

ISSN 2221-3198

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

**GEOLOGY
AND GEOPHYSICS
OF THE SOUTH OF RUSSIA**

**Том 9
№ 1 / 2019**



ISSN 2221-3198

**Геофизический институт Владикавказского научного центра
Российской академии наук**

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

**GEOLOGY
AND GEOPHYSICS
OF THE SOUTH OF RUSSIA**

**Том 9
№ 1 / 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
Ph. 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. Ганapati**, 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 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:

Владикавказский научный центр 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
e-mail: southgeo@mail.ru
<http://geosouth.ru>

ISSN 2221-3198

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 29119

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНИЦ РАН, 2019

© Заалишвили В. Б. (ред.), 2019

Фото на обложке – «Ущелье Адайком» (К. С. Харебов)

**EDITORIAL BOARD OF «GEOLOGY AND GEOPHYSICS
OF THE SOUTH OF RUSSIA» JOURNAL**

Chief Editor

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

Deputy Chief Editor

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 Exploitation of Mineral

Resources Russian Academy of Sciences, Moscow

Alexey 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

Mikhail 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

Vasily 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

Founder:

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

Publisher:

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

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

© Zaalishvili V.B. (Ed.), 2019

Cover photo – "Adaykom Gorge" (K.S. Kharebov)

СОДЕРЖАНИЕ

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ	
Короновский Н. В.	
Строение базального горизонта риолитовой толщи и его происхождение (Северный Кавказ, Верхний Чегем)	6
ГЕОТЕКТЕНИКА И ГЕОДИНАМИКА	
Бергер М. Г.	
О специфике газогляциодинамических явлений	17
Магомедов Р. А., Мамаев С. А.	
Некоторые результаты исследований геотектонических условий и современной сейсмичности Восточного Кавказа	29
Гиоргобиани Т. В.	
Условия формирования альпийской складчатой системы Большого Кавказа и характерные особенности ее структуры	43
ГЕОФИЗИКА	
Чернов Ю. К.	
Предварительный анализ возможности сейсмогенного разжижения грунтов (на примере водонасыщенных песчано-глинистых отложений в п. Кудепста Адлеровского района г. Сочи)	58
Григорян В. Г., Карапетян Дж. К., Казарян К. С., Саргсян Р. С.	
Сейсмическая опасность территории Армении: нормативные карты районирования. Предварительный вариант новой карты ОСР	71
Етирмишли Г. Дж., Валиев Г. О., Казымова С. Э., Исмаилова С. С., Казымов И. Э.	
Технологии добычи остаточной нефти	84
ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ	
Левицкий А. А., Рудаков А. В., Левицкая М. С.	
Специфика получаемого сейсмического материала в сложных сейсмогеологических условиях (заболоченная местность)	97
Карапетян Дж. К., Айрапетян О. Ю., Мхитарян Д. А.	
Анализ динамических характеристик здания комплексной конструкции с помощью мобильной сейсμοстанции нового поколения	110
Минасян Р. С., Карапетян Дж. К., Карамян Р. А., Игитян А. А., Геворгян А. А., Нургалиев Д. К., Крылов П. С., Даутов А. Н., Ясонов П. Г., Кузина Д. М.	
Палеогидрогеологические и геофизические исследования в связи с реконструкцией палеоклимата бассейна озера Севан (Армения)	122
ГЕОТЕХНОЛОГИЯ. ГЕОМЕХАНИКА	
Корженков А. М., Овсяченко А. Н., Федосеев Н. Ф., Ларьков А. С.	
Комплекс деформаций строительных конструкций в греческом археологическом памятнике «Госпиталь», г. Керчь, Крым	135
ГЕОИНФОРМАТИКА	
Гридневский А. В.	
Численное моделирование геофильтрации правобережья реки Дон для обоснования инженерной защиты от подтопления в г. Ростове-на-Дону	150
ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ	164

CONTENTS

PALEONTOLOGY, STRATIGRAPHY, LITHOLOGY	
Koronovsky N. V. The structure of the basal horizon of the rhyolite thick and its origin (Northern Caucasus, the Upper Chegem)	6
GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS	
Berger M. G. About the specifics of gas glaciodynamic sphenomena	17
Magomedov R. A., Mamaev S. A. Some results of research of geotectonic conditions, geodynamics and modern seismicity East Caucasus	29
Giorgobiani T. V. Conditions of formation of the alpine folded system of the Greater Caucasus and unique features of it's structure	43
GEOPHYSICS	
Chernov Yu. K. A preliminary analysis of the ability of seismic liquefaction of soils (for example, water-saturated sandy-clay deposits in Kudepsta village, Adler district of Sochi)	58
Grigoryan V. G., Karapetyan J. K., Ghazaryan K. S., Sargsyan R. S. Seismic hazard on the territory of Armenia: seismic zoning normative maps. Preliminary version of the new general seismic zoning map	71
Etirmishli G. J., Valiev G. O., Kazimova S. E., Ismailova S. S., Kazimov I. E. Technologies of residual oil extraction	84
GEOPHYSICAL METHODS	
Levitskiy A. A., Rudakov A. V., Levitskaya M. S. Specificity of the seismic material obtained in complex seismo geological conditions (swamp zone)	97
Karapetyan J. K., Hayrapetyan H. Yu., Mkhitarian D. A. Analysis of the dynamic characteristics of the mixed structure building using mobile seismic station of new generation	110
Minasyan R. S., Karapetyan J. K., Karamyan R. A., Igityan A. A., Gevorgyan A. A., Nurgaliev D. K., Krilov P. S., Dautov A. N., Yasonov P. G., Kuzina D. M. Paleohydrogeological and geophysical research aimed at reonstruction of paleoclimate in lake Sevan basin, Armenia	122
GEOTECHNICS. GEOMECHANICS	
Korzhnikov A. M., Ovsyuchenko A. N., Fedoseev N. F., Larkov A. S. Complex of building constructions' deformations in the Greek archeological settlement «Hospital», Kerch city, Crimea	135
GEOINFORMATICS	
Gridnevskiy A. V. Numerical simulation of the filtration process in the right-bank of the river Don for protection the buildings against rise of groundwater in the city of Rostov-on-Don	150
INFORMATION FOR AUTHORS	167

ПАЛЕОНТОЛОГИЯ, СТРАТИГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

УДК 551.217 (470.62/67)

DOI 10.23671/VNC.2019.1.26784

Строение базального горизонта риолитовой толщи и его происхождение (Северный Кавказ, Верхний Чегем)

Н. В. Короновский, д. г.-м. н., проф.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Россия,
119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, e-mail: koronovsky@rambler.ru

Аннотация: Мощную толщу риолитов Верхнечегемской вулcano-тектонической впадины большинство исследователей относят к «игнимбрикам» – т.е. породам, образовавшимся при спекании или сваривании частиц в пепловых потоках. Однако особенности детального строения всей толщи и в особенности базального горизонта черных витрофиров основания мощной толщи риолитов позволяют предположить излияние флюидизированной магмы в состоянии «самоорганизующейся критичности», а не спекания пеплового материала. Обращают на себя внимание обогащение базальных слоев ксенолитами разной степени сглаженности и резкие контакты черных витрофиров с другими типами риолитов в толще, состоящей из многочисленных «потоков» или «единиц», обладающих тонкой столбчатой отдельностью, переходящих из одного «потока» в другой и при этом границы «потоков» ничем не выражены. Характер строения, размещения и контактов слоя черных витрофиров не позволяет принять это предположение, как, впрочем, и игнимбритовую природу большей части риолитовой толщи, если под «игнимбриком» понимать спекшийся или даже сваренный пирокластический материал. Можно допустить ее образование в результате истечения, именно истечения, а не взрыва, флюидизированной подачи к поверхности из целого ряда центров. Можно заметить, что если в магматическом очаге на каком-то уровне возникает флюид с температурой выше критической точки, то он способен к флуктуациям, к «самоорганизующейся критичности».

В подошве развита толща черных стекловатых риолитов, мощность которой изменчива, но местами может достигать 20–30 м. Иногда эти черные витрофиры непосредственно налегают на гранитный субстрат. В ряде мест с черными стекловатыми риолитами связаны сферулы, скорее шары правильной формы – шары, располагающиеся, как правило, в верхней части черных риолитов либо в их подошве там, где пласт витрофиров. В Эльбрусском вулканическом районе подобная шаровая отдельность в кислых черных витрофирах не встречается, как, впрочем, и в черных стекловатых породах.

Ключевые слова: вулканизм, игнимбриды, витрофиры, флюидизированная магма, риолитовая толща.

Для цитирования: Н. В. Короновский Строение базального горизонта риолитовой толщи и его происхождение (Северный Кавказ, Верхний Чегем). *Геология и геофизика Юга России*. 2019; Том 9. № 1. С. 6–16. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26784.

Введение

В пределах Северного Кавказа в верховьях р. Чегем располагается большая вулcano-плутоническая депрессия, выполненная 2,5-километровой толщей риолитов и перекрывающих их моренными отложениями и андезитами. Возраст риолитов оценивается в 2,82 млн. лет [Bogatikov et al., 1992; Lipman et al., 1993; Koronovskii, 2016]. Различные аспекты этой молодой грандиозной толщи риоли-

тов с разной степенью полноты описаны во многих работах, из которых отметим лишь главные [Масуренков, 1957, 1961; Милановский и др., 1962; Короновский, 1975; Короновский, Лебедев-Зиновьев, 1973; Милановский, Короновский, 1973; Короновский и др., 1982; Lipman et al., 1993]. Во всех этих работах рассматриваются различные стороны геологии, петрографии и генезиса риолитов, которые большинство исследователей, но не все, относят к «игнимбрикам» – т.е. породам, образовавшимся при спекании или сваривании частиц в пепловых потоках. Однако особенности детального строения всей толщи, которые были выявлены автором в результате многократных маршрутов и геологической съемки нагорья начиная с 1955 и по 2016 гг., позволяют представить наиболее обоснованную картину строения и формирования огромной массы риолитов и, в первую очередь, базального горизонта.

Фактический материал

Обладая огромной мощностью до 2 км, Верхнечегемская толща риолитов залегает в глубокой овальной в плане (11×15 км) вулcano-тектонической впадине, формировавшейся одновременно с извержением, во время которого верхнеплиоценовая поверхность уже начавшего формироваться горного рельефа Центрального Кавказа испытала проседание почти на 2 км, которая только сейчас вскрывается долиной р. Чегем в наиболее прогнутой части впадины. По левому берегу долины р. Чегем вся толща риолитов, прорезанная рекой представляет собой практически вертикальный, ступенчатый обрывистый склон высотой около 1,5-2,0 км, в котором хорошо наблюдается структура внутренней части толщи риолитов, состоящая из многочисленных «потоков» или «единиц», обладающих ясно выраженной особенностью, но чаще тонкой столбчатой отдельностью. Можно проследить, как столбы переходят из одного «потока» в другой и при этом границы «потоков» ничем не выражены, нет никаких брекчий, прослоев туфов, ничего, только линия соприкосновения.

Вся толща построена довольно однообразно, но наибольший интерес для понимания происхождения риолитов представляет базальный горизонт, развитый за небольшим исключением практически повсеместно. В целом, если отвлечься от деталей, он представлен смоляно-черными витрофирами или гиалофирами мощностью от первых метров до 30-35 м, залегающих непосредственно на субстрате, либо через прослой разной мощности, состоящий из туфов, брекчий с окатанными обломками и даже валунами, а также серых, светлых риолитов с очень мелкими, доли сантиметров, темными, стекловатыми фьямме. Характер кровли и подошвы черных витрофиров в разных местах базального горизонта сильно отличается.

В одних случаях витрофиры непосредственно залегают на субстрате – нижнепалеозойских гранитах или кристаллических сланцах, образуя лишь зону покраснения пород, как бы обжига, мощностью в первые сантиметры. В других – на субстрате налегает тонкий (3-10 см) пласт светлых риолитов с очень мелкими фьямме несколько мм черного стекла, количество которых быстро увеличивается вверх по разрезу и на протяжении 0,3-0,5 м сливаются в один пласт черных витрофиров мощностью до 5-10 и 30 м. В этой черной стекловатой массе различаются мелкие фьямме стекла еще более темного цвета. В некоторых обнажениях в самых нижних слоях, но не в черных витрофирах, видны небольшие оглаженные ксенолиты гранитов, отсутствующих в слое черных витрофиров. В ряде мест обрывов в левом борту долины р. Чегем в основании толщи в серых риолитах прослеживается до

3-х прослоев черных риолитов, обладающих очень резкими и четкими контактами, в которых наблюдается тонкая, как бы шлаковидная корочка толщиной в 1-3 см. Иными словами, черные витрофиры – это обособленные слои риолитов.

Строение базального горизонта усложняется в местах крутых 35-40° перегибов субстрата, например, южнее контакта с тощей верхнеюрских известняков. Прослой витрофиров испытывает пережимы, раздувы, местами образуя как бы «лакколлиты», «силы» или «штоки», внедряющиеся в вышележащие слои (рис. 1а, б). На контакте подобных тел наблюдается тонкая (до 1-2 см) корочка закалки, напоминающая настоящий интрузивный контакт. Расщепление горизонта витрофиров на отдельные слои и внедрение его в другие риолиты свидетельствует о высокой температуре витрофиров, обладавших пластичностью.

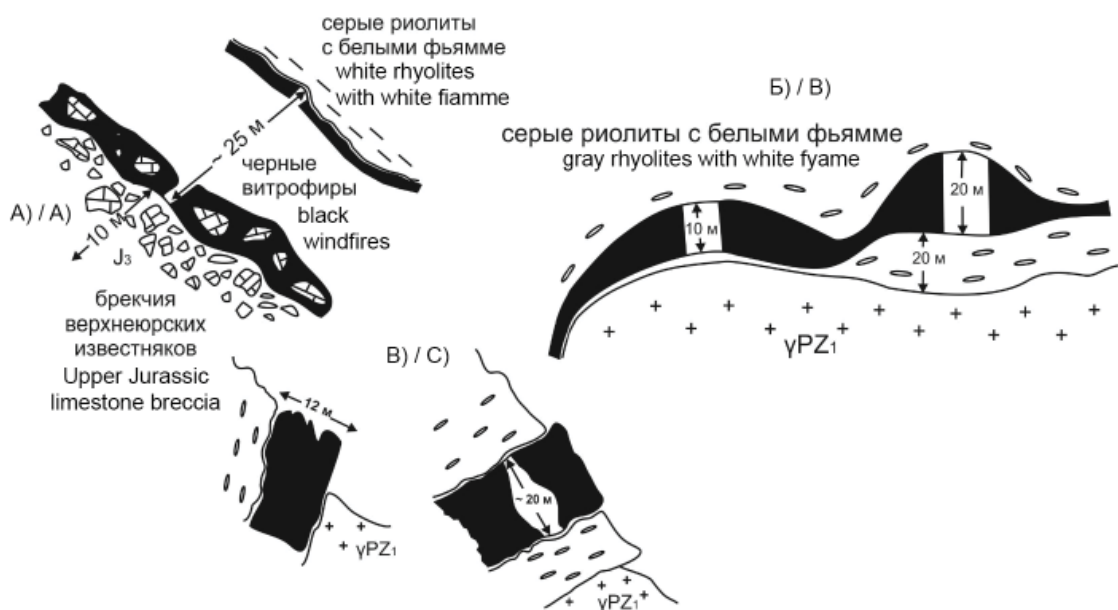


Рис. 1. Контакты пласта черных витрофиров в разных местах базального горизонта риолитов Верхнего Чегема. Обращает на себя внимание очень резкий контакт черных витрофиров: а) контакт около устья р. Джилгы-су, мощность черных витрофиров около 25 м; б) контакт около подводящего канала верховьев р. Сырын-су; в) контакты по левому берегу р. Башиль-аузу-су

Fig. 1. Contacts of the black vitrophyre formation in different places of the basal horizon of the Upper Chegem rhyolites. A very sharp contact of black vitrophyres is noteworthy: a) contact near the mouth of the r. Dzhilgy-su, the power of black vitrophyre is about 25 m; b) the contact near the supply channel of the headwaters of Syryn-su river; c) contacts on the left bank of the river Bashil-auzu-su

В основании толщи риолитов против устья р. Булунгу-су там, где происходит контакт между раннепалеозойскими гранитами и верхнеюрскими известняками, прослой черных витрофиров залегает метров на 20-25 выше контакта с известняками. Базальный слой здесь представлен очень плотными светлыми риолитовыми туфами с крупными оглаженными глыбами известняков размером от 0,2 до 1,5 м. Выше располагается прослой темно-серых риолитов с темно коричневыми маленькими стекловатыми фьямме, который вверх по разрезу сменяется туфами с обломками известняков и только выше них по очень резкой границе залегает слой черных витрофиров. Подобный контакт продолжается к северу до долины р. Джилгы-су и далее. Однако соотношение между слоями черных витрофиров и серых риолитов может быть разным. Но везде обращают на себя внимание резкие контакты черных

витрофиров с другими типами риолитов и обогащение базальных слоев ксенолитами разной степени сглаженности.

В ряде мест – в подводящем канале на левом склоне верховьев р. Сырын-су, а также в молодом, поздне-четвертичном экструзивном массиве Башиль, черные витрофиры находятся в интрузивном залегании, образуя подобие протяженных языков или колонн, также с очень резкими контактами (рис. 1в). Местами черные витрофиры находятся явно в рвущих интрузивных контактах с вмещающими породами. Ни в одном месте во всей огромной толще риолитов прослоев черных витрофиров больше не встречается. Нет их в контактах западной окраины нагорья. Они присутствуют лишь в останцах риолитовой толщи на правом склоне долины р. Чегем и ее притоков в горах Гихи, Кору, Булунгу. В этих останцах, как, например, на г. Гихи присутствуют два-три прослоя витрофиров, причем в верхней части останца, а в других – они располагаются в основании разреза.

Эти останцы риолитов залегают на относительно пологом склоне долины Чегема, образовавшемся в результате его проседания во время извержения массы риолитов, в которых в изобилии присутствуют ксенолиты верхнеюрских известняков, образующих в черных витрофирах основания останцов, причудливые «карманы» и «линзы», размером в первые метры (рис. 2а, б). Все эти включения с обильными обломками известняков и гранитов явно переносились или перекачивались в массу, образующей черные витрофиры, причем перенос был на расстоянии в 3-5 км, считая от контакта верхней юры и гранитов в наиболее низком расположении базального горизонта риолитов против с. Булунгу на левом склоне долины

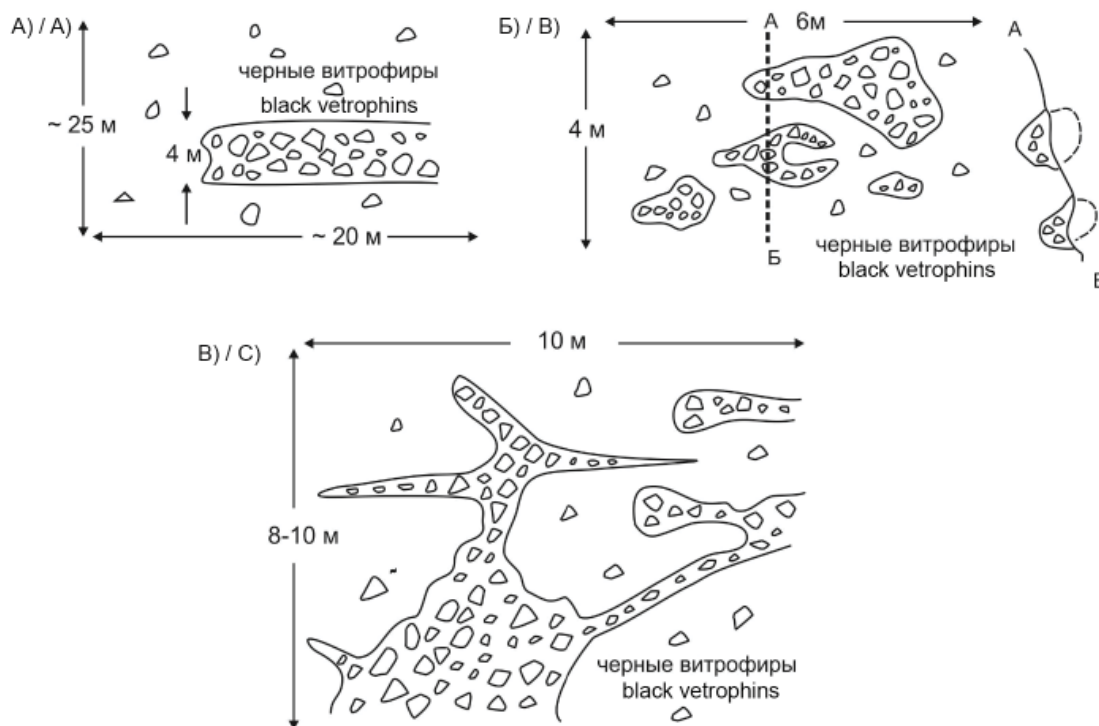


Рис. 2. Характер распределения обломков известняков верхней юры в черных витрофирах на водоразделе р. Булунгу-су /

Fig. 2. The nature of the distribution of limestone fragments of the Upper Jurassic in black vitrophir on the watershed of Bulungu su river

р. Чегем. Чаще всего ксенолиты известняков размером 4-5 и до 10-15 см округлой, как бы окатанной формы и все эти «линзы» и «карманы» с ними явно переносились в массу черных витрофиров. В ряде обнажений можно наблюдать расчленение слоя черных витрофиров, как бы их «растаскивание» на отдельные линзы или куски (рис. 2в).

