the production of ceramic materials for various purposes. Ecology and industry of Russia. 2013. No. 9. pp. 30–33. (In Russ.)

2. Abdrakhimov V.Z., Abdrakhimova E.S. The use of slag from coal combustion of the Kansk-Achinsk basin in the production of ceramic materials based on inter-shale clay. Ecology and industry of Russia. 2014. No. 3. pp. 36–39. (In Russ.)

3. Berezovskii N.I., N.P. Voronova E.K. Kostyukevich. Involvement of industrial waste in the production of porous building materials. Actual problems of modern science, technology and education. 2017. Vol. 2. pp. 104–106. (In Russ.)

4. Niyazbekova R.K. Properties of silicate materials containing steelmaking slags. Construction and decoration materials. In: 21st Century Standards: Proceedings of the 13th International Seminar of the Asia-Pacific Academy of Materials. Novosibirsk. 2006. Vol. 2. pp. 87-88. (In Russ.)

5. Determination of the qualitative and quantitative analysis of the composition of the waste and calculation of the hazard class of the waste [Electronic resource]. - Access conditions: http://www.ecobez.ru/klass-opasnosti-othodov.html. (In Russ.)

6. Pavlov V.F. A method of involving industrial waste in the production of building materials. Building Materials. 2003. No. 8. pp. 28-30. (In Russ.)

7. Toturbiev B.D. Building materials on sodium silicate compositions. Moscow. Stroyizdat, 1988. 208 p. (In Russ.)

8. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B. Heat-resistant composite binder. Concrete and reinforced concrete. 2010. No. 3. pp. 5–8. (In Russ.)

9. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B. Theoretical prerequisites for the formation of the structure of heatresistant concrete on a polysilicate sodium composite binder. Concrete and reinforced concrete. 2011. No. 6. Pp. 2–4. (In Russ.)

10. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B. Studies of the adhesive ability of a composite binder on sodium polysilicates. Industrial and civil engineering. 2012. No. 3. pp. 59–61. (In Russ.)

11. Toturbiev B.D., Toturbiev A.B, Abdulaev M.Sh., Abdulganieva T.I. The use of mudstone for the production of expanded clay. Gornyi Zhurnal. 2018a. No. 3. pp. 58–62. (In Russ.)

12. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbieva U.D. Innovative technologies for the production of environmentally friendly building materials of a new generation. Geology and Geophysics of Russian South. 2018b. No. 4. pp. 149–155. (In Russ.)

13. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbieva U.D. Production of building materials, using clay shale, mud clay, siliceous and technogenic raw materials. Tr. Inst. Geol. Dag. Nauch. Tsentra RAN. 2018. No. 3 (74). pp. 87–91. (In Russ.)

14. Toturbiev B.D., Mamaev S.A., Toturbiev A.B. The use of low temperature calcination mudstone clays for the development of nanostructured compositions. Modern problems of geology, geophysics and geoecology of Northern Dagestan. Collective monograph. IHST RAS. 2019. Vol. IX. pp. 173–181. (In Russ.)

15. Chanturiya V.A., Chaplygin N.N., Vigdergauz V.E. Resource-saving technologies for processing mineral raw materials and environmental protection. Gornyi Zhurnal. 2007. No. 2. pp. 91–96. (In Russ.)

16. Benlalla A., Elmoussaouiti M., Dahhou M., Assafi M. Utilization of water treatment plant sludge in structural ceramics bricks. Applied Clay Science. 2015. Vol. 118. pp. 171–177.

17. Muñoz Velasco P., Morales Ortíz M.P., Mendívil Giry M.A., Muñoz Velasco L. Fired clay bricks manufactured by adding wastes as sustainable construction material. A review. Construction and Building Materials. 2014. Vol. 63. pp. 97–107.

18. Naganathan S., Mohamed A.Y.O., Mustapha K.N. Performance of bricks made using fly ash and bottom ash. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 96. pp. 576–580.

19. Raut S.P., Ralegaonkar R.V., Mandavgane S.A. Development of sustainable construction material using industrial and agricultural solid waste: A review of waste-create bricks. Construction and Building Materials. 2011. Vol. 25. pp. 4037–4042.