Особенностью строения практически повсеместно развитого базального горизонта черных витрофиров является присутствие мелких фьямме и, что важно, одинаковых размеров в первые мм, реже до 1 см. Горизонт обладает разной мощностью, местами достигающей до 30-35 м, но чаще всего намного меньше, и его строение свидетельствует о том, что масса витрофиров обладала пластичностью во время своего образования и местами залегает в виде вертикальных, явно рвущих языков, колонн или даек.

Шаровые лавы в базальной толще

Основание всей толщи риолитов, как уже говорилось, обнажено от р. Сырын-су на юге, до р. Джилгы-су на севере, где оно вскрыто практически вертикальными обрывами, высотой в сотни метров и до 1,5-2,0 км. С юга основание толщи риолитов, начиная от подводящего канала в верховьях р. Сырын-су, испытывает резкое опускание, отмеченное рядом практически вертикальных разрывов и в районе Башильского вала по р. Башиль-аузу-су, истока Чегема, практически находится на уровне реки. Далее, вдоль левого берега р. Чегем основание всей риолитовой толщи испытывает подъемы и опускания на первые десятки и даже до двухсот метров. Таким образом, подошва толщи всех риолитов неровная и она приобрела ее в момент образования всей толщи, когда происходило проседание или проваливание первичной, относительно слабо расчлененной позднеплиоценовой поверхности уже начавшего формироваться горного рельефа центральной части Большого Кавказа.

В нижней части, в подошве всей этой огромной толщи риолитов во многих местах, но не повсеместно, как уже отмечалось, развит пласт или толща черных стекловатых риолитов, мощность которой может достигать 20 и 30 м, но может и вообще отсутствовать. Местами эти черные витрофиры непосредственно налегают на гранитный субстрат.

В целом ряде мест, но не везде, преимущественно в южной части массива там, где риолиты непосредственно контактируют с раннепалеозойскими гранитами и кристаллическими сланцами, с черными стекловатыми риолитами связаны сферулы, скорее шары правильной формы – шары, располагающиеся, как правило, в верхней части черных риолитов либо в их подошве там, где пласт витрофиров, а они выглядят именно как пласт или слой с резко очерченной кровлей и подошвой (рис. 3). Диаметр шаров достигает 1 и 1,5 м, и они обладают правильной шарообразной формой, но местами облекаются черными витрофирами (рис. 3). Шары отличаются от витрофиров более светлым, обычно коричневатым цветом и там, где они расколоты по их внешнему краю наблюдаются тонкие каемочки более темной стекловатой породы, а в центральной части местами можно наблюдать какой-нибудь ксенолит, либо крупный кристалл, размерами в первые сантиметры. Внутреннее строение массивных шаров обладает иногда радиально лучистым строением и в нем встречаются те же минералы, что и в окружающих их риолитах, о генезисе которых мы сейчас не говорим. Местами шары превращаются в уплощенные «огурцы» или

«подушки», в которых также наблюдаются небольшие ксенолиты. Подчеркнем, что подобные шары чаще всего приурочены к кровле черных витрофиров, какую бы форму залегания те не имели, но чаще всего это пласты.

Шары обычно располагаются на верхней поверхности слоев черных витрофиров и они оказываются как бы вдавленными в них (рис. 3), а местами даже облекаются ими, что свидетельствует о еще не застывшей полностью стекловатой массе (рис. 3). Шары располагаются часто рядами, плотно прилегая друг к другу, а иногда они наблюдаются и внизу слоев черных витрофиров, также приобретая некоторую вдавленность в них, но часто приобретая как бы «половинчатую» форму.

Характерно, что наличие шаров не устанавливается в находящихся выше по разрезу рядах пластов черных витрофиров. Шары прослеживаются только в самом основании риолитовой толщи и только в южной части всего разреза Верхне-Чегемской вулканической впадины. Их распространение ограничивается участками относительно пологих контактов подошвы риолитов, а там, где предполагаются разрывы, крутые контакты с субстратом, пласты с шарами отсутствуют. Следует подчеркнуть полное сходство минералогического и химического состава шаров и риолитов, в которых они распространены, но они отличаются от более стекловатых черных риолитов, с которыми они связаны.

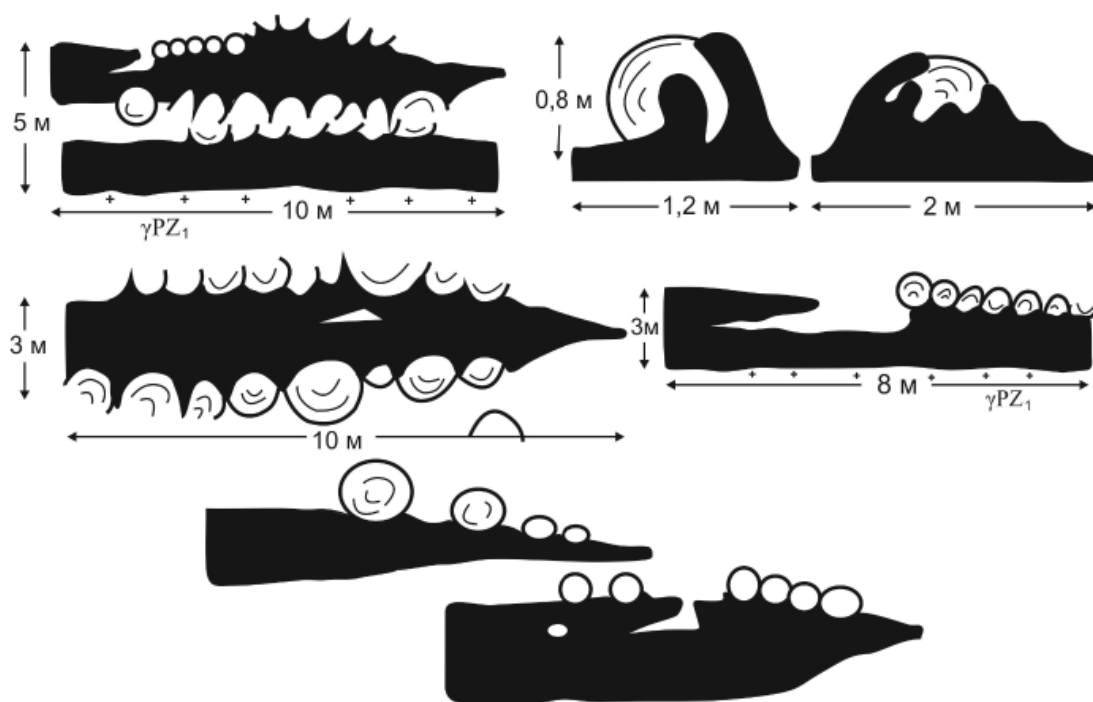


Рис. 3. Примеры развития шаровой отдельности в черных витрофирах основания толщи риолитов /

Fig. 3. Examples of the development of spherical separation in black vitrofirs of the base of the rhyolite stratum

Нужно отметить, что шаровые лавы в кислых породах нередко относимых к игнимбрикам довольно редкое явление. Сферолоидные образования описаны в Центральном Казахстане на горе Каратамер [Кебезинская К., Кебезинская В., 1964; Родыгин, 1962] и ничем не отличаются от окружающих их риолитовых лав.

Прослои и линзы горизонтально залегающих шаровых лав в верхнекаменноугольных кварцевых порфирах Кураминского хребта прослеживаются по простираанию на 12 км [Воловикова, Елисеева, 1959] и обладают таким же составом, как и вмещающие их кислые вулканиды. Шаровая отдельность в риолитовых пластах (потоках) длиной в 1,6 км была описана в Аризоне в холмах Kanelo (Canelo Hills, Arizona, USA) [Feth, Antony, 1948; Marshall et al., 2015; Qashqai et al., 2016] и там они обладают похожим характером залегания.

Еще раз подчеркиваем, что нигде в Эльбрусском вулканическом районе, в котором распространены различные по своему генезису риолиты, подобная шаровая отдельность в кислых черных витрофирах не встречается, как, впрочем, и в черных стекловатых породах. Очевидно, шары и витрофиры каким-то образом связаны между собой. Вопрос в том, каким образом? Следует отметить, что определенную роль в возникновении шаров играет генезис черных стекловатых витрофиров основания огромной 2-х км толщи риолитов без какого-нибудь перерыва. В разных местах нижней части массы риолитов черные стекловатые витрофиры, иногда блестящие как стекло, обладают различной мощностью от долей метра до 20-30 м, образуя как бы неравномерный слой. В этих породах местами, но не везде можно увидеть небольшие 1-3 см, также стекловатые черные фьямме. Очень важен характер подошвы и кровли пласта черных витрофиров. В большинстве случаев нижняя и верхняя граница резкая, без всяких переходов, но местами видно, что более светлые риолиты с фьямме сменяются черными витрофирами постепенно, но на расстоянии всего в 10-30 см. Черные витрофиры какое-то время после своего образования сохраняли пластичность и могли внедряться в окружающие риолиты. Шаровая отдельность возникла в тех черных витрофирах, которые имели небольшую мощность, не более первых метров, но там, где они достигали 1 и даже 30 м, шары отсутствуют.

Заключение

Как же можно понять и объяснить появление в основании огромной толщи риолитов, сформировавшейся в «один присест», если так можно выразиться, различного по мощности пласта черных витрофиров, развитого широко, но, все-таки, не повсеместно, и обладающего, местами, необычной шаровой отдельностью.

Существует представление о том, что пласт витрофиров – это максимально спекшийся пирокластический материал основания «игнимбритовой» толщи. Характер строения, размещения и контактов слоя черных витрофиров не позволяет принять это предположение, как, впрочем, и игнимбритовую природу большей части риолитовой толщи, если под «игнимбритом» понимать спекшийся или даже сваренный пирокластический материал. Можно допустить ее образование в результате истечения, именно истечения, а не взрыва, флюидизированной подачи к поверхности из целого ряда центров, что сопровождалось одновременным прогибанием субстрата, который содержал повышенное количество воды, благодаря чему стекловатые риолиты расщеплялись, что и наблюдается в отдельных местах. Можно заметить, что если в магматическом очаге на каком-то уровне возникает флюид с температурой выше критической точки, то он способен к флуктуациям, к «самоорганизующейся критичности» [Болл, 2008]. Флюидизированная масса устремляется по открывшемуся каналу или трещине в сторону уменьшения давления и струи расплава при движении вверх разрываются на линзовидные включения, которые часто принимаются за спекшуюся пемзу (фьямме). Вот эти струи расплава, именно

струи, могут первыми поступать к поверхности и изливаться, что и происходит. О том, что черные витрофиры могут быть результатом излияния, свидетельствует и возникающая в них спорадически шаровая отдельность, что отмечалось в ряде работ [Лучицкий, 1971; Воловикова, Елисеева, 1959; Bryan, 1954; Кепежинская К., Кепежинская В., 1964]. Если взрыв флюидизированной магмы происходит на разной глубине, тогда обломки окатываются в подводящем канале, как это давно описано Голубевой И. И. [1994] и другими. Строение всей огромной толщи риолитов Верхнего Чегема лучше объясняется непрерывным или почти непрерывным истечением флюидизированной кислой магмы и только под конец извержения мог образоваться пирокластический материал.

Следует отметить, что черные стекловатые витрофиры должны обладать невысокой температурой, до $+850^{\circ}\text{C}$ и содержать небольшое количество воды. Именно при этих условиях и образуется обсидиан, но в данном случае породу можно назвать смоляным камнем (пехштейн). Эти породы могут усваивать водяной пар из подстилающих влажных осадков и приобретать способность к течению, пусть и на ограниченном участке. Поэтому о подвижности черных стекловатых риолитов основания, и не только, толщи риолитов Верхнего Чегема можно сделать положительный вывод.

Литература

1. Болл Ф. Критическая масса. Как одни явления порождают другие. – М.: Гелеос, 2008. – 528 с.
2. Воловикова И. М., Елисеева О. П. К вопросу об образовании шаровых лав в кислых эффузивах Кураминского хребта / Материалы Первого Всесоюзного вулканологического совещания «Проблемы вулканизма» 15-27 сентября 1959 г. – Ереван. – 1959.
3. Голубева И. И. Интрузивные пирокластиты севера Урала. – Сыктывкар: Изд-во Коми НЦ УрО РАН, 1994. – 84 с.
4. Кепежинская К. Б., Кепежинская В. В. Сферолоиды верхнепалеозойских липаритовых порфиров гор Каратанер // Тр. Лаб. Палеовулк. – Алма-Ата. – Вып. 3. – 1964.
5. Короновский Н. В., Лебедев-Зиновьев А. А. Строение дайки в долине р. Сарын-Су (Верхнечегемское вулканическое нагорье, Северный Кавказ) // Известия АН СССР. Сер. геол. – 1973. – № 1. – С. 56-64.
6. Короновский Н. В., Попов В. С., Николаенко Ю. С. Геология кислых лав и проблема происхождения игнимбритов // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. – 1982. – № 5. – С. 26-35.
7. Короновский Н. В. Флюидлипариты Верхнечегемского вулканического нагорья (Сев. Кавказ) // Доклады Академии наук. – 1975. – Т. 220. № 2. – С. 447-450.
8. Лучицкий И. В. Основы палеовулканологии / Т. 1. Современные вулканы. – М.: Наука, 1971. – 479 с.
9. Масуренков Ю. П. Кайнозойский вулканизм Эльбрусской вулканической области // Труды ИГЕМ. – Вып. 51. – М.: Изд. АН СССР, 1961. – 132 с.
10. Масуренков Ю. П. Особенности эволюции кайнозойского вулканизма Эльбрусской области // Изв. АН СССР. – 1957. – Сер. геол. № 6. – С. 51-67.
11. Милановский Е. Е., Каминский Ф. В., Седенко С. М. Геологическое строение и история формирования Верхнечегемского вулканического нагорья // Труды Кавказской экспедиции ВАГТ и МГУ. № 3. – М.: Госгеолтехиздат, 1962. – С. 362-396.
12. Милановский Е. Е., Короновский Н. В. Орогенный вулканизм и тектоника Альпийского пояса Евразии. – М.: Недра, 1973. – 278 с.
13. Родыгин А. И. О шаровых лавах в кислых эффузивах северного склона Сайлюгемского хребта // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1962. – № 6.

14. Bogatkov O.A., Gurbanov A.G., Kovalenko V.I., Koronovsky N.V., Lipman P.W., Tsvetkov A.A. The Upper Chegem caldera complex in the north Caucasus // *Int. Geol. Rev.* – 1992. – Vol. 34. – Pp. 131-147.
15. Bryan W.H. Sphorulites and allied structure // *Proc. Roy. Soc. Quensland.* – 1954. – Vol. 65. №3. Pt. 2.
16. Feth J.H., Antony J.W. Spheroidal structures in Arizona volcanics // *Bull. Geol. Soc. America.* – 1948. – Vol. 59. №12. Pt. 2.
17. Koronovskii N.V. Stages of recent volcanism and problems of their correlation with landscape formation in the central Caucasus // *Geotectonics.* – 2016. – Vol. 50. – Issue 5. pp. 491-508.
18. Lipman P.W., Bogatkov O.A., Tsvetkov A.A., Gazis C., Gurbanov A.G., Hon K., Koronovsky N.V., Kovalenko V.I., Marchev P. 2.8-Ma ash-flow caldera at Chegem River in the northern Caucasus Mountains (Russia), contemporaneous granites, and associated ore deposits // *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* – 1993. – Vol. 57. Issues 1-2. – Pp. 85-124.
19. Marshall A., Connor C., Kruse S., Malservisi R., Richardson J., Courtland L., Connor L., Wilson J., Karegar M.A. Subsurface structure of a maar-diatreme and associated tuff ring from a high-resolution geophysical survey, Rattlesnake Crater, Arizona // *Journal of Volcanology and Geothermal Research.* 2015. Vol. 304. Pp. 253-264.
20. Qashqai M. T., Afonso J. C., Yang Y. The crustal structure of the Arizona Transition Zone and southern Colorado Plateau from multiobservable probabilistic inversion // *Geochemistry Geophysics Geosystems.* – 2016. – Vol. 17. – Issue 11. – Pp. 4308-4332.

PALEONTOLOGY, STRATIGRAPHY, LITHOLOGY

DOI 10.23671/VNC.2019.1.26784

The structure of the basal horizon of the rhyolite thick and its origin (Northern Caucasus, the Upper Chegem)

N. V. Koronovsky, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.

Lomonosov Moscow State University, 1Leninskie Gory, Moscow119991, Russia
e-mail: koronovsky@rambler. ru

Abstract: Most researchers refer the powerful thickness of the rhyolite of the Upper Cheghem volcano-tectonic depression to “ignimbrite”, i. e. soils formed by sintering or welding particles in ash streams. However, the features of the detailed structure of the entire thickness and in particular the basal level of the black vitrophyre of the base of the powerful thickness of the rhyolite suggest an outpouring of fluidized magma in a state of “self-organizing criticality”, rather than sintering the ash material. Special attention is given to the enrichment of basal layers with xenoliths of varying degrees of smoothness and sharp contacts of black vitrophyre with other types of rhyolite in the thickness consisting of numerous “streams” or “units” having a thin columnar separation, passing from one “stream” to another and the boundaries of “streams” are not expressed. The nature of the structure, placement and contacts of the layer of black vitrophyre does not allow us to accept this assumption, as, indeed, the ignimbrite nature of most of the rhyolite thickness, if we mean by “ignimbrite” a sintered or even

welded pyroclastic material. It is possible to allow its formation as a result of the outflow (exactly the outflow, rather than explosion) of the fluidized supply to the surface from a number of centers, which was accompanied by a simultaneous deflection of the substrate, which contained an increased amount of water, so that the glassy rhyolite were exfoliated, which is observed in some places. It can be noted that if a fluid with a temperature above the critical point arises in the magmatic focus at some level, it is capable of fluctuations, of "self-organizing criticality".

A layer of black glassy rhyolite is developed in the basement; its thickness is variable but can reach up to 20-30 m in some places. These black vitrophyre sometimes directly overlie the granite substrate. In some places, spherules (rather spheres of regular shape – spheres, usually located in the upper part of black rhyolite or in their basement where the layer of vitrophyre is located) are connected with black glassy rhyolite. In the Elbrus volcanic region, the similar spheroidal jointing in acid black vitrophyre does not occur, as, indeed, in black glassy rocks.

Keywords: volcanism, ignimbrite, vitrophyre, fluidized magma, rhyolite thickness.

For citation: Koronovsky N. V. The structure of the basal horizon of the rhyolite thick and its origin (Northern Caucasus, the Upper Chegem). *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1):6-16. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26784.

References

1. Boll F. Critical mass. How some phenomena give rise to others. M. Geleos, 2008. 528 p. (in Russ.)
2. Volovikova I. M., Eliseeva O. P. To the question of the formation of spherulitic lavas in acid effusives of the Kuramin ridge. Materials of the First All-Union Volcanological Meeting "Volcanism problems" on 15-27 September 1959. Erevan. 1959. (in Russ.)
3. Golubeva I. I. Intrusive pyroclastites of the north of the Urals. Syktyvkar: Komi SC UrO RAN, 1994. 84 p. (in Russ.)
4. Kepezhinskas K. B., Kepezhinskas V. V. Upper Paleozoic liparite porphyry spheruloids of the Karataner mountains. Proceedings of the Laboratory of Paleovolcanism. Alma-Ata. Issue 3, 1964. (in Russ.)
5. Koronovskii N. V., Lebedev-Zinov'ev A. A. The structure of the dikes in the valley. Saryn-Su (Upper Chegem Volcanic Highland, Northern Caucasus). News of the USSR Academy of Sciences. 1973. Geology series. No. 1. pp. 56-64. (in Russ.)
6. Koronovskii N. V., Popov V. S., Nikolaenko Yu. S. Geology of acid lavas and the problem of the origin of ignimbrites. Moscow University Bulletin. Ser. 4. Geology. 1982. No. 5. pp. 26-35. (in Russ.)
7. Koronovskii N. V. Fluid-liparites of the Upper Chegem Volcanic Highland (North Caucasus). Reports of the Academy of Sciences. 1975. Vol. 220. No. 2. pp. 447-450. (in Russ.)
8. Luchickii I. V. Basics of paleovolcanology. Vol. 1. Modern volcanoes. M. Nauka, 1971. 479 p. (in Russ.)
9. Masurenkov Yu. P. Cenozoic volcanism of the Elbrus volcanic region. IGEM. Issue 51. M. Publisher USSR Academy of Sciences, 1961. 132 Pp. (in Russ.)
10. Masurenkov Yu. P. Features of the evolution of Cenozoic volcanism in the Elbrus region. News of the USSR Academy of Sciences. 1957. Geology series. No. 6. Pp. 51-67. (in Russ.)
11. Milanovskii E. E., Kaminskii F. V., Sedenko S. M. Geological structure and history of the formation of the Upper Chegem volcanic highland. Proceedings of the Caucasian expedition VAGT and MSU. No. 3. M. Gosgeoltekhizdat, 1962. Pp. 362-396. (in Russ.)
12. Milanovskii E. E., Koronovskii N. V. Orogenic volcanism and tectonics of the Alpine belt of Eurasia. M. Nedra, 1973. 278 p. (in Russ.)
13. Rodygin A. I. About spherulitic lavas in acidic effusives of the northern slope of the Sailyugemsk ridge. News of the USSR Academy of Sciences. Geology series. 1962. No. 6. (in Russ.)
14. Bogatkov O. A., Gurbanov A. G., Kovalenko V. I., Koronovsky N. V., Lipman P. W., Tsvetkov A. A. The Upper Chegem caldera complex in the north Caucasus. Int. Geol. Rev. – 1992. – Vol. 34. – Pp. 131-147.

15. Bryan W.H. Sphorulites and allied structure. *Proc. Roy. Soc. Quensland*. 1954. Vol. 65. №3. Pt. 2.
16. Feth J.H., Antony J.W. Spheroidal structures in Arizona volcanics. *Bull. Geol. Soc. America*. 1948. Vol. 59. No. 12. Pt. 2.
17. Koronovskii N.V. Stages of recent volcanism and problems of their correlation with landscape formation in the central Caucasus. *Geotectonics*. – 2016. – Vol. 50. – Issue 5. pp. 491-508.
18. Lipman P.W., Bogatikov O.A., Tsvetkov A.A., Gazis C., Gurbanov A.G., Hon K., Koronovsky N.V., Kovalenko V.I., Marchev P. 2.8-Ma ash-flow caldera at Chegem River in the northern Caucasus Mountains (Russia), contemporaneous granites, and associated ore deposits. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 1993. Vol. 57. Issues 1-2. Pp. 85-124.
19. Marshall A., Connor C., Kruse S., Malservisi R., Richardson J., Courtland L., Connor L., Wilson J., Karegar M.A. Subsurface structure of a maar-diatreme and associated tuff ring from a high-resolution geophysical survey, Rattlesnake Crater, Arizona. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 2015. Vol. 304. Pp. 253-264.
20. Qashqai M. T., Afonso J. C., Yang Y. The crustal structure of the Arizona Transition Zone and southern Colorado Plateau from multiobservable probabilistic inversion. *Geochemistry Geophysics Geosystems*. – 2016. – Vol. 17. – Issue 11. – Pp. 4308-4332.

ГЕОТЕКТНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24 (234.9)

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26785

О специфике газогляциодинамических явлений

М. Г. Бергер, д. г.-м. н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: berger7@rambler.ru

Аннотация: Известно уже довольно большое число пароксизмальных катастрофических ледниковых пульсаций гигантского масштаба и направленного взрывоподобного характера в их эпицентральных зонах. Такие пульсации при любых предположениях и допущениях никак не укладываются в рамки традиционных представлений динамической гляциологии (и, в целом, классической географии) и не могут быть ни объяснены, ни предсказаны в рамках этих представлений, на их основе. Эти явления, с учетом ярко выраженных их особенностей (огромная по интенсивности ударная воздушная волна, исключительно большие скорости субгоризонтального перемещения ледниково-каменного материала, молниеносность проявления, весьма различная, в том числе исключительно высокая степень измельчения выброшенного материала, образование гигантских навалов ледово-каменного материала на многокилометровом удалении от первичного его местонахождения и пр.), наиболее точно идентифицируются как внезапные газодинамические выбросы ледников. Согласно историческим данным катастрофических обвалов ледника Колка с 1752 г. зафиксировано по 5 случаев разномасштабных выбросов, природа которых считалась гляциодинамической на основе удара по основному леднику обрушившихся сверху ледовых масс и резкое изменение его массобаланса. Анализ процесса подготовки, протекания катастрофических выбросов и продолжающихся посткатастрофических явлений на месте бывшего ледника (фумаролы, «муравьиные кучи», газовыделения) дает основание полагать, что гляциодинамика сама по себе за счет изменения массобаланса или механического воздействия обрушающихся ледовых масс в условиях группы ледников Казбекского вулканического центра не определяет критические условия для катастрофического выброса ледника. Такие условия могут возникнуть при определенных геодинамических условиях, включающих сейсмический, тектонический, геотермальный (за счет поствулканических процессов или магматических внедрений) факторы.

Ключевые слова: газогляциодинамические явления, газогляциодинамика, пароксизмальные катастрофические пульсации ледников, внезапные взрывоподобные направленные газодинамические выбросы ледников, особенности (признаки), причины, примеры, ледник Колка, Колкинская (Кармадонская) катастрофа, Уаскаран.

Для цитирования: Бергер М. Г. О специфике газогляциодинамических явлений // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 № 1. С. 17-28. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26785.

На каждом шагу, во всех, окружающих нас явлениях на земной поверхности мы сталкиваемся с исключительной важностью природных газов, обуславливающих и химические, и физические процессы земной коры.

В. И. Вернадский

Наука непрерывно куёт новое материальное и духовное оружие, позволяющее ей преодолевать встающие на пути ее развития трудности, открывать для исследования неразведанные области.

Л. де Бройль

Выражение «новое явление» я прилагаю к такому физическому явлению, которое нельзя ни полностью предсказать, ни объяснить на основе уже имеющихся теоретических концепций, и поэтому они открывают новые области исследований.

П. Л. Капица

...Мы спустились в Колку и достигли верхней, пологой части Майлийского ледника, пересеченной трещинами, и перешли через нее вплоть до правой, боковой морены. Везде видны были массы лавинного снега, а морены и склоны гор казались точно отполированными пронесшимся ураганом.

Н. В. Поггенполь – о Колкинской (Геналдонской) катастрофе 1902 г.

Введение

В плане раскрытия специфики газогляциодинамических явлений отметим, прежде всего, что при подготовке, проявлении и завершении во многих отношениях эталонного взрывоподобного направленного газодинамического выброса ледника Колка в 2002 г. исключительно ярко и мощно проявились многочисленные весьма специфические природные явления, глубоко отличающиеся от гляциодинамических. Все они так или иначе генетически связаны с концентрированным пульсационным прорывом в данном районе огромного количества высоконапорных глубинных поствулканических газов к земной поверхности и пароксизмальным взрывоподобным направленным газодинамическим выбросом ледника и, соответственно, имеют эндогенную газодинамическую исходную природу.

Фактический материал

Основными, наиболее характерными газогеодинимическими эффектами при подготовке, проявлении и завершении внезапного газодинамического выброса ледника Колка были:

1. Трещинно-обвальный, денудационно-аккумуляционный (эффект резкого снижения прочностных свойств горных пород в области питания ледника и связанное с этим резкое и продолжительное усиление интенсивности обвалов с г. Джимарайхох и ее восточных отрогов на ледник Колка).
2. Трещинно-инфильтрационный (эффект резкого возрастания проницаемости и, соответственно, значительного улучшения фильтрационных свойств горных пород в литосферном субстрате ледника и в сопредельной перигляциальной области).
3. Эффект интенсивного концентрированного прорыва потока огромного количества высоконапорных глубинных природных (преимущественно поствулканических) газов непосредственно под ледник и связанного с этим постепенного отжатия

ледника от его ложа и длительного устойчивого и увеличивающегося куполообразования на леднике, особенно в левой (северной) части его тыльной зоны (эффект газового домкрата).

4. Предкатастрофический эффект поверхностных струйных газовыделений (фумарол) в приледниковой зоне обвалов.

5. Взрывоподобный внезапный направленный газодинамический выброс ледника, сопровождавшийся разрушением ледника от его внешней поверхности до основания, гигантской по силе ударной воздушной волной, газовым ускорением выброшенного ледово-каменного материала в ближней эпицентральной зоне выброса, инерциальным разлетом ледово-каменного материала продуктов разрушения ледника под действием запасенной этим материалом при выбросе кинетической энергии.

Это основное пароксизмальное катастрофическое событие в эпицентральной зоне катастрофы обобщенно может быть названо *газодинамической аннигиляцией ледника* (в зарубежных публикациях в данном случае часто говорят о коллапсе ледника, не указывая, однако, сколько-нибудь определенно и, главное, доказательно причину и механизм этого коллапса).

6. Посткатастрофический эффект поверхностных струйных газовыделений (фумарол) в эпицентральной зоне выброса и вблизи от нее.

Из числа признаков газодинамического выброса ледника, следы которых длительно сохраняются в геологической летописи, отметим, прежде всего, штриховку, шлифовку и полировку горных пород как признак газогляциодинамической и газолитодинамической обработки их обнаженных поверхностей в эпицентральных зонах. При этом следует учесть, прежде всего, крайнюю скоротечность, непродолжительность обработки, многократность ее повторения (пульсационный характер) и очевидное участие относительно твердого материала в качестве абразива, а также, безусловно, газовоздушный характер несущей среды.

Выдающийся исследователь ледника Колка и других ледников различных горных областей мира К. П. Рототаев, посвятивший многие годы детальному изучению этого ледника, еще в 1954-1955 гг. обратил внимание на «следы ледниковой обработки высоко на скалах в ущелье Колки» [Рототаев и др., 1983, с. 17]. Эти следы обусловлены, конечно, предшествующими взрывоподобными газодинамическими выбросами ледника Колка, а не «частыми и мощными селями», о которых К. П. Рототаев пишет на той же странице (и, разумеется, не подвижками этого ледника типа подвижки 1969-1970 гг. при всех ее аномально крупных параметрах).

По-видимому, о таких же следах ледниковой обработки (шлифовки) «серого гранита» в Девдоракском ущелье пишет Б. И. Статковский [1887, с. 31, подстрочное примечание], по заключению которого «эта шлифовка могла произойти от действия завалов (так Б. И. Статковский именует выбросы ледника. – М. Б.), так как они («толщи серого гранита, который отшлифован». – М. Б.) находятся на значительной высоте над дном оврага».

Подобная ледниковая обработка высоко расположенных над ледником скал также может служить одним из важных диагностических признаков современных и палеогазогляциодинамических явлений.

Аналогичные следы Колкинской (Геналдонской) катастрофы 1902 г., установленные Н. В. Поггенполем [1905], отмечены в его описании, приведенном выше в качестве одного из эпиграфов к данной работе.

Существуют, безусловно, и многие другие, в том числе длительно сохраняющиеся в геологической летописи, признаки гигантских газогляциодинамических катастроф.

Выявление, детальное описание, систематизация и объяснение таких признаков – исключительно важная задача газогляциодинамики – новой области исследований в науках о Земле.

Известно уже довольно большое число пароксизмальных катастрофических ледниковых пульсаций гигантского масштаба и непосредственно пространственно, хронологически (когерентно) и генетически (или парагенетически) связанных с ними природных явлений экстраординарного характера, происходящих в гляциальной и перигляциальной зонах, которые при любых предположениях и допущениях никак не укладываются в рамки традиционных представлений динамической гляциологии и не могут быть ни объяснены, ни предсказаны в рамках этих представлений, на их основе.

К числу подобных аномальных и «внеурочных» событий в горно-ледниковых областях относятся не только не имеющая гляциологического объяснения совершенно неожиданная катастрофическая пульсация ледника Колка 20 сентября 2002 года, приведшая к гигантской катастрофе в Геналдонском ущелье, но и так и не получившие гляциологического объяснения принципиально аналогичные катастрофы на леднике Колка и в Геналдонском ущелье 3 и 6 июля 1902 года и в 1752 году, по крайней мере, некоторые катастрофические пульсации («обвалы», «завалы», «выносы») Девдоракского и других ледников Казбекской группы (прежде всего, ледника Абано в 1909 и 1910 гг.), г. Арарат 20 и 24 июня 1840 г., г. Уаскаран (Перу) 10 января 1962 г. и 31 мая 1970 г., г. Рейнир (ледник Эммонс) на северо-западе США (Каскадные горы, штат Висконсин) 14 декабря 1963 г., катастрофа на леднике Шерман (Чугачские горы, Аляска, США) в 1964 г., и некоторые другие [Evans, 2009; Klimes et al., 2009; Mark et al., 2017; Zaalishvili et al., 2014a,b, 2015, 2018].

Подобные явления, с учетом установленной (с различной степенью доказательности в каждом конкретном случае) их природы, особенностей, причин и условий их проявления, автор [Бергер, 2006б] назвал *газогляциодинамическими*.

Основными движущими силами этих явлений, определяющими их наиболее характерные особенности, являются испытываемые ледниками механические воздействия, вызываемые восходящей струйной миграцией и накоплением под ледниками огромных количеств высоконапорных глубинных природных газов и их пульсационно возрастающим давлением в подледниковом пространстве, вплоть до превышения давлением газа геостатического давления ледника и сил сцепления ледника с вмещающими породами (в том числе сил смерзания с боковыми ледниками-притоками).

Открытие такого, нового типа природных явлений, их гигантский катастрофический уровень, вполне соизмеримый по некоторым важнейшим параметрам (величине выделившейся энергии, количеству перемещенного материала и скорости его перемещения) с катастрофическим уровнем крупнейших природных катаклизмов (в частности, вулканических извержений), исключительная специфичность особенностей протекания, безусловная несводимость природы этих явлений к собственно гляциальной (фактическая антиподальность этих явлений по их особенностям и результатам, механизму протекания и вызывающим их причинам гляциодинамиче-

ским подвижкам) – важнейшие и достаточные основания для выделения таких явлений в качестве объектов новой области исследований в науках о Земле, названной автором [Бергер, 2006б, 2007а, б] *газогляциодинамикой*.

Причинно-следственные связи газовыбросоопасной ситуации

Катастрофические пульсации горных ледников типа Колкинской катастрофы 2002 года, по диагностическому определению (идентификации) автора, представляют собой огромные по силе (величине выделившейся энергии) взрывоподобные внезапные газодинамические выбросы ледников, всегда имеющие направленный характер в силу склонового, наклонного залегания ледников. При этом имеется в виду *преобладающее* направление движения *основного количества* выбрасываемого ледникового материала. Что же касается нередких настойчивых утверждений Н. И. Осокина и других гляциологов об *однонаправленном* движении *всей выброшенной массы* ледника Колка вниз по уклону долины, то они не соответствуют действительности и являются грубым искажением имеющихся в данной области фактов с целью отрицания доказательств газодинамической природы Колкинской катастрофы и доказательства основной роли воды в этой катастрофе в ее эпицентре. Однако доказательства газодинамической природы Колкинской катастрофы слишком многочисленны, однозначны и неоспоримы.

Весьма специфичны и причины, совокупность которых может привести к возникновению газовыбросоопасной ситуации на леднике. По данному поводу высказано немало необоснованных утверждений, требующих прояснения.

После предыдущей пароксизмальной газогляциодинамической катастрофы (двукратного частичного газодинамического выброса ледника Колка) 3 и 6 июля 1902 года и последующего восстановления, продолжавшегося в течение примерно 25 лет [Рототаев и др., 1983; Бергер, 2007а, с. 73] (или, скорее, несколько более), и обретения ледником свойств непроницаемого (газоупорного) барьера (на что предположительно потребовалось еще около 25 лет [Бергер, 2007а, с. 82]) ледник Колка просуществовал в качестве закрытой (или, по определению автора [Бергер, 2007б, с. 196], полуоткрытой) природной системы до следующего катастрофического внезапного газодинамического выброса ледника в 2002 г. всего около 50 лет. (В течение этого промежутка времени в 1969-1970 гг. произошла аномально крупная по масштабам быстрая подвижка ледника Колка, которая, однако, как показал К. П. Рототаев [Рототаев и др., 1983, с. 39-42] (см. также [Бергер, 2008, с. 58-65]), не сопровождалась нарушением высокой степени сплошности вязкопластичного «ядра» ледника Колка, его основной нижней (несущей) части и, таким образом, не привела даже к временному превращению этой природной системы в открытую.)

В течение всего этого времени природные газы, естественно, могли диффундировать, а также мигрировать фильтрационным путем и накапливаться под газонепроницаемым барьером ледника Колка. Одновременно возрастала и величина газового давления в подледниковом пространстве. Некоторые доказательства и возможные следствия проявления этих процессов, выразившиеся в трансформации динамического состояния ледника в это время, рассмотрены в работе [Бергер, 2007б, с. 44-46 и с. 73-75]. Возможность длительного (в течение нескольких десятков и даже гораздо большего количества лет) существования подобной «закрытой» природной системы не может вызывать никаких сомнений.

Однако ни количество природных газов в этой системе, ни интенсивность их поступления, ни величина газового давления, ни скорость ее возрастания до сентября 2002 г. не были столь значительными, чтобы вызвать внезапный газодинамический выброс ледника.

И лишь в сентябре 2002 г., в результате продолжавшегося в течение нескольких недель пароксизмального исключительно мощного и интенсивного концентрированного струйного прорыва потоков высоконапорных глубинных, преимущественно поствулканических, природных газов в подледниковое пространство ледника Колка, отмеченные параметры достигли критических для данной геодинамической системы значений и, по-видимому, существенно превысили их, что, естественно, и привело к огромному по интенсивности взрывоподобному внезапному газодинамическому выбросу ледника Колка со всеми сопровождающими такой выброс катастрофическими природными явлениями.

Разумеется, далеко не любые природные условия благоприятны для миграции и аккумуляции природных газов и возникновения аномально высоких пластовых давлений (АВПД) газов в их скоплениях. Однако наличие разломных трещинно-разрывных зон и других участков повышенной проницаемости земной коры, наличие узлов их пересечения, являющихся каналами наиболее интенсивной восходящей миграции высоконапорных глубинных природных газов, наличие мощных глубинных источников поступления природных газов по этим каналам, наличие трещинных и других коллекторов и перекрытие (экранирование) их газоупорной ледниковой крышкой, препятствующей вертикальной разгрузке газоподводящих каналов непосредственно в атмосферу, – наличие всех этих условий в геодинамической системе ледника Колка и его литосферного субстрата представляет собой практически полную совокупность исключительно благоприятных условий, необходимых и достаточных для интенсивного газонакопления и возникновения АВПД природных газов в подледниковом пространстве ледника Колка, что требуется для подготовки, запуска и проявления взрывоподобного газодинамического выброса ледника (см. также [Бергер, 2007б, с. 191 и далее; Бергер, 2008, с. 36-37].

Что касается коллекторов и резервуаров для подледникового накопления глубинных природных газов, то, как известно в нефтегазовой геологии, ими в значительной мере могут служить сами трещиноватые породы зон повышенной проницаемости земной коры в пределах газоподводящих каналов, обладающие значительным по объему пустотным (емкостным) пространством, перекрытые газоупорной крышкой и располагающиеся в пределах низкопроницаемых толщ (ограниченные низкопроницаемыми породами по латерали). Совместное выполнение этих условий, отвечающее геологическому строению и литологии района ледника Колка, препятствует не только вертикальной, но и латеральной разгрузке газовых скоплений в этих коллекторах и, соответственно, благоприятствует возникновению и возрастанию АВПД природных газов в их скоплениях. На завершающем этапе подготовительной стадии газодинамического выброса ледника это сопровождалось отрывом и отжатию ледника от его ложа, проявлением эффекта газового домкрата [Бергер, 2007б], куполообразованием в северной части тыльной зоны ледника, сохранявшимся без признаков оттока льда до момента выброса [Тутубалина и др., 2005], и предполагаемым [Бергер, 2007б, с. 54, Бергер, 2008, с. 37 и 45.] достаточно вероятным образованием непосредственно под ледником силлоподобной (пласто-

вой) газовой залежи с аномально высоким и пульсационно возрастающим пластовым давлением природных газов.

С учетом изложенного, совершенно очевидно, что в сентябре 2002 г. существовали все необходимые условия для подготовки и проявления взрывоподобного газодинамического выброса ледника Колка.

Важнейшее из этих условий – непроницаемый (газоупорный) ледниковый барьер и, соответственно, возможность образования под ним скопления природных газов с аномально высоким и пульсационно быстро возрастающим пластовым давлением – в настоящее время отсутствует. Это, естественно, делает невозможным повторение подобной катастрофы на леднике Колка в настоящее время и в ближайшие несколько десятилетий.

Существенной является роль высоконапорных глубинных природных газов и при запуске катастрофического газодинамического выброса ледника, когда особое значение приобретают условия, определяющие скорость прорастания трещин в экранирующем газовое скопление с АВПД газоупорном материале со свободной поверхностью [Петухов, Линьков, 1983; Хеллан, 1988; Коваленко, 1988; и др.].

Как показал, в частности, К. Хеллан [1988, с. 158], *присутствие газа под большим давлением в замкнутом объеме при наличии начальных трещин может привести к совершенно другим последствиям, нежели присутствие воды* (курсив мой. – М. Б.). Именно в присутствии сжатого высоконапорного газа скорость движения трещины может оказаться больше скорости звука (и, соответственно, разрушение – практически мгновенным). «Это означает, – пишет К. Хеллан, – что давление у вершин трещины будет поддерживаться постоянным. Вследствие этого разрушение будет быстрым или даже катастрофическим».

Роль газа в проявлении газодинамических выбросов

Постоянно подчеркивая исключительно большую роль газа в проявлении газодинамических выбросов, И. М. Петухов и А. М. Линьков [1983, с. 246], в частности, пишут: «Наличие и участие газа определяет особенности в их протекании. Для механизма выброса весьма существенна роль газа в процессе отделения и выноса частиц, обуславливающая в значительной степени специфические черты выбросов...». Для газодинамических выбросов именно «газ представляет источник силы и энергии» [Петухов, Линьков, 1983, с. 268, подстрочное примечание]. В этой же работе отмечается, что при развитии газодинамического выброса «газ теряет на отрыв (т. е. на отделение частиц выбрасываемого материала от свободной поверхности массива. – 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» [Петухов, Линьков, 1983, с. 147].

Одним из основных условий, необходимых для стихийного поверхностного проявления газодинамического выброса, реализовавшимся, совместно с другими необходимыми для этого природными условиями, 20 сентября 2002 г. на леднике Колка, является наличие и поверхностное залегание в пределах локального участка земной коры практически газонепроницаемой достаточно прочной ледниковой покрывки (перекрытой разве что небольшой по толщине поверхностной мореной), когда необходимое для разрушения ледника по механизму гидроразрыва эффектив-

ное газовое давление l_g существенно больше по величине эффективного газового давления l_g (в обозначениях У. Файфа и др. [1981, с. 281]), необходимого для преодоления локального геостатического давления ледниковой толщи и сил ее сцепления с вмещающими породами.