20. Sena da Fonseca B., Galhano C., Seixas D. Technical feasibility of reusing coal combustion byproducts from a thermoelectric power plant in the manufacture of fired clay bricks. Applied Clay Science. 2015. Vol. 104. pp. 189–195.

21. Kizinievic O., Zurauskiene R., Kizinievic V., Zurauskas R. Utilisation of sludge waste from water treatment for ceramic products. Construction and Building Materials. 2013. Vol. 41. pp. 464–473.

22. Ukwatta A., Mohajerani A., Setunge S., Eshtiaghi N. Possible use of biosolids in fired-clay bricks. Construction and Building Materials. 2015. Vol. 91. pp. 86–93.

= ПАМЯТЬ =

# АЛЕКСЕЙ ВСЕВОЛОДОВИЧ НИКОЛАЕВ



### 1934-2019

20 ноября 2019 года в Москве после непродолжительной болезни скончался выдающийся ученый в области современной геофизики член-корр. РАН, д.ф.-м.н., профессор Алексей Всеволодович Николаев.

А.В. Николаев родился 29 октября 1934 в Москве. В 1952 г. окончил среднюю школу, после чего поступил на геологический факультет МГУ (кафедру геофизических методов разведки), который закончил в 1957 г. и был распределен в Институт физики Земли, целевым назначением для участия в Международном геофизическом годе, в сейсмологическую экспедицию в Таджикистан.

В 1964 году защитил кандидатскую диссертацию «Сейсмические свойства грунтов», а в 1972 - докторскую диссертацию по теме «Сейсмика неоднородных и мутных сред».

До 1963 г. Алексей Всеволодович занимался инженерной сейсмологией и сейсмическим микрорайонированием, затем - исследованиями внутреннего строения Земли по сейсмическим данным. С 1968 г. А.В. Николаев работал старшим научным сотрудником, а с 1969 г. - заведующим лабораторией экспериментальной сейсмологии Института физики Земли АН СССР. С 1968 г. занимался проблемами военно-прикладной сейсмологии, распознаванием землетрясений и подземных ядерных взрывов.

С 1968 по 2013 год А.В. Николаев занимал разные должности в Институте физики Земли АН СССР (позже РАН): он был зав. отделом физических основ разведочной геофизики, директором института экспериментальной геофизики Объединенного института физики Земли, зав. отделом экспериментальной геофизики. С 2013 г Алексей Всеволодович являлся гл. научным сотрудником ИФЗ РАН. В 1978 г. А.В. Николаев получил звание профессора геофизики. В 1990 г. - избран членом- корреспондентом АН СССР.

Основные научные исследования А.В. Николаева лежат в области нетрадиционной геофизики, развития физических основ геофизических методов применительно к разным областям геофизических исследований (разведка полезных ископаемых, прогноз землетрясений, повышение нефтеотдачи, военно-прикладная геофизика, геофизический мониторинг геодинамических процессов). А.В. Николаевым развиты идеи нелинейной сейсмики, активных методов исследований с использованием вибрационных сейсмических источников, а также естественных процессов, микросейсм, взаимодействия геофизических полей разной природы, главным образом сейсмических, геодеформационных и электрических.

В 1998 г. Алексей Всеволодович получил Премию Правительства Российской федерации за разработку и внедрение новых методов геофизической метрологии.

А.В. Николаев воспитал 30 кандидатов наук, более 10 докторов наук. Он автор более 600 научных работ, 30 авторских свидетельств и патентов.

А.В. Николаев занимал высокие ответственные посты в международных геофизических организациях: с 1978 по 1996 г. – вице-президент и президент Международной Ассоциации сейсмологии и физики недр Земли. Являлся членом зарубежных научных обществ: Сейсмологического общества США и Геофизического общества Индии, он - академик Грузинской национальной Академии наук.

Работал в ряде стран по ряду направлений сейсмологии и сейсморазведки, в том числе в США, Японии, КНР, Индии, Германии, Италии, участвовал в многочисленных отечественных и международных конференциях, сделал более 100 научных докладов и сообщений.

Участвовал в ликвидации катастрофы на Чернобыльской АЭС и награжден в связи с этим Орденом Трудового Красного Знамени СССР. Награжден рядом медалей СССР и ведомственных медалей РАН.