В подавляющем же большинстве случаев в природе реально достигаемая величина пластового газового давления в подледниковом пространстве существенно меньше, чем это необходимо как для разрыва, так и для выброса ледника.

Однако в результате периодически происходящей значительной интенсификации пульсационной газовой поствулканической деятельности в районе ледника Колка в некоторых случаях такое положение нарушается, и тогда происходит катастрофический взрывоподобный газодинамический выброс ледника.

В геодинамической системе ледника Колка и, конечно, не только этого ледника, на некоторых этапах развития реализуется также случай, когда давление глубинных флюидов, в том числе газовое давление, в подледниковом пространстве является недостаточным для гидроразрыва или газодинамического выброса ледника, но достаточным для существенного изменения его напряженно-деформированного состояния и нарушения его реологической и, в целом, механической устойчивости (с учетом величины набранной ледником массы и уклона ледника).

Это приводит к *быстрой подвижке* ледника, которая, в зависимости от перечисленных и, возможно, некоторых других факторов, может характеризоваться различными параметрами, прежде всего, различными величинами скорости, дальности и продолжительности движения льда.

Заключение

С открытием газогляциодинамических явлений – внезапных взрывоподобных направленных газодинамических выбросов ледников [Бергер, 2003, 2004а, б, 2006а, б, 2007а, б и др.], установлением их специфики, расшифровкой механизма их протекания, вызывающих их причин, важнейших особенностей их подготовки, проявления и завершения (диагностических признаков) теория развития пульсирующих ледников приобретает существенно большую завершенность и полноту, распространяясь на еще один очень важный класс явлений динамической неустойчивости ледников.

Одновременно становится ясным, что теория, охватывающая все типы явлений динамической неустойчивости ледников, не может ограничиваться традиционными рамками динамической гляциологии и, в целом, классической географии.

Помимо этого, достаточно очевидной становится возможность и реальность существенного эндогенного газодинамического и, в целом, флюидодинамического воздействия на ледники в ходе подготовки и проявления не только пароксизмальных взрывоподобных ледниковых катастроф, но и значительно более распространенных ледниковых пульсаций классического типа. Это также должно найти отражение в теории развития пульсирующих ледников.

Что же касается исследований газогляциодинамических явлений, то они на современном этапе ограничиваются, в основном, изучением, расшифровкой и объяснением особенностей (во многом уникальных, совершенно экстраординарных) и диагностикой (идентификацией) этих явлений.

И лишь со временем, по мере накопления достаточного количества эмпирических данных в этой области и привлечения к исследованиям широкого круга спе-

циалистов, возникнет возможность решения многих исключительно важных вопросов газогляциодинамики. Имеются основания думать, что в этой области наука, наконец-то, выходит на правильный путь.

С учетом грандиозных масштабов и катастрофических последствий газогляциодинамических явлений, при всей сравнительно редкой их повторяемости, исследования в этой области имеют исключительно большое научное и прикладное значение и должны занять достойное место среди исследований наиболее крупных опасных эндогенных природных явлений, наряду с изучением, в частности, сейсмических и вулканических явлений катастрофического уровня.

Литература

1. Бергер М. Г. О характере природной катастрофы 20 сентября 2002 г. на леднике Колка // Сборник научных трудов Северо-Осетинского отделения АН ВШ РФ. № 1 (I). Владикавказ: Терек, 2003. С. 16-17.
2. Бергер М. Г. Газодинамический выброс ледника Колка 20 сентября 2002 г. – новое катастрофическое природное явление // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Тезисы докладов Международной конференции, г. Владикавказ, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Изд-во «РЕМАРКО», 2004а. С. 4-5.
3. Бергер М. Г. Природа процессов автоколебательного развития пульсирующего ледника Колка // Устойчивое развитие горных территорий: проблемы и перспективы интеграции науки и образования: Материалы V Международной конференции 21-23 сентября 2004 г. – Владикавказ: Терек, 2004б. – С. 248-251.
4. Бергер М. Г. Природная катастрофа на леднике Колка 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника // Предупреждение опасных ситуаций в высокогорных районах: Доклады Международной конференции. Владикавказ – Москва, 23-26 июня 2004 г. – Владикавказ: Изд-во Олимп, 2006а. – С. 41-49.
5. Бергер М. Г. Газогляциодинамические явления – новый тип катастрофических природных явлений // Труды Северо-Кавказского горно-металлургического института (государственного технологического университета). Юбилейный выпуск. – Владикавказ: Терек, 2006б. – С. 260-266.
6. Бергер М. Г. Три гляциодинамические подвижки и четыре газодинамических выброса ледника Колка. Малоизвестные страницы и дискуссионные вопросы истории развития пульсирующего ледника. – М.: КомКнига, 2007а. – 120 с.
7. Бергер М. Г. Ледник Колка: Катастрофа 20 сентября 2002 г. – внезапный газодинамический выброс ледника. – М.: Изд-во ЛКИ, 2007б. – 248 с.
8. Бергер М. Г. Геодинамическая система ледника Колка и вопросы прогнозирования и регулирования ее развития. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 264 с.
9. Коваленко Ю. Ф. Механическое поведение тел с газонаполненными трещиновидными неоднородностями // Пластичность и разрушение твердых тел. – М.: Наука, 1988. – С. 101-117.
10. Петухов И. М., Линьков А. М. Механика горных ударов и выбросов. – М.: Недра, 1983. – 280 с.
11. Поггенполь Н. В. По северным долинам Казбекского массива и первое восхождение на Майли-хох // Ежегодник Русского горного общества. 1903. – М. – 1905. – Вып. III. – С. 1-37.
12. Рототаев К. П., Ходаков В. Г., Кренке А. Н. Исследование пульсирующего ледника Колка. – М.: Наука, 1983. – 169 с.

13. Статковский Б.И. О причинах происхождения Казбекского завала. – Тифлис. – 1887. – 64 с.
14. Тутубалина О.В., Черноморец С.С., Петраков Д.А. Ледник Колка перед катастрофой 2002 года: новые данные // Криосфера Земли. – 2005. – Т. IX. №4. – С. 62-71.
15. Файф У., Прайс Н., Томпсон А. Флюиды в земной коре. – М.: Мир, 1981. – 436 с.
16. Хеллан К. Введение в механику разрушения. – М.: Мир, 1988. – 364 с.
17. 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 Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970 // Engineering Geology. – 2009. – Sep. – Vol. 108, No. 1-2. – Pp. 96-118.
18. Klimes J., Vilimek V., Omelka M. Implications of geomorphological research for recent and prehistoric avalanches and related hazards at Huascarán, Peru // Natural Hazards. – 2009. – Jul. – T. 50, №1. – С. 193-209.
19. 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 hydro-social risks in the Peruvian Andes // Global and Planetary Change. – 2017. Dec. – Vol. 159. – Pp. 61-76.
20. 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. – 2014a. – Vol. 50, №2. – Pp. 263-272.
21. Zaalishvili V.B., Mel'kov D.A. Reconstructing the Kolka surge on September 20, 2002 from the instrumental seismic data // Izvestiya-Physics of the Solid Earth. – 2014b. – Vol. 50, No. 5. – Pp. 707-718.
22. Zaalishvili V., Nevskaya N., Nevskii L., Shempelev A. Geophysical fields above volcanic edifices in the North Caucasus // Journal of Volcanology and Seismology. – 2015. – Vol. 9, No. 5. – Pp. 333-338.
23. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Morozov F.S., Tuaeov G.E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center // International Journal of GEOMATE. – 2018. – Vol. 15, No. 47. – Pp. 158-163.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26785

About the specifics of gasglaciodynamics phenomena

M. G. Berger, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.

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

Abstract: A large number of paroxysmal catastrophic glacial pulsations of a huge scale and directional explosion-like nature in their epicentral zones are already known. Such pulsations under any suppositions and assumptions do not fit into the framework of traditional concepts of dynamic glaciology (and, in general, classical geography) and can neither be explained nor predicted within the framework of these ideas, on their basis. These phenomena, taking into account their pronounced features (a huge intensity air-blast, extremely high speeds of subhorizontal movement of the glacial-stone material, lightning speed of manifestation, quite different, including an exceptionally high degree of crushing of material, the formation of giant piles of ice-rock material at a multi-kilometer distance from its primary location, etc.) are most accurately identified as sudden gas-dynamic surge of glaciers.

According to the historical data of the Kolka glacier catastrophic collapses since 1752 five cases of multi-scale surges were recorded, the nature of which was considered to be glaciodynamic on the basis of the impact on the main glacier of ice masses breaking from above and a sharp change in its mass balance. Analysis of the preparation process, the behaviour of catastrophic surges and continuing post-catastrophic phenomena at the site of the former glacier (fumaroles, "sand cone", gas release) suggests that glaciodynamics itself, due to changes in mass balance or mechanical effects of breaking ice masses under the conditions of the Kazbek volcanic center, does not define critical conditions for a catastrophic glacier surge. Such situations can occur under certain geodynamic conditions, including seismic, tectonic, geothermal (due to postvolcanic processes or magmatic intrusions) factors.

Keywords: gasglaciodynamics phenomena, gasglaciodynamics, paroxysmal catastrophic pulsations of glaciers, sudden explosion-like directional gas-dynamic surge of glacier, features, reasons, examples, the Kolka glacier, the Kolka (Karmadon) disaster, Huascarán.

For citation: Berger M. G. About the specifics of gasglaciodynamics phenomena. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1):17-28. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26785.

References

1. Berger M. G. On the nature of the natural disaster on September 20, 2002 on the Kolka Glacier. *Sbornik nauchnykh trudov Severo-Osetinskogo otdeleniya AN VSh RF*. No. 1 (I). Vladikavkaz, Terek, 2003. pp. 16-17. (in Russ.)
2. Berger M. G. The gas dynamic surge of the Kolka glacier on September 20, 2002 – a new catastrophic natural phenomenon. *Prevention of hazardous situations in highland areas: Abstracts of the International Conference. On 23-26 June 2004, Vladikavkaz, REMARKO, 2004*. pp. 4-5. (in Russ.)
3. Berger M. G. The nature of the processes of self-vibration development of the pulsating glacier Kolka. *Sustainable development of mountain territories: problems and prospects for the integration of science and education. Materials of the V International Conference on 21-23 September 2004. Vladikavkaz, Terek, 2004b*. pp. 248-251. (in Russ.)
4. Berger M. G. The natural catastrophe on the Kolka Glacier on September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic discharge of the glacier. *Prevention of hazardous situations in highland areas: Reports of the International Conference. On 23-26 June 2004, Vladikavkaz, Olimp, 2006a*, pp. 41-49. (in Russ.)
5. Berger M. G. Gas-glacial dynamic phenomena – a new type of catastrophic natural phenomena. *Proceedings of the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University). Anniversary Issue. Vladikavkaz, Terek, 2006b*. pp. 260-266. (in Russ.)
6. Berger M. G. Three glaciodynamic movements and four gas-dynamic outbursts of the Kolka glacier. *Little-known pages and discussion questions of the history of development of the pulsating glacier. M. KomKniga, 2007a*. 120 p. (in Russ.)
7. Berger M. G. Catastrophe of September 20, 2002 – a sudden gas-dynamic outburst of the glacier. *M.: Izd-vo LKI, 2007b*. 248 p. (in Russ.)
8. Berger M. G. The geodynamic system of the Kolka glacier and the problems of prognosis and its regulating development. *M. Izd-vo LKI, 2008*. 264 p. (in Russ.)

9. Kovalenko Yu. F. Mechanical behavior of bodies with gas-filled crack-like inhomogeneities. Plasticity and destruction of solids. M. Nauka, 1988. pp. 101-117. (in Russ.)
10. Petukhov I. M., Lin'kov A. M. The mechanics of rock bursts and releases. M. Nedra, 1983. 280 p. (in Russ.)
11. Poggenpol' N. V. In the northern valleys of the Kazbek massif and the first ascent of Maili-Khokh. Yearbook of the Russian Mining Society. 1903. M. 1905. Issue III. pp. 1-37. (in Russ.)
12. Rototaev K. P., Khodakov V. G., Krenke A. N. Study of the pulsating glacier Kolka. M. Nauka, 1983. 169 p. (in Russ.)
13. Statkovskii B. I. About the reasons for the origin of the Kazbek dam. Tiflis. 1887. 64 p. (in Russ.)
14. Tutubalina O. V., Chernomorets S. S., Petrakov D. A. Glacier Kolka before the 2002 catastrophe: new data. Earth's Cryosphere, 2005. Vol. IX, No. 4. pp. 62-71. (in Russ.)
15. Faif U., Prais N., Tompson A. Fluids in the Earth's crust. – M.: Mir, 1981. 436 p. (in Russ.)
16. Khellan K. Introduction to fracture mechanics. M. Mir, 1988. 364 p. (in Russ.)
17. 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 Huascarán, Cordillera Blanca, Peru in 1962 and 1970. Engineering Geology. – 2009. – Sep. – Vol. 108, No. 1-2. – Pp. 96-118.
18. Klimes J., Vilimek V., Omelka M. Implications of geomorphological research for recent and prehistoric avalanches and related hazards at Huascarán, Peru. Natural Hazards. – 2009. – Jul. – T. 50, № 1. – C. 193-209.
19. 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 hydro-social risks in the Peruvian Andes. Global and Planetary Change. – 2017. Dec. – Vol. 159. – Pp. 61-76.
20. 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. – 2014a. – Vol. 50, No 2. – Pp. 263-272.
21. Zaalishvili V. B., Mel'kov D. A. Reconstructing the Kolka surge on September 20, 2002 from the instrumental seismic data. Izvestiya-Physics of the Solid Earth. – 2014b. – Vol. 50, No. 5. – Pp. 707-718.
22. Zaalishvili V., Nevskaya N., Nevskii L., Shempelev A. Geophysical fields above volcanic edifices in the North Caucasus. Journal of Volcanology and Seismology. – 2015. – Vol. 9, No. 5. – Pp. 333-338.
23. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Dzeranov B. V., Morozov F. S., Tuaev G. E. Integrated instrumental monitoring of hazardous geological processes under the Kazbek volcanic center. International Journal of GEOMATE. – 2018. – Vol. 15, No. 47. – Pp. 158-163.

ГЕОТЕКТНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26786

Некоторые результаты исследований геотектонических условий и современной сейсмичности Восточного Кавказа

Р. А. Магомедов, С. А. Мамаев, к. т. н.

ФГБУН Институт геологии Дагестанского научного центра РАН,
Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75,
e-mail: dangeogis@mail.ru

Аннотация: Проведен анализ сейсмотектонических условий и современной сейсмичности Восточного Кавказа. На основе накопленных геолого-геофизических материалов многими исполнителями и организациями составлена новая схема разломно-блоковой тектоники и обобщенная схема тектонического районирования с элементами разломно-блоковой тектоники в масштабе 1:500000. Сделан прогноз зон возможных очагов землетрясений (ВОЗ). Новая обобщенная схема отражает все известные крупные дизъюнктивные нарушения и блоки фундамента и осадочного чехла Дагестанского сектора Восточного Кавказа на современном этапе его изученности и служит основой для прогнозирования эндогенных процессов, локализации источников напряжений и выявления потенциальных сейсмических очагов.

В течение последних 30-40 лет инструментальным путем здесь зарегистрировано довольно много сильных землетрясений, в том числе: Дагестанское – 14.05.1970 г. (8-9 баллов), Салатауское – 23.12.1974 г. (7 баллов), Буйнакское – 9.01.1975 г. с силой в эпицентре равной 8 баллам, Кумторкалинские – (31.01. с силой в 7 баллов и 21.02., 14.04.1999 г.) и др. Пространственное распределение эпицентров землетрясений показывает, что, помимо отмеченной современной высокосейсмичной зоны, в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа выявлены еще четыре сейсмоактивные зоны: Дербентская, Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахская, Аргун-Гудермес-Хасавюртовская и Лагодехи-Белоканы-Закаталинская. Сейсмические циклы в этих зонах имеют другую периодичность и продолжительность.

По результатам анализа геодинамической активности за последние 30-40 лет сделан вывод о ее сейсмическом характере и установлены некоторые признаки вероятной подготовки сильного землетрясения в ближайшем будущем.

Одним из признаков вероятной подготовки сильного землетрясения является снижение дисперсии (уменьшение) между максимальными и минимальными магнитудами за исследуемый период времени.

Ключевые слова: разломно-блоковая тектоника, геодинамика, современная сейсмичность, эпицентр землетрясения, магнитуда, зона ВОЗ.

Для цитирования: Магомедов Р. А., Мамаев С. А. Некоторые результаты исследований геотектонических условий и современной сейсмичности Восточного Кавказа // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 № 1. С. 29-42. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26786.

Введение

В настоящей работе – результат очередного этапа исследований столь сложного и интересного, с геологической точки зрения, объекта как Восточный Кавказ представляющего собой горно-складчатое сооружение, который не претерпел полной инверсии, как это имело место на Западном Кавказе. На границе средней и верхней юры (Адыгейская фаза складчатости, около 150 млн лет назад) началась

инверсия геотектонического режима в пределах геосинклинальных зон Большого Кавказа, в том числе и Восточного Кавказа. Образование современной складчатости Восточного Кавказа произошло в Предплейстоценовой фазе складчатости, в период значительного максимума альпийской активизации, с которым связана и повышенная современная сейсмическая активность региона [Артюшов, 1979; Геолого-геофизические исследования..., 2017; Дёмина Л. И., Копп Л. И., Короновский Н. В. и др., 2007; Леонов Ю. Г., 2009; Тимошкина Е. П., Леонов Ю. Г., Михайлов В. О., 2010; Идрисов и др., 2017; Карта современных..., 1973, 1989; Касьянова и др., 1995; Короновский, 1994; Магомедов, 2013, 2014а, б, 2017; Мамаев и др., 2009; Маркус, 1986; Милановский, 1968 и др.]. Новейшим структурным элементом Кавказа и западной границей Дагестанского выступа является Аграхано-Тбилисско-Левантийская левосдвиговая зона I порядка Н. В. Короновского [Короновский, 1994], которая отчетливо выделяется в рельефе поверхности Мохоровичича (рис. 1). Она пересекает Пшекиш-Тырныаускую шовную зону, которая проявляется в верхних структурных этажах зонами повышенных деформаций. Наибольшая геодинамическая активность наблюдается именно в районе пересечения этой зоны с субкавказскими разломами во фронтальной части Дагестанского выступа, подтвержденная долговременной сейсмической активностью.

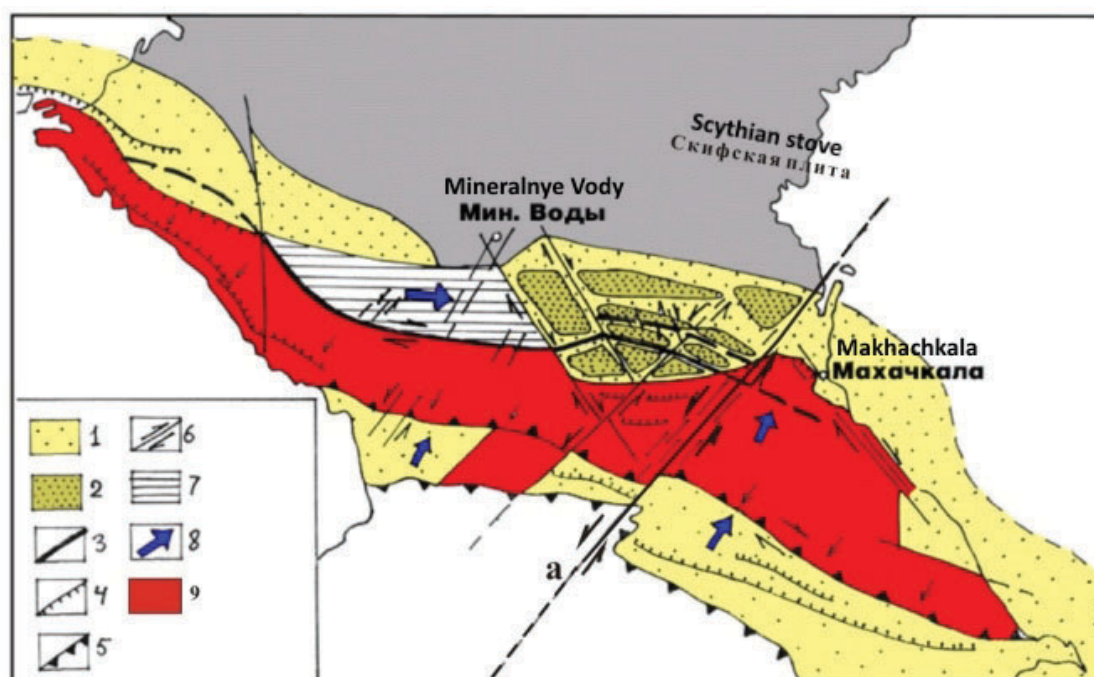


Рис. 1. Блочное строение докембрийского фундамента (по Н. В. Короновскому).

1. Неоген-четвертичные Предкавказские прогибы и Закавказские межгорные впадины; 2. Наиболее прогнутые участки Терско-Каспийского прогиба; 3. Пшекиш-Тырныауская зона; 4. Перемещение по надвигам и вергентность складок; 5. Надвиги рудного тела; 6. Сдвиги; а – Аграхано-Тбилисско-Левантийская левосдвиговая зона I порядка; 7. Лабино-Малкинская моноклираль; 8. Основные перемещения масс; 9. Горно-складчатое сооружение Большого Кавказа

Fig. 1. Block structure of the Precambrian basement (according to N. V. Koronovsky). 1. Neogene-Quaternary Ciscaucasian troughs and Transcaucasian intermountain depressions; 2. The most curved sections of the Tersk-Caspian foredeep; 3. Pshekish-Tyrnyauz zone; 4. Movement on the thrusts and vergence of folds; 5. Thrusts of the ore body; 6. Shifts; a – Agrakhan-Tbilisi-Levantine I order left-shift zone; 7. Laba-Malkinsk monocline; 8. Basic mass displacements; 9. Mining-folded structure of the Greater Caucasus.

Фактический материал

Результатом продолжения исследований по Восточному Кавказу явились составленные нами две схемы (рис. 2 и 3): новая обобщенная схема разломно-блоковой тектоники и схема тектонического районирования Дагестанского сектора Восточного Кавказа с элементами разломно-блоковой тектоники, в масштабах 1:500000.

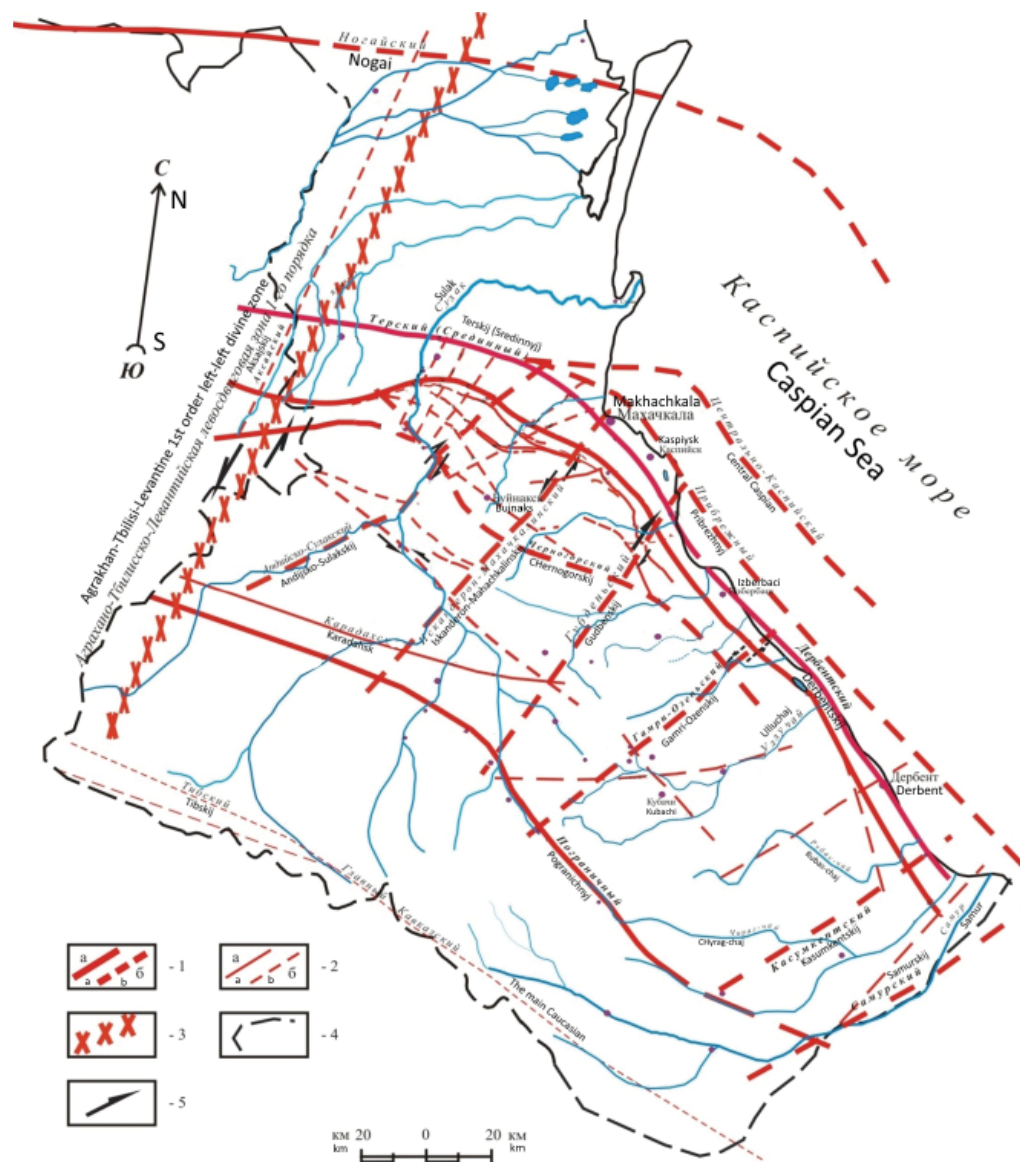


Рис. 2. Схема разломно-блокового строения Дагестанского сектора Восточного Кавказа.

1 – границы разломно-блоковых структур и деструктивные зоны первого масштабно-временного уровня – доюрского фундамента (а – достоверные, б – предполагаемые). 2 – границы разломно-блоковых структур и деструктивные зоны второго масштабно-временного уровня – осадочного чехла (а – достоверные, б – предполагаемые). 3 – Аграхано-Тбилиско-Левантская левосдвиговая зона первого порядка. 4 – граница республики. 5 – направление движения блоков

Fig. 2. Scheme of the fault-block structure of the Dagestan sector of the Eastern Caucasus. 1 – boundaries of fault-block structures and destructive zones of the first time-scale level – the **Pre-Jurassic basement** (a – reliable, b – assumed). 2 – boundaries of fault-block structures and destructive zones of the second scale-time level – **sedimentary cover** (a – reliable, b – assumed). 3 – Agrakhan-Tbilisi-Levantine left-shift zone of the first order. 4 – the border of the republic. 5 – the direction of the block movement

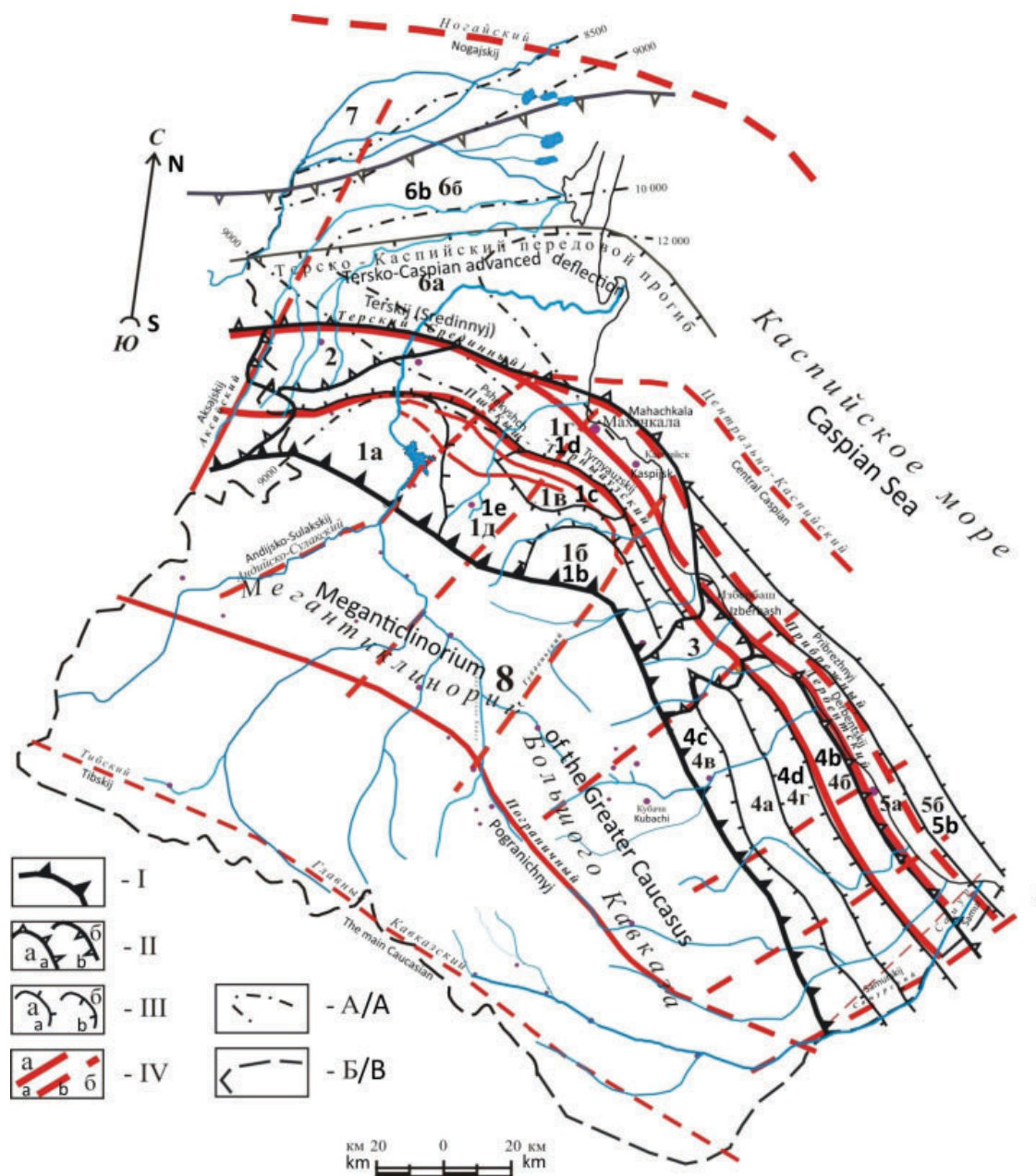


Рис. 3. Обобщенная схема тектонического районирования Дагестанского сектора Восточного Кавказа с элементами разломно-блоковой тектоники.

I – Крупнейшие тектонические элементы. II – Крупные тектонические элементы:

IIa – положительные, IIб – отрицательные. III – Средние тектонические элементы:

IIIa – положительные, IIIб – отрицательные. IV – Региональные глубинные разломы: IVa –

достоверные, IVб – предполагаемые. A – изогипсы поверхности фундамента. Б – граница

республики. 1 – Дагестанский выступ: 1a – Сулакский выступ; 1б – Эльдама-Иргартбаишский выступ; 1в – Талгинское поднятие; 1г – Нараттубинская складчато-надвиговая зона; 1д – зона

внутренних депрессий. 2 – Акташ-Аксайская депрессия. 3 – Каранайская депрессия. 4 – Южно-Дагестанская область линейных складок: Антиклинальные зоны: 4a – Западная, 4б – Восточная.

Синклинальные зоны: 4в – Утемиш-Карчагская (Алхаджикентская депрессия), 4г – Каранай-Бильгадинская (Бильгадинская). 5 – Дербентская ступень: 5a – Дербентская депрессия, 5б –

Морская антиклинальная зона. 6 – Терско-Каспийский передовой прогиб: 6a – Сулакская впадина (осевая зона прогиба), 6б – Аграханская моноклираль (платформенный склон прогиба). 7 –

Прикумская область поднятий (северный борт передового прогиба), (1+2+3+4) – южный борт передового прогиба. 8 – Дагестанский сегмент мегантиклинория Большого Кавказа (Горный Дагестан)

Fig. 3. Generalized tectonic zoning of the Dagestan sector of the Eastern Caucasus with elements of fault-block tectonics. I – The largest tectonic elements. II – Large tectonic elements: IIa – positive, IIb – negative. III – Middle tectonic elements: IIIa – positive, IIIb – negative. IV – Regional deep faults: IVa – reliable, IVb – supposed. A – isohypses of the surface of the basement. B – the border of the republic. 1 – Dagestan bench: 1a – Sulak bench; 1b – Eldama-Irgartbash bench; 1c – Talginsk uplift; 1d – Narattyubinsk fold-thrust zone; 1e – zone of internal depression. 2 – Aktash-Aksai depression. 3 – Karanai depression. 4 – South Dagestan region of linear folds: Anticlinal zones: 4a – Western, 4b – Eastern. Synclinal zones: 4c – Utemish-Karchagsk (Alhajikentsk depression), 4d – Karanai-Bilgadinsk (Bilgadinsk). 5 – Derbent bench: 5a – Derbent depression, 5b – Marine anticlinal zone. 6 – Tersk-Caspian foredeep: 6a – Sulak depression (axial deflection zone), 6b – Agrakhan monocline (platform foredeep slope). 7 – Prikumsk region of uplifts (northern side of the foredeep), (1 + 2 + 3 + 4) – southern border of the foredeep. 8 – Dagestan segment of the mega-anticlinorium of the Greater Caucasus (Mountainous Dagestan).

Разрывные нарушения в фундаменте и осадочном чехле региона, по данным сейсморазведки, настолько многочисленны, а изучены за редким исключением так слабо, что задача приведения в систему представлений о разломно-блоковой тектонике приобретает принципиальное значение. При составлении обеих схем учтены: крупномасштабные геологические, тектонические, геолого-структурные карты И.О. Брода, Л.А. Варданянца, В.П. Ренгартена, Н.Н. Ростовцева, Ю.Г. Леонова и других, а также мелкомасштабные карты А.И. Летавина, В.Л. Галина, Д.Г. Шарафутдинова, Г.Д. Буторина, Г.Г. Гасангусейнова, Д.А. Мирзоева, В.М. Пирбудагова и многих других, детальный анализ накопленных геолого-геофизических материалов производственных предприятий «Дагнефть», Дагнефтегаз, «Дагестангеология», ИГ ДНЦ РАН и др.

В разное время разными авторами были составлены структурно-тектонические схемы региона, его отдельных частей, отражающие отдельные вопросы региональной геотектоники или узкоспециальные вопросы промысловой геологии. Но единой картины разломно-блокового строения Дагестанского сектора Восточного Кавказа на современном этапе его изученности до сих пор нет, как нет и общей картины тектонического районирования региона с элементами разломно-блоковой тектоники. Видимо, отсутствие или недостаток геофизической информации о глубинном строении и строении осадочного чехла не позволили авторам различных схем региона предложить законченные его модели. Многие узловые вопросы геотектоники региона до сих пор являются дискуссионными.

Обсуждение результатов

С учетом вышеизложенного в работе сделана попытка собрать разрозненную геолого-геофизическую информацию в единую схему разломно-блоковой тектоники и схему тектонического районирования региона. Нам пришлось стать на путь создания новых схем (учитывающих во многом идеи наших предшественников), схем по возможности наиболее наглядных и простых, а кроме того – приспособленных для целей наших исследований в рамках фундаментальной проблемы по изучению катастрофических геологических процессов природного и техногенного происхождения на территории Восточного Кавказа.

В исследовании использовался метод структурного анализа, основанный на изучении геологических карт и разрезов. Основные принципы построения схемы заключались в объединении разломно-блоковых структур литосферы и ее деструктивных зон (разрывных нарушений) на двух масштабно-временных уровнях с учетом их возраста и структурно-исторических особенностей.

Таблица 1 / Table 1.

**Распределение землетрясений по магнитудам /
The distribution of earthquakes by magnitude**

Магнитуда / Magnitude	Количество землетрясений / Earthquake amount	%
4 (3,8-4,4)	667	80,65
5 (4,5-5,4)	143	17,29
6 (5,5-6,4)	16	1,94
7 (6,5-7,4)	1	0,12
8 (7,5-8,4)	-	
Σ	827	100

Новая обобщенная схема отражает почти все известные крупные дизъюнктивные нарушения и блоки фундамента и осадочного чехла Дагестанского сектора Восточного Кавказа на современном этапе его изученности и служит необходимым основанием для изучения процессов взаимодействия блоков, локализации источников напряжений, исследования движений по границам блоков, для выявления потенциальных сейсмических очагов, долгосрочного прогноза их очередной активизации и адекватной оценки сейсмической опасности и сейсмического риска в этом густонаселенном и промышленно развитом регионе страны.

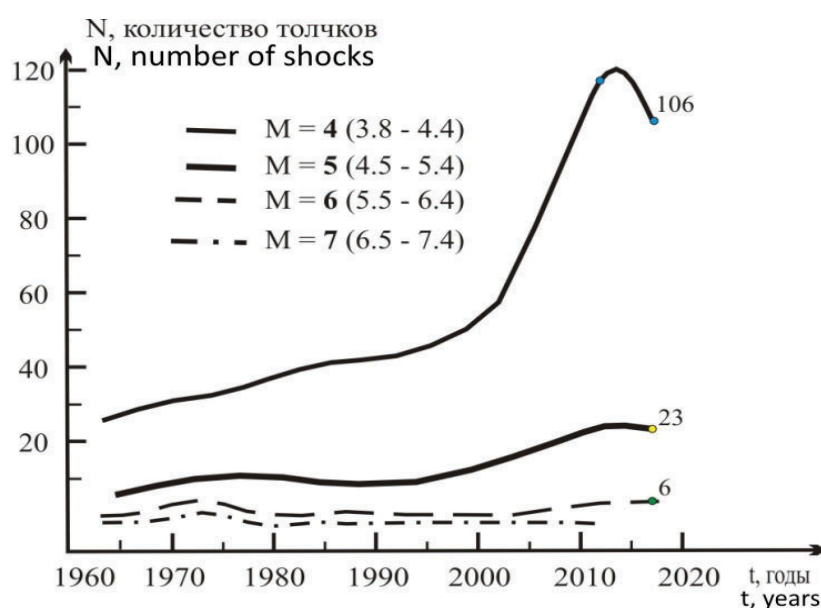
Современная сейсмичность. Как известно, Восточный Кавказ характеризуется самой высокой сейсмической активностью в европейской части России. В течение последних 30-40 лет инструментальным путем здесь зарегистрировано довольно много сильных землетрясений, в том числе: Дагестанское – 14.05.1970 г. (8-9 баллов), Салатауское – 23.12.1974 г. (7 баллов), Буйнакское – 9.01.1975 г. с силой в эпицентре равной 8 баллам, Кумторкалинские – (31.01. с силой в 7 баллов и 21.02., 14.04.1999 г.) и др. [<http://www.seme.gsras.ru> и др.].

Анализ пространственного распределения эпицентров землетрясений показывает, что, помимо отмеченной современной высокосейсмичной зоны, в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа выявлены еще четыре сейсмоактивные зоны: Дербентская, Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахская, Аргун-Гудермес-Хасавюртовская и Лагодехи-Белоканы-Закаталинская. Сейсмические циклы в этих зонах имеют другую периодичность и продолжительность. Например, по палеосейсмическим данным, в историческом прошлом (1620-е гг.) в Кубачи-Дейбук-Харбук-Уркарахской зоне произошли сейсмические события с $M=5$ и выше. В последующий период, вплоть до настоящего времени, эта зона представляет собой зону сейсмического затишья. Потенциально новой очаговой зоной землетрясений является место сочленения Талгинского выдвинутого блока с Капчугайским грабенном и Губденским блоком.

«Сейсмическую погоду» определяют сильные землетрясения, периодичность которых (точнее – квазипериодичность) по историческим данным превышает сто лет [21-29 и др.]. Инструментальный период (с 1960-х годов) для определения закономерностей сильных и сильнейших землетрясений региона слишком мал.

Для анализа некоторых закономерностей и пространственной локализации очагов сильных землетрясений региона нами проведен анализ каталога землетрясений с 1960 по 2017 гг. [<http://www.seme.gsras.ru>; Мамаев, 1991]. По результатам анализа составлены карты эпицентров землетрясений. Для анализа использовались данные более чем 800 землетрясений с магнитудой $M \geq 3,8$, происшедших на территории региона. Представительной магнитудой среди ощутимых землетрясений за данный период является $M \geq 4$ (табл. 1). В качестве минимальной выбрана магнитуда 3,8, так как при относительно более низких значениях представительность ощутимых сейсмических событий резко падает.

За последние 10-15 лет наблюдается резкий рост землетрясений представительной магнитуды (рис. 4), что, вероятно, является форшоковой активностью более сильного ближайшего будущего землетрясения. Пик активности – 2013 г.



N, number of shocks (by decades)

N, количество толчков (по десятилетиям!)

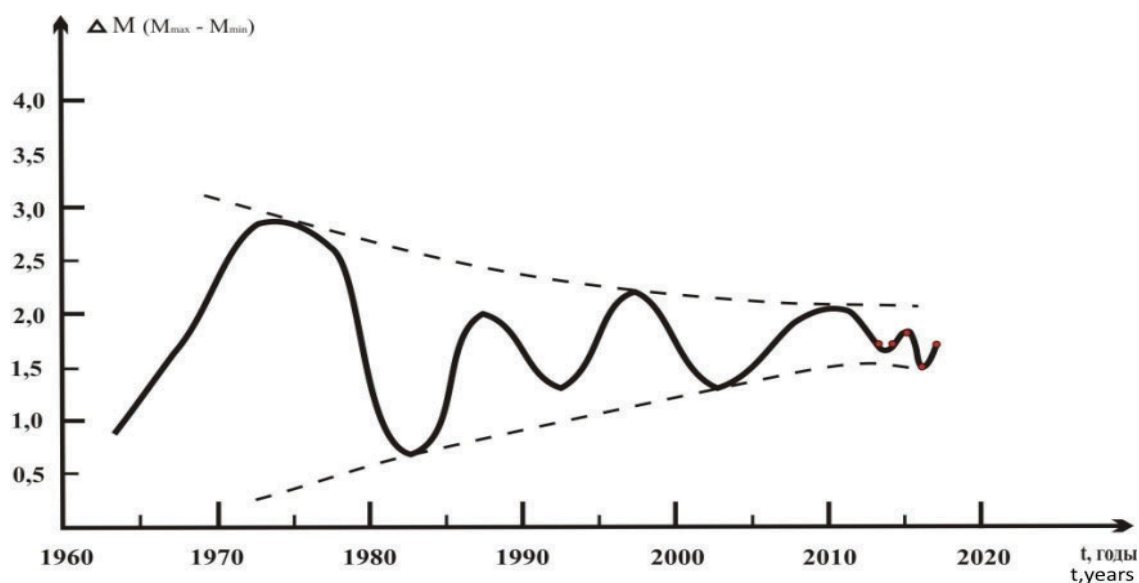
Рис. 4. Изменение количества землетрясений во времени /

Fig. 4. The change in the number of earthquakes in time

Одним из признаков вероятной подготовки сильного землетрясения является и изменение дисперсии (уменьшение) между максимальными и минимальными магнитудами за исследуемый период времени (рис. 5).