**В.Б. Заалишвили и А.В. Николаев,** Институт физики Земли им.О.Ю. Шмидта, Москва, октябрь 1995 г.

Почти всю жизнь А.В. Николаев проработал в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, да еще в Институте геоэкологии РАН, состоял в ученых и научно-технических советах в ИФЗ РАН, Институте геоэкологии РАН, Институте проблем нефтяной геофизики РАН, Министерстве по чрезвычайным ситуациям.

Алексея Всеволодовича Николаева наряду с высокой научной принципиальностью и профессионализмом неизменно отличала человеческая теплота, уважение и доброжелательность к коллегам и воистину отеческая забота об учениках. Не было вопроса, которые мы его ученики не могли поставить перед ним и не получить ответа и поддержки. Его активность, нестандартное мышление, обостренное чувство нового сформировали у нас полную научную свободу. При этом он мог и бывал жестким. Думаю, что это полезно для становления жизненных позиций. Никакие идеи в беседе не изгонялись из рассмотрения и вполне серьезно обсуждались. При этом ненавязчиво проводился анализ идеи, и она могла быть отметена. В сентябре 1995 г. автор приехал в Москву с готовой, на его взгляд, объемистой докторской работой. Почти три года он, значительно отощавший, готовился к этой поездке. Готовился материально, в условиях вдруг обнищавшей страны. Но после первой же беседы из исходной работы осталось ... процентов 30. Остальное было изъято суровой рукой А.В. Николаева, вооруженной красным фломастером. И за последующие шесть месяцев, к 20 марту 1996 г., фактически новая диссертационная работа была готова.

Запомнилось на всю жизнь, как 22 апреля 1996 г. после успешной защиты диссертации на физическом факультете МГУ, в ответ на благодарный тост автора старой, разбитой, жестяной кружкой в окружении маститых ученых, Алексей Всеволодович сказал, что его единственной просьбой будет поддержка мною молодежи и начинающих ученых в их научном становлении. Это напутствие, в меру моих сил, я выполняю, даже иногда вразрез с моими человеческими позывами, по сей день.

Помню так же, как Алексей Всеволодович рассказал мне прямо перед защитой, что он всегда ставит свечку св. Николаю Чудотворцу перед защитой диссертации очередным учеником ...

Я молюсь за него сегодня от всего сердца и прошу Господа быть милостивым к его Душе ...

Гл. редактор В.Б. Заалишвили

## = ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ ===

В журнале «Геология и геофизика Юга России» публикуются оригинальные статьи теоретического и методического характера по вопросам геологии, геофизики и геохимии, результаты изучения состава и строения коры и мантии Земли, процессов формирования и общих закономерностей размещения полезных ископаемых, а также результаты разработки и применения геолого-геофизических методов их выявления. Тематика журнала соответствует следующим областям знаний по действующей номенклатуре ВАК: 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика; 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых; 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения; 25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов; 25.00.35 – Геоинформатика; 25.00.36 – Геоэкология, а также смежным научным направлениям.

Для работ регионального характера предпочтение отдается статьям, раскрывающим различные вопросы геологического строения Юга России и прилегающих территорий.

В соответствии с градацией наук, принятой в международных системах цитирования Scopus и Web of Science статьи для публикации в журнале «Геология и геофизика Юга Росии» принимаются по следующим отраслям и группам наук:

1. Earth and Planetary Sciences (науки о Земле и планетарные науки);

2. Environmental Science (наука об окружающей среде).

В журнале «Геология и геофизика Юга России» печатаются:

 статьи с изложением новых научных результатов, объемом не более 10 машинописных страниц, включая иллюстрации и таблицы;

 краткие сообщения, содержащие информацию о важных результатах предварительных исследований, объемом 3-5 страниц (эти материалы впоследствии могут использоваться в тексте полной статьи);

 обзоры печатных работ по актуальным геолого-геофизическим и экологическим проблемам Юга России и прилегающих территорий, объемом 20-25 страниц по заказу редакции.