Все изложенное выше, согласуется с выводом о росте сейсмической активности за последние 30-40 лет.

В зоне современной сейсмической активности, приуроченной к области сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном по Чиркей-Экибулакскому глубинному разлому, отмечено чередование циклов сейсмической активности и спада (с $M \geq 4,6$, $K \geq 12$) продолжительностью около 10 лет: 1960-1969 гг. – спад активности, 1970-1979 гг. – повышение, 1980-1990 гг. – спад, 1991-2001 гг. – повышение, 2002-2010 гг. – спад, 2011-2020 гг. – ожидается повышение сейсмической активности (рис. 6).



2013 г. $(5.5-3.8) = 1.7$

Рис. 5. Изменение дисперсии между $M_{\max.}$ и $M_{\min.}$ /

Fig. 5. Variance of dispersions between $M_{\max.}$ and $M_{\min.}$

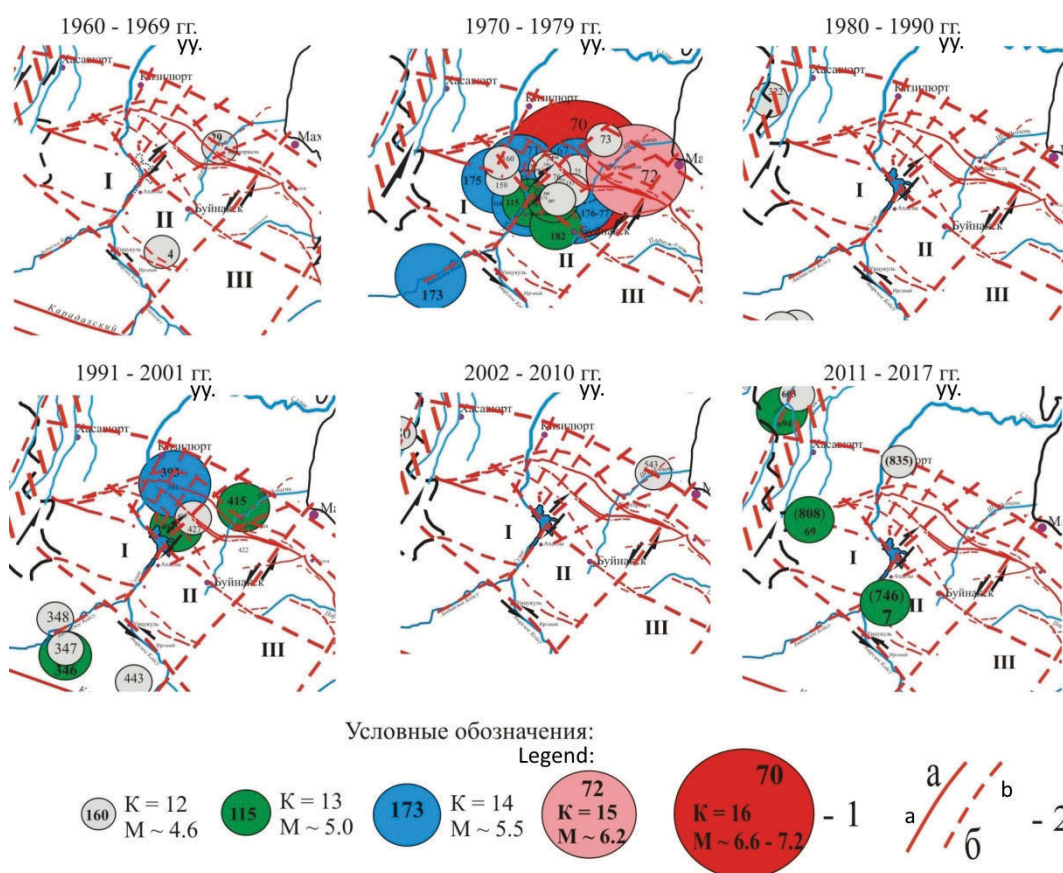


Рис. 6. Чередование циклов сейсмической активности и спада продолжительностью ~ 10 лет в области сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном.

Тектонические элементы: I – Сулакский выступ; II – Капчугайский грабень; III – Талгинский (Эльдамо-Кукуртауский) выступ. 1 – эпицентры землетрясений с порядковыми номерами и энергетической характеристикой; 2 – глубинные разломы в доюрском фундаменте и разрывные нарушения в осадочном чехле (а – достоверные, б – предполагаемые) /

Fig. 6. The alternation of cycles of seismic activity and decay lasting ~ 10 years in the area of the junction of the Sulak bench with the Kapchugay graben. *Tectonic elements:* I – Sulak bench; II – Kapchugay graben; III – Talginsk (Eldamo-Kukurtau) bench. 1 – earthquake epicenters with sequence numbers and energy characteristics; 2 – deep faults in the pre-Jurassic basement and faults in the sedimentary cover (a – reliable, b – assumed).

Наблюдается закономерность временного распределения землетрясений (рис. 7) с магнитудами более 5,5 (макс. 6,6): периодичность их свершения (точнее – квазипериодичность) составляет $9,5 \pm 3$ года (~ 10 лет).

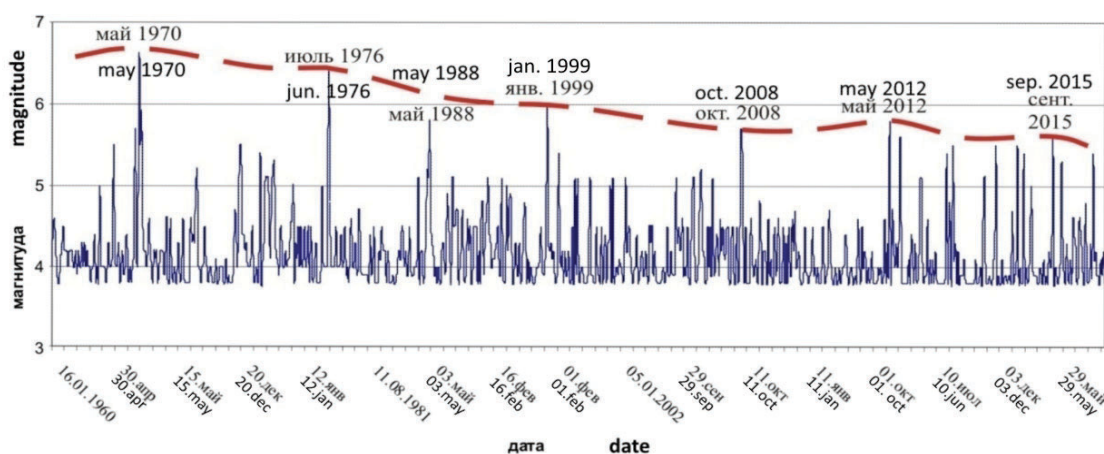


Рис. 7. График временного распределения землетрясений с $M \geq 3,8$ (с 1960 по 2017 гг.) /

Fig. 7. Graph of the temporal distribution of earthquakes with $M \geq 3.8$ (from 1960 to 2017).

График временного распределения землетрясений показывает (рис. 7) наличие за последние полвека снижения сейсмической активности по максимальным магнитудам, что может быть связано с периодичностью сильных землетрясений Восточного Кавказа.

В данном случае снижение активности связано с периодом ее спада продолжительностью 50-60 лет. Периодичность сильных землетрясений для территории Восточного Кавказа по данным анализа исторических событий составляет примерно $90-120 \pm 10$ лет. Таким образом, следующее сильное землетрясение на территории региона, вероятно, следует ожидать в 2070 ± 10 лет. Это не означает, что в ближайшее десятилетие не может случиться подобное событие. Здесь действуют много факторов, в том числе, не познанные глубинные и не до конца осознанные исследователями космические, и нелинейность самих процессов протекающих в вечно меняющейся геологической среде. Все эти и другие, еще не познанные механизмы, действуя вместе, превращают литосферу в хаотичную нелинейную, вечно меняющуюся систему. В такой системе, как известно, прошлое не определяет будущее. В нашем понимании «*очаг землетрясения – одна из бесчисленных форм существования вечно меняющейся геологической среды*». Как говорят в народе:

«дважды в одну и то же реку не войдешь». Отсюда и трудности с прогнозом времени свершения землетрясения.

Заключение

Анализируя вышеизложенное и не только, мы приходим к выводу о том, что современный и последний (30-40-летний) всплеск сейсмической активности на Восточном Кавказе отражает естественный ход геологических процессов в регионе с «расконсервацией» генетически обретенных и накопленных в современный период геонапряжений в результате встречных движений Аравийской и Евразийской (Скифской и Туранской) плит и глубинных субвертикальных вихревых перемещений масс, вызывающих образование или оживление разрывов и разнонаправленные блоково-глыбовые перемещения, затронувшие земную кору на всю мощность, источником энергии которых являются внутренняя энергия Земли и ее ротационно-пульсационный режим как планеты.

Таким образом, проявление современной сейсмичности (миграция очагов землетрясений, усиление активности, группирование очагов и т.д.) – результат и реакция геологической среды на современные геотектонические и геодинамические процессы.

Литература

1. Артюшков Е. В. Геодинамика. – М.: Наука, 1979. – 327 с.
2. Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований // Под ред. Заалишвили В. Б. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2017. – 619 с.
3. Дёмина Л. И., Копп Л. И., Короновский Н. В. и др. Большой Кавказ в альпийскую эпоху /Отв. ред. Ю. Г. Леонов. – М.: ГЕОС, 2007. – 366 с.
4. Идрисов И. А., Магомедов Р. А., Мамаев С. А., Гусейнова А. Ш. Разрывные нарушения Восточного Кавказа по данным анализа космических снимков // Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Материалы Международной научно-практической конференции. 22-24 сентября 2017 г. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2017 – С. 429-434.
5. Карта современных вертикальных движений земной коры Восточной Европы. М 1:2500000. – М.: ГУГК СССР, 1973.
6. Карта современных вертикальных движений земной коры по геодезическим данным на территории СССР. М 1:5000000. – М.: ГУГК СССР, 1989.
7. Касьянова Н. А., Абрамова М. А., Гайрабеков И. Г. О горизонтальных деформациях Восточного Кавказа на основе высокоточных геодезических измерений // Геотектоника. – 1995. – № 2. – С. 86-90.
8. Короновский Н. В. Аграхан-Тбилиско-Левантийская левосдвиговая зона – важнейшая структура Кавказского региона // Докл. РАН. – 1994. – Т. 337. № 1. – С. 83-89.
9. Леонов Ю. Г. О некоторых особенностях геологии на современном этапе // История наук о Земле. Вып. 3. – М.: Ин-т истории естествознания и техники, 2009. С. 9-27.
10. Магомедов Р. А. Дизъюнктивная тектоника и современная сейсмичность территории Восточного Кавказа // Отечественная геология. – 2014а. – № 3. – С. 69-77.
11. Магомедов Р. А. Особенности пространственно-временного распределения и миграции очагов сильных землетрясений Восточного Кавказа // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – № 4. – С. 34-43.
12. Магомедов Р. А. Развитие геодинамических процессов и современная сейсмичность Восточного Кавказа // Геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Материалы Международной научно-практической конференции. 22-24 сентября 2017 г. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН. – С. 199-205.

13. Магомедов Р. А. Современная геодинамика и особенности дизъюнктивной тектоники области Дагестанского выступа Восточного Кавказа // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различие, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI Тектонического совещания. Том I. – М.: ГЕОС, 2014б. – С. 240-244.

14. Мамаев С. А. Оценка статистической динамической модели здания и статистической модели сейсмического воздействия на основе инженерно-сейсмометрической информации // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Центральный научно-исследовательский и проектно-экспериментальный институт комплексных проблем строительных конструкций и сооружений им. В. А. Кучеренко. – М. – 1991. – 144 с.

15. Мамаев С. А., Таймазов Д. Г., Магомедов Р. А. и др. Наблюдения за микросейсмической эмиссией на территории Дагестана // Труды Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2009. – № 55. – С. 279-281.

16. Маркус М. А. Долгоживущие структуры Восточного Кавказа // Сов. геология. – 1986. – № 10. – С. 63-69.

17. Милановский Е. Е. Новейшая тектоника Кавказа. – М. – 1968. – 484 с.

18. Тимошкина Е. П., Леонов Ю. Г., Михайлов В. О. формирование системы горное сооружение предгорный прогиб: геодинамическая модель и ее сопоставление с данными по Северному Предкавказью // Геотектоника, 2010, том 44, № 5, с. 371-387.

19. 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.

20. <http://www.seme.gsras.ru/new/struct/contact.htm>.

21. Чжо Я., Го Я., Борняков С. А., Ма Ц. Сравнение модели косоугольного рифтинга и деформаций трансферной зоны, расположенной в северном сегменте рифта Фен-вей: последствия роя землетрясений 1989 года в районе Датун-янгао (Китай). *Геодинамика и тектонофизика*. 2019;10 (1):43-51. <https://doi.org/10.5800/GT-2019-10-1-0403>.

22. Bachmanov D. M., Kozhurin A. I., Trifonov V. G. The active faults of Eurasia database. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4):711-736.

23. Imaeva L. P., Gusev G. S., Imaev V. S., Ashurkov S. V., Melnikova V. I., Seredkina A. I. Geodynamic activity of modern structures and tectonic stress fields in northeast Asia. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4):737-768.

24. Sokolov S. Y., Abramova A. S., Moroz E. A., Zaraiskaya Y. A. Amplitudes of disjunctive dislocations in the knipovich ridge flanks (northern Atlantic) as an indicator of modern regional geodynamics. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4):769-789.

25. Gayday N. K. assessment of the localization of hypocenters of crustal earthquakes relative to the depth and relief of the border density stratification in the crust of the northeastern section of the reference geological-geophysical profile 3-dv. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4):849-861.

26. Bornyakov S. A., Ma J., Miroshnichenko A. I., Guo Y., Salko D. V., Zuev F. L. Diagnostics of meta-unstable state of seismically active fault. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4):989-998.

27. Leonov Y. G., Volozh Y. A., Antipov M. P., Kheraskova T. N. the Ural – herirud transcontinental postcollisional strike-slip fault and its role in the formation of the earth's crust // *Geotectonic*, 2015, том 49, № 6, с. 515-523.

28. Hays W. W. Seismic microzoning along the Wasatch Fault Zone, ОТАН // Proc. 8th Europ. Conf. on Earthquake Eng. Vol. 2. Top. 5. Lisbon, 1986. P. 41-48.

29. Hough S. E., Jakob K. H., Seeber L. High-Frequency seismic wave propagation. Seismic Wave Propagation Geological Observatory of Columbia Univ. Palisades. N. Y., 1989. P. 58-65.

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26786

Some results of research of geotectonic conditions, geodynamics and modern seismicity East Caucasus

R. A. Magomedov, S. A. Mamaev, Cand. Sci. (Tech.)

Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 75 Yaragskiy Str., Russia, Makhachkala 367010, Russia,
e-mail: dangeogis@mail.ru

Abstract: The analysis of seismotectonic conditions and modern seismicity of the East Caucasus is carried out. Based on a detailed analysis of the accumulated geological and geophysical materials of the industrial enterprises "Dagneft", Dagneftegaz, "Dagestangeologia", the Institute of Geology of Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences and large-scale geological, tectonic, geological and structural maps of I. O. Brod, L. A. Vardanyants, V. P. Rengarten, N. N. Rostovtsev, Yu. G. Leonov and others, as well as small-scale maps of A. I. Letavin, V. L. Galin, D. G. Sharafutdinov, G. D. Buturin, G. G. Gasanguseinov, D. A. Mirzoev, V. M. Pirbudagov and many others, a new scheme of fault-block tectonics and a generalized tectonic zoning scheme with elements of fault-block tectonics on a scale of 1: 500000 have been compiled. According to the results of the research, prediction of zones of possible seismic sources (PSS) was performed. The new generalized scheme reflects all known major disjunctions and blocks of the basement and sedimentary cover of the Dagestan sector of the Eastern Caucasus at the present stage of its study and serves as a basis for predicting endogenous processes, localizing sources of stress and identifying potential seismic sources.

During the last 30-40 years, quite a lot of strong earthquakes have been recorded here by instrumental means, including: Dagestan – 14.05.1970 (8-9 points), Salatau – 23.12.1974 (7 points), Buynaksk – 9.01. 1975 with the magnitude in the epicenter equal to 8 points, the Kumtorkala earthquakes – (31.01. with the magnitude of 7 points and 21.02., 14.04.1999), etc. The spatial distribution of earthquake epicenters shows that, in addition to the marked modern high-seismic zone, four more seismically active zones were identified in the northeast segment of the Eastern Caucasus: Derbent, Kubachi-Deybuk-Harbuk-Urkarakh, Argun-Gudermes-Khasavyurt and Lagodekhi-Belokany-Zakatalinsk. Seismic cycles in these zones have a different frequency and duration.

According to the analysis of the modern seismicity, it was concluded that seismic activity has increased over the past 30-40 years and some signs of a possible preparation of a strong earthquake in the near future revealed.

One of the signs of probable preparation of a strong earthquake is a reduction in dispersion (decrease) between the maximum and minimum magnitudes for the studied period of time.

Keywords: fault-block tectonics, geodynamics, modern seismicity, earthquake epicenter, magnitude, PSS zone.

For citation: Magomedov R. A., Mamaev S. A. Some results of research of geotectonic conditions, geodynamics and modern seismicity East Caucasus. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 29-42. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26786.

References

1. Artyushkov E. V. Geodynamics. M. Nauka, 1979. 327 p. (in Russ.)
2. Geological and geophysical investigations of the deep structure of the Caucasus: geology and geophysics of the Caucasus: current challenges and research methods. Edited by Zaalishvili V. B. – Vladikavkaz. GPI VSC RAS, 2017. 619 p. (in Russ.)
3. Demina L. I., Kopp L. I., Koronovsky N. V. et al. Greater Caucasus in the Alpine era / Ed. by Yu. G. Leonov. Moscow. GEOS, 2007. 366 p. (in Russ.)

4. Idrisov I.A., Magomedov R.A., Mamaev S.A., Guseinova A. Sh. Faulting of the Eastern Caucasus according to the analysis of satellite imagery. Geological-geophysical Studies of the Deep Structure of the Caucasus: Geology and Geophysics of Caucasus: Contemporary Challenges and Research. Materials of the International Scientific and Practical Conference. On 22-24 September 2017. Vladikavkaz. GPI VSC RAS. pp. 429-434. (in Russ.)
5. Map of the modern vertical movements of the earth crust of Eastern Europe. Scale 1: 2,500,000. M.: GUGK SSSR, 1973. (in Russ.)
6. Map of the modern vertical movements of the earth's crust according to geodetic data on the territory of the USSR. Scale 1: 5,000,000. M.: GUGK SSSR, 1989. (in Russ.)
7. Kas'yanova N. A., Abramova M. A., Gairabekov I. G. About horizontal deformations of the Eastern Caucasus based on high-precision geodetic measurements. Geotectonics. 1995. No. 2. Pp. 86-90. (in Russ.)
8. Koronovskii N. V. Agrakhan-Tbilisi-Levantine left-shift zone – the most important structure of the Caucasus region. Reports of the RAS. 1994. Vol. 337. No. 1. pp. 83-89. (in Russ.)
9. Leonov Yu. G. On some features of geology at the present stage. History of Earth Sciences. Issue 3. Moscow. Institute of the history of science and technology, 2009. pp. 9-27. (in Russ.)
10. Magomedov R.A. Disjunctive tectonics and modern seismicity of the territory of the Eastern Caucasus. Otechestvennaya geologiya. 2014a. No. 3. pp. 69-77. (in Russ.)
11. Magomedov R.A. Features of the spatial and temporal distribution and migration of the centers of strong earthquakes in the Eastern Caucasus. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2013. No. 4. pp. 34-43. (in Russ.)
12. Magomedov R.A. Development of geodynamic processes and modern seismicity of the Eastern Caucasus. Geological-geophysical Studies of the Deep Structure of the Caucasus: Geology and Geophysics of Caucasus: Contemporary Challenges and Research. Materials of the International Scientific and Practical Conference. On 22-24 September 2017. Vladikavkaz. GPI VSC RAS. pp. 199-205. (in Russ.)
13. Magomedov R.A. Modern geodynamics and features of the disjunctive tectonics of the Dagestan region of the Eastern Caucasus. Tectonics of the fold belts of Eurasia: similarity, difference, characteristic features of mountain building, regional generalizations. Materials of the XLVI tectonic meeting. Vol. I. M. GEOS, 2014b. pp. 240-244. (in Russ.)
14. Mamaev S.A., Taimazov D. G., Magomedov R.A. et al. Observations of microseismic emission in Dagestan. Trudy Instituta geologii Dagestanskogo nauchnogo centra RAN. 2009. No. 55. Pp. 279-281. (in Russ.)
15. Markus M.A. Long-lived structures of the Eastern Caucasus. Soviet geology. 1986. No. 10. pp. 63-69. (in Russ.)
16. Milanovskii E. E. The newest tectonics of the Caucasus. M. 1968. 484 p. (in Russ.)
17. 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. Herald of Dagestan Scientific Center RAS. 2003. No. 14. pp. 25-37. (in Russ.)
18. Timoshkina, E. P., Leonov, Yu. G., Mikhailov, V. O. Formation of the system of the mountain structure foothill deflection: a geodynamic model and its comparison with the data on the Northern Ciscaucasia. Geotectonics. 2010. vol. 44, No. 5. p. 371-387. (in Russ.)
19. 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. Bulletin of the Dagestan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. 2003. No. 14. pp. 25-37. (in Russ.)
20. <http://www.ceme.gsr.ru/new/struct/contact.htm>.
21. Chzho Ya., Go Ya., Bornyakov S.A., Ma Ts. Comparison of the model oblique rifting and strain transfer zone located in the northern segment of the rift Feng Wei: Implications earthquake swarm in 1989 in the area of Datong-Yanggao (China). Geodynamics and Tectonophysics. 2019;10 (1). pp. 43-51. DOI:10.5800/GT-2019-10-1-0403.