Все работы должны соответствовать тематике журнала. Предоставленные рукописи проходят этапы предварительного и итогового рецензирования, и в случае необходимости, направляются авторам на исправление и доработку. Рукописи в журнале публикуются на русском либо английском языках, аннотации на русском и английском языках. Журнал публикует исключительно оригинальные статьи. Автор несет полную ответственность за соблюдение этого требования. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не возвращаются. Редакция также не возвращает присылаемые материалы. Редакция оставляет за собой право производить сокращение и редакторскую правку текста статьи. Исправления в тексте и иллюстрациях авторы могут вносить только на стадии подготовки статьи к набору. Несоблюдение правил оформления рукописи приведет к отклонению статьи. Публикация бесплатна для авторов статей, написанных по заказу редакции, и для аспирантов. Перепечатка допускается только с разрешения редакции и с обязательной ссылкой на журнал «Геология и геофизика Юга России».

#### Инструкция для авторов

Прием материалов к рассмотрению осуществляется посредством электронного сервиса http:// www.geosouth.ru или по почте на адрес Издательства: 362002, Россия, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а, редакция журнала «Геология и геофизика Юга России».

В редакцию необходимо предоставить следующие материалы:

- статья (структуру и правила оформления см. ниже);

– на отдельной странице: сведения об авторах, содержащие фамилию, имя, отчество, ученую степень, звание, название организации, служебный и домашний адрес и телефоны, e-mail и указание, с кем из авторов предпочтительнее вести переписку;  направление от организации, если предоставляемые материалы являются результатом работы, выполненной в этой организации; в направлении следует указать название рубрики журнала;

 экспертное заключение или другой документ, разрешающий опубликование в открытой печати, утвержденные руководителем организации и заверенные гербовой печатью (представляют только авторы из России).

Если материалы подаются посредством электронного сервиса, бумажные экземпляры рукописи в редакцию предоставлять не требуется. При онлайн регистрации необходимо руководствоваться пошаговыми инструкциями по загрузке файлов. При отправке материалов почтой необходимо приложить два бумажных экземпляра статьи, подписанных всеми авторами. Подготовленный в соответствии с общими техническими требованиями текст печатается на одной стороне листа формата А4. Аннотация с приведенным в начале названием, авторами, их аффилиацией печатается на отдельном листе. Подписи к рисункам также предоставляются отдельно. Каждая таблица и рисунок должны быть напечатаны на отдельном листе. Внизу страницы с иллюстрацией необходимо указать номер рисунка. Также необходимо приложить электронный вариант на любом портативном накопителе или по согласованию с редакцией направить соответствующие материалы по электронной почте.

#### Правила оформления статьи

На первой странице должны быть указаны: УДК; название статьи на русском языке (строчными буквами с капитализацией начальной буквы только первого слова в предложении и имен собственных, без кавычек, переносы не допускаются, точка в конце не ставится, подчеркивание не используется), кегль 20 полужирный, выравнивание по центру; инициалы и фамилии авторов, ученая степень и звание (кегль 14 полужирный курсив, выравнивание по центру), название учреждения, почтовый адрес, город, страна представляющих рукопись для опубликования. Указать е-mail для перепискии ответственного автора.

Аннотация должна быть объемом 250-300 слов. В ней не рекомендуется использовать формулы и ссылки на литературу. Если рукопись подается на русском языке, то аннотация должна быть продублирована на английском с указанием названия статьи, фамилий и инициалов авторов на этих языках. Если рукопись подается на английском языке, необходимо привести также аннотацию на русском. Аннотация печатается шрифтом Times New Roman (12 кегль). В конце аннотации обязательно указываются ключевые слова (5-8), которые отражают тематику статьи.

Текст статьи набирается шрифтом Times New Roman размером 14 пт через одинарный интервал, выравнивание по формату. Подзаголовок – шрифт курсивный, выравнивание по левому краю. При написании статьи используются общепринятые термины, единицы измерения и условные обозначения, единообразные по всей статье. Расшифровка всех используемых авторами обозначений дается при первом употреблении в тексте. Буквы латинского алфавита набираются курсивом, буквы греческого алфавита – прямым шрифтом. Математические символы lim, lg, ln, arg, const, sin, cos, min, max и т.п. набираются прямым шрифтом. Символ не должен сливаться с надсимвольным элементом в химических элементах (H<sub>2</sub>O) и единицах измерений (MBт/ см<sup>2</sup>) – прямым (обычным) шрифтом. Не следует смешивать одинаковые по написанию буквы латинского, греческого и русского алфавитов, использовать собственные макросы. Буквы I и J, v и v, е и l, h и n, q и g, V и U, O (буква) и 0 (нуль) должны различаться по начертанию. Между цифровым значением величины и ее размерностью следует ставить знак неразрывного пробела. Переносы в словах либо не употреблять. Не использовать в тексте для форматирования знаки пробела. Формулы создаются с помощью встроенного редактора формул Microsoft Equation с нумерацией в круглых скобках -(2), выравниваются по правому краю, расшифровка всех обозначений (букв) в формулах дается в порядке упоминания в формуле. Во избежание недоразумений и ошибок редакция рекомендует авторам использовать в формулах буквы латинского, греческого и других (не русских) алфавитов; при наборе формул необходимо соблюсти размеры по умолчанию. Большие формулы необходимо разбивать на отдельные фрагменты. Фрагменты формул по возможности должны быть независимы (при использовании формульного редактора каждая

строка – отдельный объект). Нумерацию и по возможности знаки препинания следует ставить отдельно от формул обычным текстом. Таблицы, рисунки, фотографии размещаются внутри текста и имеют сквозную нумерацию по статье (не по разделам!) и собственные заголовки. Названия всех рисунков, фотографий и таблиц приводятся на русском языке 11 кеглем, курсивом. Нумерация обозначений на рисунках дается по порядку номеров по часовой стрелке или сверху вниз. Рисунки необходимо по возможности выполнять в векторном формате виде, желательно в программе Corel Draw или аналогах по следующим правилам: ширина рисунка не более 16,5 см; толщина линий: основных – 1 пт, вспомогательных – 0,5 пт; для обозначений в поле рисунка использовать шрифт Times New Roman размером – 9 пт. Векторные рисунки записываются в отдельные файлы документов. Фотоснимки должны быть контрастными и выполненными на матовой бумаге. Отсканированные фотографии записываются в файлы в формате TIFF, JPEG. Сканировать изображение следует с разрешением 300 dpi для контрастных черно-белых рисунков и 600 dpi – для полутоновых. Цветные иллюстрации допускаются по согласованию с редакцией. Обозначения, термины, иллюстративный материал, список литературы должны соответствовать действующим ГОСТам.

Перечень литературных источников приводится общим списком в конце статьи (Harvard Style). Список составляется по алфавиту, сначала следуют источники на русском, затем – на английском. Литература должна быть оформлена согласно ГОСТ Р 7.0.5-2008. Отсылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках в строку с текстом документа. Если ссылку приводят на документ, созданный одним, двумя или тремя авторами в отсылке указывают фамилию первого автора и сокращение «и др.» («et al.» для документов, на языках, применяющих латинскую графику); если авторы не указаны – указывают название документа; далее указывают год издания и при необходимости сведения дополняют указанием страниц. Сведения в отсылке разделяют запятой. Если отсылка содержит сведения о нескольких ссылках, группы сведений разделяют знаком точка с запятой. В отсылке допускается сокращать длинные заглавия, обозначая опускаемые слова многоточием с пробелом до и после этого предписанного знака.

## Адрес редакции:

Россия, РСО-Алания, 362002, Россия, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а, Геофизический институт ВНЦ РАН, Редакция журнала «Геология и геофизика Юга России». Тел: 8 (8672) 76-19-28; факс: 8 (8672) 76-40-56, e-mail: southgeo@mail. ru

## = INFORMATION FOR AUTHORS

The journal "Geology and Geophysics of Russian South" publishes original articles of theoretical and methodological nature on geology, geophysics and geochemistry, the results of studying the composition and structure of the Earth's crust and mantle, the formation processes and the general patterns of mineral resources, geophysical methods for their detection. The subject of the journal corresponds to the current nomenclature areas of knowledge of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation: 25.00.03 – Geotectonics and geodynamics; 25.00.10 – Geophysics, geophysical methods of mineral exploration; 25.00.11 – Geology, prospecting and exploration of solid minerals, minerageny; 25.00.23 – Physical geography and biogeography, soil geography and landscape geochemistry; 25.00.35 – Geoinformatics; 25.00.36 – Geoecology and related scientific directions..