22. Bachmanov D. M., Kozhurin A. I., Trifonov V. G. The active faults of Eurasia database. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4). pp. 711-736.
23. Imaeva L. P., Gusev G. S., Imaev V. S., Ashurkov S. V., Melnikova V. I., Seredkina A. I. Geodynamic activity of modern structures and tectonic stress fields in northeast Asia. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4). pp. 737-768.
24. Sokolov S. Y., Abramova A. S., Moroz E. A., Zaraiskaya Y. A. Amplitudes of disjunctive dislocations in the knipovich ridge flanks (northern Atlantic) as an indicator of modern regional geodynamics. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4). pp. 769-789.
25. Gayday N. K. assessment of the localization of hypocenters of crustal earthquakes relative to the depth and relief of the border density stratification in the crust of the northeastern section of the reference geological-geophysical profile 3-dv. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4). pp. 849-861.
26. Bornyakov S. A., Ma J., Miroshnichenko A. I., Guo Y., Salko D. V., Zuev F. L. Diagnostics of meta-instable state of seismically active fault. *Geodynamics & Tectonophysics*. 2017;8 (4). pp. 989-998.
27. Leonov Y. G., Volozh Y. A., Antipov M. P., Kheraskova T. N. the Ural – herirud transcontinental postcollisional strike-slip fault and its role in the formation of the earth's crust. *Geotectonic*. 2015. Vol. 49, No. 6. pp. 515-523.
28. Hays W. W. Seismic microzoning along the Wasatch Fault Zone, ОТАН. *Proc. 8th Europ. Conf. on Earthquake Eng.* Vol. 2. Top. 5. Lisbon, 1986. pp. 41-48.
29. Hough S. E., Jakob K. H., Seeber L. High-Frequency seismic wave propagation. *Seismic Wave Propagation Geological Observatory of Columbia Univ. Palisades. N. Y.*, 1989. pp. 58-65.

ГЕОТЕКТНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26787

Условия формирования альпийской складчатой системы Большого Кавказа и характерные особенности ее структуры

Т. В. Гиоргобиани, к. г.-м. н.

Тбилисский государственный университет им. И. Джавахишвили,
Грузия, 0179, г. Тбилиси, пр. Чавчавадзе, 1;
Геологический институт им. А.И. Джанелидзе, Грузия, 0186,
г. Тбилиси, ул. Политковской, 31, e-mail: ciala_gugava@mail.ru;

Аннотация: В статье рассмотрены условия формирования складчатой системы Большого Кавказа в альпийскую эпоху. Показано, что главная зональная линейная складчатая структура региона была сформирована на ранне- и среднеальпийской стадиях развития в результате проявления батской и пиренейской фаз складчатости. Установлено, что причиной складкообразования было активное столкновение Черноморско-Закавказского микроконтинента на юго-западе с пассивной окраиной Большого Кавказа. Определено, что позднеальпийская стадия в регионе проходила в условиях субмеридионального тангенциального давления, во время проявления плиоцен-четвертичных фаз складчатости. В это время на Большой Кавказ воздействовал не целостный Черноморско-Закавказский микроконтинент, а слагающие его мелкие плиты и блоки-шоли. Выяснено, что они в процессе тектогенеза перемещались и косо вдвигались в складчатую систему Большого Кавказа, вызывая преобразование первичной структуры и возникновение интерференционной складчатости. В результате повторного деформирования отдельных участков региона в его пределах образовалась неоднородная складчатая структура. Изучена основная особенность складчатой системы Большого Кавказа, выраженная структурной неоднородностью складчатости в поперечном и продольном направлениях. Установлено, что она отражает поэтапную и разноплановую деформацию отдельных участков, возникающую в результате последовательного проявления в регионе локальной и региональной геодинамики микроконтинента, а также связанных с ними общих и частных механизмов его формирования.

Структурный анализ морфологии складчатости БК действительно показал неравномерную дислоцированность его С-З и Ю-В сегментов, сложенных в основном ранне- и среднеальпийскими структурами, выраженную в разной степени осложненности коллизионными деформациями. Так, в пределах мальм-эоценового структурного этажа С-З Кавказа, раннеальпийская структура которого меньше всех остальных сегментов усложнена коллизионными деформациями, четко проявлена латеральная асимметричная зональность его складчатой структуры.

Она выражена в последовательной смене с юго-запада на северо-восток интенсивной линейной сильно сжатой складчатости линейными гребневидными, а затем слабо вытянутыми типичными брахиморфными складками, переходящими, в свою очередь, в полого наклонную на северо-восток моноклираль.

Ключевые слова: Большой Кавказ, альпийская складчатая структура, неоднородная складчатость, геодинамика, интерференция, тектогенез, микроконтинент, тангенциальное сжатие, придвигание, денудационный процесс.

Для цитирования: Гиоргобиани Т. В. Условия формирования альпийской складчатой системы Большого Кавказа и характерные особенности ее структуры // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 43-57. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26787.

Введение

Складчатая система Большого Кавказа (БК), расположенная на северном краю Анатолийско-Кавказско-Иранского (АКИ) сегмента Средиземноморского подвижного пояса, в течение альпийского цикла тектогенеза была ограничена относительно жесткими и по-разному мобильными геоструктурами. На севере находилась Скифская эпигерцинская платформа (СП), развитая на периферии Евразийского континента (ЕАК), на юге она соприкасалась с Черноморско-Закавказским микроконтинентом (ЧЗМ). Сложенная мощными (более 15 км) мезозойско-кайнозойскими вулканогенно-осадочными толщами, складчатая система БК структурно представляет собой асимметричный мегантиклинорий северо-западного простирания с доальпийским метаморфическим комплексом и гранитоидами в ядре. В пределах БК распространена преимущественно линейная круто наклоненная, в основном на юг, разнопорядковая складчатость различной напряженности, которая на южном крыле мегантиклинория осложнена надвигами и постскладчатыми покровами.

Несмотря на достаточно хорошую геологическую изученность мегантиклинория БК, многие вопросы его тектонического строения пока все еще остаются освещенными в литературе явно недостаточно или противоречиво [Gamkrelidze, Giorgobiani, 1990; Giorgobiani, 2003; Adamia et al., 2011; Gorbatikov et al., 2015; Rogozhin et al., 2015; Sharkov et al., 2015; Zaalishvili et al., 2015; Cowgill et al., 2016; Legendre et al., 2017; Shempelev et al., 2017; Tsereteli et al., 2016]. В настоящее время сосуществуют взаимно исключающие представления деформационных способов образования складчатой системы региона. Это относится, в частности, к проблемам времени и механизма формирования складчатости, а также условиям возникновения ее различных морфологических типов, закономерностям и причинам их расположения в пределах современной структуры мегантиклинория [Гиоргобiani, 2004]. Также особого внимания заслуживает рассмотрение некоторых процессов альпийского орогенеза со структурных позиций и определение его роли в создании горно-складчатого сооружения, учитывая при этом важнейшие особенности региональной складчатости БК. Решение этих сложных вопросов геотектоники требует проведения региональных комплексных исследований складчатой системы региона.

Фактический материал

Поэтому, автором настоящей статьи с Д.П. Закарая, в течение более 40 лет, детально (в масштабе 1:1000) изучались характерные особенности разнотипной складчатости мегантиклинория и развитого здесь структурного парагенезиса. В результате получен большой фактический материал в виде многочисленных геолого-структурных разрезов, целиком пересекающих всю складчатую систему БК или только зону Южного склона региона.

Исследования проводились в пределах Северо-Западного (С.-З.), Центрального (Ц.) и Восточного (В.) сегментов мегантиклинория. Геологическое строение и складчатая структура Юго-Восточного (Ю.-В.) Кавказа изучены по опубликованным источникам, посвященным тектонической структуре этой части Восточного сегмента.

Проведенные многолетние региональные исследования складчатой структуры БК и их анализ дали возможность выяснить морфологические и генетические особенности складчатости региона. Кроме того, удалось изучить характер ее распро-

странения в пределах почти всей территории БК, как вкрест, так и по простиранию мегантиклинория.

На основе полученных данных были установлены особенности механизмов образования современной складчатой структуры БК и альпийская геодинамика Кавказского региона. Достоверность механизмов структурообразования, полученных в результате детального геолого-структурного анализа складчатости БК, проверялась путем экспериментального моделирования процессов складкогенеза, проводимого с соблюдением условий подобия [Гиоргобиани, Закарая, 1989, 1999, 2017].

В настоящей статье, конечно, не изложены все результаты проведенных автором исследований, а рассмотрены только основные особенности складчатой системы БК. Их комплексное изучение имеет решающее значение для правильного определения причин и характера деформаций, действующих в процессе альпийского тектогенеза БК.

Альпийская складчатая структура БК, в основном, была сформирована на ранней (лейас-доггер) и среднеальпийской (мальм-эоцен) стадиях развития в результате складкообразующих движений, происходивших в конце средней юры (батская или адыгейская фаза складчатости) и в конце позднего эоцена (пиренейская фаза тектогенеза), вследствие чего были образованы два структурных этажа соответствующего возраста [Гиоргобиани, 2008].

На этом этапе тектогенеза образовалась главная зональная складчатая структура региона, наблюдаемая сейчас только в пределах С.-З. и Ю.-В. Кавказа. Очевидно, что она была одновременно развита по всему БК, но сохранилась лишь в тех сегментах, которые меньше были осложнены наложенными деформациями. На Центральном и Восточном Кавказе, где первичная структура сильно изменена в новейшую эпоху, удастся проследить лишь фрагменты зональной складчатости.

Поперечная зональность в мальм-эоценовом этаже С.-З. Кавказа проявляется с юго-запада на северо-восток сменой зон сильно, средне, слабо сжатой складчатости и зоны моноклинали. Поперечная зональность установлена и на Ю.-В. Кавказе, где в мел-палеогеновых отложениях представлены все морфологические зоны складчатости, кроме первой, которая здесь преобразована в интерференционные структуры более поздними дислокациями.

Формирование зональной складчатости было обусловлено сближением и началом коллизионного сжатия ЧЗМ к рифтогенному прогибу БК с юго-запада. В процессе деформации в условиях проявления микроплитовой тектоники, выполняющие осадочный бассейн литифицированные толщи испытывали одностороннее продольное горизонтальное сжатие. В результате в структуре БК возникла первичная асимметрично-зональная складчатость, с ниспадающей интенсивностью к северо-востоку с удалением от места столкновения.

На позднеальпийской стадии (олигоцен-антропоген), в течение ее раннеорогенной подстадии (олигоцен-средний миоцен) БК также испытывал северо-восточное тангенциальное сжатие в процессе проявления штирийской фазы складчатости.

Позднеорогенная подстадия (поздний миоцен-антропоген) позднеальпийской стадии проходила уже в условиях субмеридионального горизонтального давления, во время действия аттической, роданской, валахской и четвертичных фаз тектогенеза. Этот новейший этап, который протекал на фоне общего воздымания БК, существенно отличался от предыдущих стадий действия микроплитовой тектоники по характеру складкообразовательных процессов. В это время АКИ на сегменте

произошло изменение главного направления тангенциального сжатия с северо-восточного на субмеридиональное [Гиоргобиани, Закарая, 1989; Гиоргобиани, 1997]. Кроме того, в отличие от предыдущих стадий, это был этап столкновения с уже консолидированной складчатой системой. Поэтому, вместо впечатывания ЧЗМ к пластичным комплексам пород, происходившим на ранних фазах складкогенеза БК, этап проходил в обстановке жесткой континентальной коллизии [Гиоргобиани, 2015].

В течение позднеорогенной подстадии на БК продолжались складкообразовательные процессы, в основном охватывающие краевые части его структуры [Милановский, 1968]. К этому времени относится также развитие в пределах БК интерференционной складчатости в различных тектонических зонах Южного склона БК [Гиоргобиани, 2012].

В начале позднеорогенной подстадии ЧЗМ субмеридиональными разломами была расчленена на поперечные наноплиты и клавишеподобные мелкие блоки – шоли. Поэтому на коллизионном этапе развития на БК воздействовал не целостный ЧЗМ, как на предыдущих стадиях, а разновеликие мелкие плиты и блоки. Они в результате тангенциального давления долготного направления, происходившего в процессе тектогенеза, перемещались к северу и косо вдвигались в складчатую систему БК, вызывая в ней наложенные деформации. Проявление шоловой тектоники привело к переориентировке, преобразованию и разрушению первичной линейной складчатости в южном тектонически активном крае БК. Условия вторичного структурообразования, зависящие от кинематики шолей и наноплит, были разными. При придвигании блоков к БК, образовывалась интерференционная складчатость, поддвигание их под подвижную систему – вызывало формирование тектонических покровов, а сдвиговые перемещения сопровождалось возникновением присдвиговой складчатости [Гиоргобиани, Тверитинова, 2012]. Процесс вторичного деформирования вдоль простираия БК способствовал возникновению в его пределах неоднородной структуры.

Следовательно, раннеорогенная стадия, постепенно сменяя доорогенный этап, характеризуется одноплановыми и однотипными с последним дислокациями. Позднеорогенная коллизионная стадия представляет собой самостоятельный этап деформации, проходивший по другому структурному плану и генетически не связан с предыдущими стадиями. Это качественно новый независимый этап развития БК, который вызывал преобразование и разрушение раннеальпийской и раннеорогенной горно-складчатой системы.

В альпийском геодинамическом развитии региона определяющую роль играл глобальный процесс движения Африкано-Аравийского Континента (ААК) и его сложное сближение с ЕАК, точнее с СП. На раннем геодинамическом этапе (юр-средний миоцен, после раскрытия северной Атлантики, он перемещался в северо-восточном направлении, сближаясь с ЕАК, и как индентор воздействовал на АКИ регион. Вызванное этим процессом, трансрегиональное горизонтальное усилие на большое расстояние передавалось в межкратонную область, в том числе и на ЧЗМ. Последний начал ортогонально придвигаться к БК, вызывая в его пределах процесс регионального складкообразования. Вначале позднего этапа проявления глобальной геодинамики, Аравийская плита, отделившись от Африканского континента в позднем миоцене, стала долготно двигаться на север, и, сближаясь с ЕАК, постепенно вдвигалась в Альпийский пояс. Это обусловило смену предыдущих геодинамических

условий в АКИ и соответственно ориентировки вектора тангенциального давления, которая стала субмеридиональной. Направленный на север стресс, воздействуя на южные регионы АКИ, достиг ЧЗМ и через него передавался БК. В изменившейся обстановке происходило столкновение нано плит и шолей ЧЗМ с БК в различных кинематических условиях, что вызывало в нем коллизионное локальное своеобразное структурообразное развитие, которое продолжается и в современную эпоху.

Важным фактором в формировании современной складчатости альпийского БК была структурная позиция региона – это размещение между ЧЗМ и СП, а также геодинамика последних. Тектонической активностью в процессе складкообразования на БК характеризовался ЧЗМ, а СП оставалась относительно пассивной, выполняя роль жесткого упора.

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что изменение ориентировки вектора тангенциального сжатия во время альпийского тектогенеза, проявление в процессе структурообразования в начале микроплитовой, а затем шоловой тектоники и различных механизмов дислоцирования, что не характерно для всех коллизионных орогенов, являются важными отличительными особенностями условий формирования складчатой системы БК.

Другой характерной особенностью складчатой системы БК является неоднородность складчатости в поперечном и продольном направлениях мегантиклинория. На неоднородность зоны полной складчатости БК было указано еще ранее некоторыми авторами [Шолпо, 1978; Рогожин, Шолпо, 1988; Шолпо и др., 1993]. В данных работах рассмотрены основные особенности складчатой структуры БК, которые необходимы для достоверного выяснения условий ее формирования.

В пределах БК отмечена поперечная центробежная структурная зональность, выраженная постепенным уменьшением напряженности складчатости от осевой зоны к периферии складчатой системы. Указан переход полной складчатости на периклиналях мегантиклинория в промежуточные. Установлено, что зоны морфологически относительно более сложной складчатости обрамлены полосами менее напряженных структур. Обнаружено что, антиклинорий и синклинорий, а также отдельные крупные складки в структуре БК располагаются кулисообразно. У авторов статьи укрепилось мнение, что своеобразная складчатая структура БК, в основном, была сформирована одновременно, в результате единого процесса складкообразования. По их представлениям указанные характерные особенности складчатости БК противоречат возможности применения внешнего горизонтального сжатия для объяснения формирования мегантиклинория БК. Поэтому, более приемлемым механизмом складкообразования принята модель объемного адвективного нагнетания в осадочных толщах, взаимосвязи со сдвиговыми перемещениями по системе глубинных разломов в доальпийском фундаменте.

Детальный анализ региональной складчатой структуры БК показал, что поперечная латеральная изменчивость морфологии складчатости БК является первичной асимметричной зональной структурой, образованной в процессе формирования главной складчатости региона и представляет важную особенность его структуры.

Продольная неоднородность складчатой структуры может наблюдаться и в первичной структуре БК. Вследствие погружения шарнира мегантиклинория от центральной части к периклиналям, отмечается смена сильносжатой складчатости структурами гребневидного типа. Но, в основном, продольная неоднородность складчатости представляет собой вторичную структуру, наложенную позже на пер-

вичную линейную складчатость. Она развита в пределах Южного склона БК вдоль границы с ЧЗМ, где на общем фоне развития линейной напряженной складчатости резко выделяются участки интерференционных складчатых структур. Они имеют в целом субширотные простирания, представлены разнообразными по морфологии и ориентировке брахиформными, а также другими структурами более сложных очертаний [Гиоргобиани, Закарая, 1989; Гиоргобиани, 2012]. Чередование по простиранию БК участков, состоящих из линейных и нелинейных складок различного направления, вызывает нарушение одноплановой линейной структуры региона. Это способствует образованию в пределах С.-З., Ц. и Ю.-В. Кавказа продольной неоднородности складчатости мегантиклинория. А расположенные на Южном склоне БК постскладчатые тектонические покровы еще более осложняют структурное разнообразие региона. Развита в пределах альпийского БК, установленная ранее интерференционная складчатость [Гиоргобиани, Закарая, 1989], является ранее неизвестной важной особенностью складчатой системы региона.

Кроме горизонтальной неоднородности на БК отмечается также вертикальная неоднородность складчатой структуры регионального плана, выраженная дисгармоничной складчатостью – чередование в толщах различной литологии, мощности и характера переслаивания складчатых структур различной величины, морфологии и напряженности. Структурная неоднородность складчатости мезозойско-кайнозойского комплекса в вертикальном разрезе является одной из характерных особенностей БК. По времени формирования она является первичной неоднородной структурой, которая возникала в процессе главного линейного складкообразования в регионе в течение первого этапа деформации. Складчатости свойственна конгруэнтная дисгармония с сохранением одинаковой ориентировки структур различного порядка. Причиной формирования дисгармоничной складчатости, как известно, является изменение с глубиной в земной коре Р-Т условий, влияющих на реологические свойства деформируемых толщ. Это вызывает неидентичность деформации разнослоистых и различно вязких толщ или пачек и слоев в обстановке совместного горизонтального сжатия. В процессе дислокации одновременно действуют неодинаковые механизмы образования складок (изгиб, течение или их комбинация), вызывающие возникновение разнотипной складчатости, обуславливающие, в свою очередь, вертикальную неоднородность складчатой структуры [Гиоргобиани, 2016].

Обсуждение результатов

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что разноликая складчатая структура БК возникла не единовременно, как это считали раньше, а образовалась в течение отдельных этапов его многофазной деформации. Однако, структурные особенности складчатой системы БК и условия их возникновения пока недостаточно изучены и все еще являются предметом дискуссии. Поэтому их образование можно объяснить и другими возможными причинами формирования структурной неоднородности региона.

В первую очередь, нужно учесть в исследованиях наличие конгруэнтной вертикальной структурной дисгармонии альпийских складчатых комплексов, имеющих широкое развитие в пределах БК. Она, почему-то, не использовалась предыдущими исследователями при установлении причин неоднородности складчатой структуры в регионе, характеризующемся контрастными изменениями морфологии поверхности современного эрозионного среза горного сооружения БК.