For works of a regional nature, preference is given to articles that reveal the various issues of the geological structure of the South of Russian and adjacent territories.

According to the gradation of Sciences accepted in the international citation systems Scopus and Web of Science articles for publication in the journal "Geology and Geophysics of Russia South" are accepted by the following branches and groups of Sciences:

1. Earth and Planetary Sciences;

2. Environmental Science.

The journal "Geology and Geophysics of Russian South" publishes:

- articles interpreting the new scientific research results of volume not more than 10 typewritten pages including illustrations and tables;

- brief messages containing information on the important results of the preliminary research of volume 3-5 pages (these materials can be used in the full article text);

- reviews of the typewritten articles on the actual problems on current geological, geophysical and environmental problems of Russia South and adjacent territories, volume 20-25 pages by the editor's order.

All papers must correspond to the journal theme. The presented manuscripts pass the preliminary and total reading stages and if necessary are sent back to the authors for the correction and finishing. The manuscripts are published in Russian and in English, the abstracts in Russian and in English as well. The journal publishes only the original articles. The author is fully responsible for the requirement. The manuscripts are not returned to the authors in case of being rejected in publication. The editor also does not return the materials sent. The editor has a right to make reductions and corrections of the article text. All corrections in the text and figures can be done by the authors only at the stage of the typesetting preparations. The infringement of the manuscript submission guidelines will lead to the article rejection. The publication is free of charge for authors of papers written by request of the publisher, and for graduate students. Reprinting is allowed only with the editorship permission with the obligatory references to the journal «Geology and Geophysics of Russian South».

## Instructions for the authors

Acceptance of materials for consideration is carried out through the electronic service http://www. geosouth. ru or by mail to the Publisher address: 93a, Markova Street, Vladikavkaz, Russia 362002, Geophysical Institute of VSC RAS, the editorial office of the journal «Geology and Geophysics of Russian South».

The following materials should be presented:

- an article (structure and rules see below),

- a separate sheet with the information about the authors: surname, name, patronymic name, scientific degree, rank, a name of the organization, office and home address and telephone number, e-mail (if exists) and the reference to the author to contact with;

- a confirmation from the organization if the presented materials are the result of the work carried out in that organization; the journal heading (section) should be pointed out in the confirmation;

– an expert conclusion or any other document allowing the publication in the open press confirmed by the organization head and proved with the stamped seal; the expert conclusion is presented only by the authors from Russia.

If materials are submitted by electronic service, paper copies of the manuscript are not required to be submitted to the editorial office. When registering online, you must follow the step-by-step instructions for uploading files. When sending materials by regular mail, you must attach two paper copies of the article, signed by all authors. Text prepared in accordance with the general technical requirements is printed on one side of an A4 sheet. An annotation with the title, authors and their affiliation given at the beginning is printed on a separate sheet. Signatures to the figures are also provided separately. Each table and figure should be printed on a separate sheet. At the bottom of the page with an illustration, you must specify the number of the picture. It is also necessary to attach an electronic version on any portable storage device or, in agreement with the editors, send the relevant materials by e-mail.

#### The article lay-out rules (submission guidelines)

The following information should be pointed out on the first page: universal decimal classification, the article heading (title) in Russian (Sentence Case, without quotation marks, without division of a word, without a full stop at the end, underlining isn't used), point 20 semi bold, centre aligning; the authors surnames, academic degrees and titles (point 14 semi bold type, the right-edge aligning), the organization name, post address, town, country and e-mail of corresponding author.

The abstract should be 250-300 words without formulas and literature references. In case a manuscript is presented in Russian, the abstract should be repeated in English with the article heading (title), surnames and names in this language. In case a manuscript is presented in English, the Russian variant must be supplied. The abstracts are typed in Times New Roman (12 point) in one file in the following order: the article heading (title), the authors, the name of the organization, the abstract text in Russian with the further information in 2 lines in the same sequence in English. The abstracts are also published in the journal site www. naukagor. ru (in Russian and in English). Keywords (5-8) that reflect the theme of the article must be specified at the end of the abstract.

The article text is typed in Times New Roman (14 pt) through an ordinary interval aligning along the format. A subtitle is typed in italics, aligning along the left edge. The common terms, measurement units and conventional symbols similar to the whole article are used. The decoding of all symbols is given for the first text use. The Latin alphabet letters are typed in the italics while the Greek letters in the straight type. The mathematical symbols lim, lg, ln, arg, const, sin, cos, min, max, etc. are typed in the straight type. The symbol shouldn't coincide with the over symbol element in the chemical elements  $(H_2O)$  and measurement units  $(MW/cm^2)$  and must be of the straight (ordinary) type. One shouldn't mix similar written letters of the Latin, Greek and Russian alphabets and should use the proper macros. The letters I and J, v and v, e and l, h and n, q and g, V and U, O (letter) and 0 (zero) must differ in inscribing. There must be a sign of the continuous gap between a value figure meaning and its dimension. The hyphen is not used; the gap character also mustn't be used in the text for the lay-out. The formulas are designed with the help of the built-in formulas processor (Microsoft Equation), the enumeration being done in the round brackets (2), aligned along the right edge; the decoding of all signs (letters) in the formulas is given in the order of the formula reference. To avoid the errors and misunderstandings, the editorial staff recommends the authors to use the Latin, Greek and other (not Russian) alphabet letters in the formulas and to keep to the omission sizes while the formulas printing. Large formulas must be divided into separate fragments. If possible, the fragments must be independent; each line is a separate object. The enumeration and punctuation marks should be put into an ordinary text separately from the formulas. The tables, pictures and photos are placed inside the text and must have a through numeration along the text (not by the sections!) and their own headings. The titles of all tables, pictures and photos are presented in Russian (11 point, italics). The numeration of the picture symbols is given in clockwise order or from up to down. The pictures should be done in the computer form, preferably in Corel Draw or compatible program using the following rules: a picture width – not more than 16.5 cm, a line thickness: the main -1 pt, auxiliary -0.5 pt; for the symbols in the picture area - «Times New Roman» type of 9 pt must be used. The vector pictures are written into the separate documentary files. The photo pictures must be contrast and performed on the mat paper. The scanned photos are written into the files of TIFF and JPEG format. To scan the image one should use the resolution of 300 dpi for the contrast black-white pictures and 600 dpi for semitone ones. The colour illustrations are admitted on the editorial agreement. All symbols, terms and illustrations should correspond to the operative standards.

The list of references is given in the general list at the end of the article. The list is compiled alphabetically (Harvard style); sources in Russian follow first, then in English. Literature in Russian should be issued in accordance with GOST R 7.0.5-2008. References to the literature in the text are given in square brackets in a line with the text of the document. If a link is given to a document created by one, two or three authors, in the reference indicate the name of the first author and the abbreviation "et al."; if authors are not specified, the name of the document is indicated; further the year of publication is indicated and, if necessary, the information is supplemented with the indication of the pages. The information in the reference is separated by a comma. If the reference contains information about multiple links, the information groups are separated by a semicolon. It is allowed to abbreviate in a reference long titles, denoting dropped words with an ellipsis with space before and after this prescribed sign.

## The editorial office address:

93a, Markova street, Vladikavkaz, Russia 362002, Geophysical Institute of VSC RAS, the editorial office of the journal «Geology and Geophysics of Russian South». Phone +7 (8672) 76-19-28; fax: +7 (8672) 76-40-56, e-mail: southgeo@mail. ru

# ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ (№ 4. 2019 г. Том 9)

Главный редактор В.Б. Заалишвили

Подписано в печать 16.12.2019 г. Формат 60×84 1/8. Дата фактического выхода 27.12.2019 г. Усл. печ. лист 18,7. Гарнитура «Times». Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ № 106. Свободная цена.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-72125 от 29 декабря 2017 г.

Издатель: **Геофизический институт – филиал ФГБУН Федерального научного центра** "Владикавказский научный центр Российской академии наук" Адрес издателя и редакции: 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056 e-mail: southgeo@mail.ru http://geosouth.ru

> Отпечатано ИП Цопановой А.Ю. 362000, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3