При анализе особенностей складчатой структуры мегантиклинория Большого Кавказа в первую очередь возникает вопрос: какую морфологию фактически имеют, основные, складчатость в поперечном и продольном направлениях и действительно ли они характеризуются, как это считают некоторые исследователи [Шолпо, 1978; Шолпо и др., 1993], поперечной центробежной структурной зональностью, представленной постепенным ослаблением интенсивности складчатости от осевой части мегантиклинория к периферии.

Региональные детальные многолетние геолого-структурные исследования, проведенные в пределах С.-З., Ц. и В. Кавказа, в результате чего был получен качественно новый фактический материал, а также ознакомление с данными по складчатой структуре Ю.-В. Кавказа, резко изменили ранее существующие представления о морфологии складчатости БК и характере распределения различных ее типов, как в продольном, так и в поперечном сечении мегантиклинория.

Структурный анализ морфологии складчатости БК действительно показал неравномерную дислоцированность его – С.-З. и Ю.-В. сегментов, сложенных в основном ранне- и среднеальпийскими структурами, выраженную в разной степени осложненности коллизионными деформациями. Так, в пределах малым-эоценового структурного этажа С-З Кавказа, раннеальпийская структура которого меньше всех остальных сегментов осложнена коллизионными деформациями, четко проявлена латеральная асимметричная зональность его складчатой структуры.

Она выражена в последовательной смене с юго-запада на северо-восток интенсивной линейной сильно сжатой складчатости линейными гребневидными, а затем слабо вытянутыми типичными брахиморфными складками, переходящими, в свою очередь, в полого наклонную на северо-восток моноклиналь [Гиоргобиани, Закарая, 1980]. Уменьшение интенсивности складчатости в том же направлении отмечается и в нижне-среднеюрском структурном этаже в пределах Гойтхского антиклинория [Гиоргобиани, Закарая, 1989]. Никакое ослабление интенсивности складчатости от осевой зоны С.-З. Кавказа к его перифериям в пределах этого сегмента не отмечается, и такое утверждение противоречит фактическому материалу. Напротив, самая интенсивная складчатость развита не в центральной части, а вдоль юго-западного края региона, которая лишь на коллизионном этапе на некоторых участках была преобразована в интерференционную складчатость, сформированную в результате повторного субмеридионального сжатия доорогенных линейных складок северо-западного простираения [Гиоргобиани, Закарая, 1989; Гиоргобиани, 2012].

Интересная картина деформации наблюдается в пределах Ю.-В. Кавказа. Здесь в южной части Закатальско-Ковдагской зоны, сложенной главным образом верхнемеловыми и палеогеновыми толщами [Шихалибейли, 1972; Григорьянц и др., 1972], развита своеобразная складчатость с образованием брахиформных и куполообразных или чашевидных структур. Они расположены полосой вдоль зоны Зангинского краевого разлома западного-северо-западного простираения и имеют поперечные к основной складчатости ориентировки. Предыдущие исследователи рассматривали эту складчатую структуру как прерывистую, образованную в результате несогласного поперечного наложения на первичную мезозойскую складчатость более молодых кайнозойских конседиментационных складок [Григорьянц, 1968; Григорьянц, Хаин, 1958; Мирчинк, Шурыгин, 1972].

В северной части Закатальско-Ковдагской зоны, в области развития меловых толщ, распространена зона линейной гребневидной складчатости, которая, в свою

очередь, к северу сменяется типичными брахиформными складками, развитыми вдоль северного края Ю.-В. Кавказа в пределах Шахдаг-Хизинского синклиория [Шихалибейли, 1972; Григорьянц и др., 1972].

Такой характер распределения морфологических типов складчатости, на первый взгляд, дает основание предполагать наличие в поперечном сечении Ю.-В. Кавказа центробежной структурной зональности. Она выражается в переходе сжатой линейной складчатости, развитой в осевой части региона, в брахиформные структуры, расположенные по его краям. Однако складчатость, развитая вдоль Зангинского разлома, представляет собой типичную перекрестную структуру, которая возникла в новейшее время в результате перестройки первичной линейной складчатости [Григорьянц, 1968]. Поэтому формирование современной складчатой структуры Ю.-В. Кавказа происходило в разное время, и брахиформная складчатость является более поздней наложенной интерференционной структурой, имеющей поперечное к первичной складчатости направление. В этом случае в единую структуру объединяются разновозрастные образования, что заставляет нас усомниться в предположении о якобы центробежной поперечной структурной зональности региона.

Судить о характере распределения морфологических типов складчатости в поперечном сечении по всей альпийской структуре Ц. Кавказа невозможно, поскольку на обширном пространстве ее средней части, представленной главным образом доюрскими метаморфическими комплексами зоны Главного хребта, мезозойско-кайнозойские отложения в результате эрозии практически не сохранились. Также ничего нельзя сказать и о распределении интенсивности складчатости и ее зональности в остальных частях этого сегмента, так как здесь ни ниже-среднеюрские, ни мальм-эоценовые толщи не обнажены по всей ширине этого региона и развиты только фрагментарно на отдельных его участках. Это свидетельствует о том, что, судя по характеру обнаженности современной складчатости, нет оснований утверждать о наличии на Ц. Кавказе центробежной зональности альпийской складчатой структуры.

В пределах В. Кавказа более полно наблюдаются характерные особенности складчатой структуры ниже-среднеюрского этажа региона, на котором широко развита вертикальная дисгармония складчатости слагающих его толщ. Доказательством этого, в частности, может служить детальный геолого-структурный разрез, составленный вдоль ущелий рр. Асса и Хевсурская Арагви протяженностью около 50 км [Гиоргобиани, Закарая, 1991]. Профиль с севера на юг пересекает Агвалинскую наклонную ступень Внешней зоны Горного Дагестана, зону Восточного погружения антиклиория Главного хребта (горст-антиклиорий Бокового хребта) и Казбег-Лагодехскую зону складчатой системы Южного склона.

Мощная (более 10 км) ниже-среднеюрская песчано-глинистая, интенсивно кливажированная толща, в каждой тектонической зоне и подзоне дислоцирована по-разному. Сравнительно простые формы структур, распространенные в пределах северного крыла мегантиклиория, к югу сменяются сильносжатыми, наклоненными на юг складками разного размера и порядка.

Агвалинская наклонная ступень, расположенная в северном крыле мегантиклиория БК, сложена отложениями тоара-байоса. Структурно она представляет собой моноклиналь, полого ($10-40^\circ$) наклоненную на север, которая осложнена крупными и мелкими крутыми ($80-85^\circ$) падающими на север флексурами. Северное сложенное плинсбах-тоарскими толщами крыло антиклиория Главного хребта, пред-

ставляет собой, круто ($70-80^\circ$) наклоненную на север моноклираль.

Осевая зона антиклинория Главного хребта, сложенная отложениями нижнего плинсбаха, в пределах изученного района, дислоцирована наиболее интенсивно. Она сложена сильносжатыми, линейно вытянутыми складками, с узкими замками и крутыми крыльями трех порядков. Ширина пликтивных структур первого порядка составляет 0,6-2,1 км, второго – 80-250 м и третьего – от первых метров до 30-50 м.

Далее к югу обнажено южное крутое крыло антиклинория Главного хребта, сложенное отложениями верхнего плинсбаха и нижнего тоара. В начале в этой толще наблюдается моноклираль с крутыми ($65-85^\circ$) падениями слоев на юг, редко на север под углом 80° . Затем, в отложениях верхнего тоара, крыло имеет складчатое строение с развитием сильно сжатых и наклоненных на юг складок шириной 250-500 м. Далее эта толща дислоцирована в изоклинальные складки, опрокинутые или наклоненные на юг. Ширина складок составляет 700-1600 м.

К югу по профилю развиты структуры Казбег-Лагодехской зоны, представляющее Южное крыло мегантиклинория БК. В пределах перевальной части Главного хребта обнажается наклоненная на юг синклираль, шириной 4 км, сложенная глинистыми сланцами аалена. Южнее в отложениях верхнего тоара расположена антиклиналь и сопряженная с ней синклираль, шириной соответственно 1 и 0,5 км, в ядрах и на крыльях структур осложнены линейными складками второго порядка шириной 200-400 м.

Этот участок профиля представляет собой пример такой неоднородности складчатости, когда сопряженные с широкой синклиалью северные и южные участки сложены более напряженными, иногда двухпорядковыми, значительно (3-8 раз) мелкими структурами, состоящими из верхнетоарских отложений. По существующим сейчас представлениям образование такой складчатости якобы невозможно при боковом сжатии деформируемых толщ, что является, по-видимому, не совсем обоснованным выводом.

Далее на юг расположена крупная синклираль, сложенная глинистыми сланцами аалена, шириной 4,5 км. Это асимметричная, наклоненная на юг сложная структура, пологое крыло которой осложнено крутыми ($80-85^\circ$) к югу флексурными перегибами. Южнее размещена асимметричная наклоненная на юг антиклиналь, шириной 1,1 км, которая сложена верхнетоарскими отложениями. Затем, ааленские глинистые сланцы, обнаженные южнее, слагают синклираль и сопряженную с ней антиклиналь, которые имеют одинаковую ширину 900 м.

К югу, до южной границы распространения ниже-среднеюрских образований, развиты отложения верхнего аалена-бата флишоидного типа, которые смяты в серию сильносжатых складок, наклоненных на юг. Ширина складок колеблется в широких пределах – 100-1300 м, которые неравномерно расположены в данной складчатой структуре. В разрезе наблюдаются участки развития больших (0,8-1,3 км) структур, которые чередуются со складками значительно меньших размеров, в среднем 100-400 м.

Таким образом, региональный структурный анализ данного пересечения БК показал неравномерную дислоцированность ниже-среднеюрских песчано-глинистых комплексов складчатой системы региона. Ослабление напряженности складчатости отмечается только в крайней северной части профиля, где Агвалинская ступень представлена наклоненной на север пологой моноклиалью. Этот факт свидетельствует о том, что нет оснований утверждать о наличии на В. Кавказе

центробежной поперечной зональности складчатых структур в лейас-доггерском структурном этаже БК.

Как показал детальный анализ морфологии складчатой структуры В. Кавказа, это обстоятельство обусловлено несколькими основными причинами. Первая из них – это неучет широко развитой в регионе вертикальной структурной дисгармонии слагающих его складчатых толщ. Вторая – резкая вертикальная изменчивость дислокаций дневной поверхности мегантиклинория, что препятствует размещению на одном уровне выходов разновозрастных комплексов. В-третьих, неоднородность складчатости региона может быть обусловлена развитием в структуре БК многочисленных крутопадающих, неравномерно расположенных, разрывных нарушений. Вертикальные перемещения различной кинематики по разломам, приводит к контакту разновозрастных и разноскладчатых блоков, в пределах поперечного разреза складчатой зоны.

Развитие вертикальной дисгармонии складчатости определяет также первичную продольную неоднородность БК. Причиной этого является наклон шарнира мегантиклинория от его центральной части в направлении периклиналей, в виду его современного дугообразного очертания. Такое погружение оси главной структуры региона обуславливает последовательную смену вдоль его дневной поверхности по-разному дислоцированных юрско-меловых и палеоген-неогеновых комплексов в сторону перикилинальных замыканий мегантиклинория. Это приводит к возникновению ассиметричной продольной неоднородной структуры, напряженность которой, в общем, уменьшается от центра к его периклиналям.

Следующей особенностью складчатости региона является кулисообразное расположение антиклинорий и синклинорий, а также крупных складок в структуре БК. Это, по существующим в настоящее время представлениям, противоречит их образованию в результате внешнего тангенциального сжатия. Однако, кулисообразное расположение складок может возникнуть и при боковом тангенциальном сжатии горизонтально залегающих слоистых толщ. Об этом свидетельствуют проведенные физические эксперименты на моделях, сложенных параллельными слоями из различных эквивалентных материалов [Гиоргобиани, Закарая, 1989]. В процессе одностороннего горизонтального сжатия модели всегда возникает кулисно ориентированная система антиклиналей и синклиналей. Причиной этого в природе, возможно, может быть неравномерное тангенциальное сжатие деформируемых толщ вдоль их простирания. Но, во время экспериментов такого явления отмечено не было, поэтому, этот важный вопрос требует дополнительного экспериментального и теоретического исследования.

Заключение

В заключение следует отметить, что развитая в альпийской складчатой системе БК неоднородность складчатости вызвана двумя основными причинами. Во-первых, неоднородность складчатости является результатом проявления на БК региональных эндогенных процессов складкообразования, в виде латеральной и вертикальной дисгармонии складчатых комплексов. Во-вторых, интенсивным действием на территории БК современных экзогенных денудационных процессов, вызывающих неравномерную и скачкообразную дислокацию дневной поверхности мегантиклинория. Последствием этого и является обнажение в вертикальных поперечных и продольных сечениях БК рядом залегающих разносоставных, разновоз-

зрастных и по-разному дислоцированных толщ, создающих вид первичной неоднородности складчатой структуры.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что складчатая система БК образовалась в процессе двухэтапного, разнопланового и многофазного альпийского тектогенеза. Происходило это в обстановке многократного северо-восточного и субмеридионального тангенциального сжатия, возникающего в результате разнонаправленного придвигания ЧЗМ к БК региону. Последнее протекало в обстановке глобального геодинамического события альпийской эпохи – сближения Африкано-Аравийского континента с Евразией.

Литература

1. Гиоргобиани Т.В. Парагенезы коллизионных структур Кавказа // Матер. совещ. Структурные парагенезы и их ансамбли. – М.: ГЕОС, 1997. – С. 39-41.
2. Гиоргобиани Т.В. Основные особенности альпийской складчатой структуры Большого Кавказа // Сб. Тр. посвящ. 100-летию со дня рожд. П.Д. Гамкрелидзе. Труды. Нов. сер. Вып. 119. – Тбилиси. – 2004. – С. 79-89.
3. Гиоргобиани Т.В. К вопросу о механизме образования складчатой структуры Большого Кавказа // Всеросс. конф. к 40-летию создания М.В. Гзовским лабор. Тектонофизики в ИФЗ РАН. Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Т. 1. ИФЗ. – М. – 2008. – С. 214-216.
4. Гиоргобиани Т.В. Позднеальпийская пересекающаяся складчатость в структуре южного склона Большого Кавказа // Тектонофизика и актуальные вопросы наук о Земле. Матер. докл. всеросс. конф. Т. 1. – М.: ИФЗ РАН, 2012. – С. 344-348.
5. Гиоргобиани Т.В. Этапы альпийского складкообразования Большого Кавказа и их связь с геодинамикой Африкано-Аравийского континента // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы. Матер. XLVII тектонич. совещ. Т. 1. – М.: ГЕОС, 2015. – С. 93-97.
6. Гиоргобиани Т.В. Структурная неоднородность Большого Кавказа и причины ее возникновения // Тектоника, геодинамика и рудогенез складчатых поясов и платформ. Матер. XLVIII тектонич. Совещ. Т. 1. – М.: ГЕОС, 2016. – С. 103-106.
7. Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. О зональности складчатой структуры Северо-Западного Кавказа // Сообщ. АН ГССР. Т. 100. №2. – Тбилиси. – 1980. – С. 357-360.
8. Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Складчатая структура Северо-Западного Кавказа и механизм ее формирования // Тр. ГИН АН ГССР. Нов. сер., Вып. 97. – Тбилиси. – 1989. – 60 с.
9. Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Тектоника полосы развития ниже-среднеюрских отложений // Геологическое строение Асса-Арагвинского пересечения Большого Кавказа. Тр. ГИН АН ГССР. Нов. сер. Вып. 102. – Тбилиси: Мецниереба, 1991. – С. 82-101.
10. Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Экспериментальное изучение механизма формирования складчатой структуры Северо-Западного Кавказа // Проблемы геологии и петрологии Тр. ГИН АН Грузии. Нов. сер. Вып. 114. – Тбилиси. – 1999. – С. 229-256.
11. Гиоргобиани Т.В., Закарая Д.П. Экспериментальное моделирование мобилистских механизмов складкообразования Большого Кавказа // Тектоника современных и древних океанов и их окраин. Матер. Тekt. Совещ., посвящ. 100-летию акад. Ю.М. Пушаровского. Т. 1. – М.: ГЕОС, 2017. – С. 86-89.
12. Гиоргобиани Т.В., Тверитонova Т.Ю. Новейшая и современная геодинамика Большого Кавказа и приграничного Закавказья // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы. Материалы докладов Всероссийской конференции. ИЗК СО РАН. Т. 1. – Иркутск. – 2012. – С. 79-82.
13. Григорьянц Б.В. Условия образования прерывистой складчатости в геосинклинальных областях на примере востока Большого Кавказа // Геотектоника. – 1968. – №4. – С. 128-136.

14. 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.
15. Григорьянц Б.В., Шихалибейли Э.Ш., Исаев Б.М. Тектоника. Мегантиклинорий Большого Кавказа // Геология СССР. Т. 47. Азербайджанская ССР. Геологическое описание. – М.: Недра, 1972. – С. 290-316.
16. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. – М.: Недра, 1968. – С. 350-373.
17. Мирчинк М.Ф., Шурыгин А.М. Формирование структуры третичных и меловых отложений юго-восточного погружения Кавказа. – М.: Наука, 1972. – 160 с.
18. Рогожин Е.А. Шолпо В.Н. Неоднородность зоны полной складчатости Большого Кавказа // Геотектоника. – 1988. – № 5. – С. 79-93.
19. Шихалибейли Э.Ш. Тектоника. Положение Азербайджана в общей структуре Кавказа и сопредельных складчатых областей // Геология СССР. Т. 47 Азербайджанская ССР. Геологическое описание. – М.: Недра, 1972. – С. 288-290.
20. Шолпо В.Н. Альпийская геодинамика Большого Кавказа. – М.: Недра. 1978. – 176 с.
21. Шолпо В.Н., Рогожин Е.А., Гончаров М.А. Складчатость Большого Кавказа. – М.: Наука, 1993. – 192 с.
22. Adamia S., Zakariadze G., Chkhotua T., Sadradze N., Tsereteli N., Chabukiani A., Gventsadze A. Geology of the Caucasus: A Review // Turkish Journal of Earth Sciences. – 2011. – Vol. 20, no. 5. – Pp. 489-544.
23. Cowgill E., Forte A.M., Niemi N., Avdeev B., Tye A., Trexler C., Javakhishvili Z., Elashvili M., Godoladze T. Relict basin closure and crustal shortening budgets during continental collision: An example from Caucasus sediment provenance // Tectonics. – 2016. – Dec. – Vol. 35, no. 12. – Pp. 2918-2947.
24. Gamkrelidze J.P., Giorgobiani T.W. Kinematics of the alpine deformation of the Caucasus and adjacent areas // Mechanics of Jointed and Faulted Rock. – 1990. – Pp. 183-186.
25. Giorgobiani T.V. Origin of horst-anticlinorium of the Main Range, the Eastern Caucasus // Doklady Earth Sciences. 2003. – Vol. 388, No. 1. – Pp. 16-20.
26. Gorbatiykov A.V., Rogozhin E.A., Stepanova M.Y., Kharazova Y.V., Andreeva N.V., Perederin F.V., Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Dzeranov B.V., Dzeboev B.A., Gabaraev A.F. The pattern of deep structure and recent tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector from the complex geophysical data // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. – 2015. – Vol. 51, No. 1. – Pp. 26-37.
27. Legendre C.P., Tseng T.L., Chen Y.N., Huang T.Y., Gung Y.C., Karakhanyan A., Huang B.S. Complex deformation in the Caucasus region revealed by ambient noise seismic tomography // Tectonophysics. – 2017. – Aug. – Vol. 712. – Pp. 208-220.
28. Rogozhin E., Gorbatiykov A., Zaalishvili V., Stepanova M., Andreeva N., Kharazova Y. New data on the deep structure, tectonics, and geodynamics of the Greater Caucasus // Doklady Earth Sciences. – 2015. – Vol. 462, No. 1. – Pp. 543-545.
29. Sharkov E., Lebedev V., Chugaev A., Zabarinskaya L., Rodnikov A., Sergeeva N., Safonova I. The Caucasian-Arabian segment of the Alpine-Himalayan collisional belt: Geology, volcanism and neotectonics // Geoscience Frontiers. – 2015. – Jul. – Vol. 6, no. 4. – Pp. 513-522.
30. Shempelev A., Zaalishvili V., Kukhmazov S. Deep structure of the western part of the Central Caucasus from geophysical data // Geotectonics. – 2017. – Vol. 51, No. 5. – Pp. 479-488.
31. Tsereteli N., Tibaldi A., Alania V., Gventsadze A., Enukidze O., Varazanashvili O., Muller B.I. R. Active tectonics of central-western Caucasus, Georgia // Tectonophysics. – 2016. – Nov. – Vol. 691. – Pp. 328-344.
32. Zaalishvili V., Nevskaya N., Nevskii L., Shempelev A. Geophysical fields above volcanic edifices in the North Caucasus // Journal of Volcanology and Seismology. – 2015. – Vol. 9, No. 5. – Pp. 333-338.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26787

Conditions of formation of the alpine folded system of the Greater Caucasus and unique features of it's structure

T. V. Giorgobiani, Cand. Sci. (Geol.-Min.)

Ivane Javakhishvili Tbilisi State University, 1Chavchavadze Ave, Tbilisi0179, Georgia
Al. Djanelidze Geological Institute, 31A. Politkovskaia Str., Tbilisi1086, Georgia
e-mail: ciala_gugava@mail. ru

Abstract: The article considers the conditions of formation of folded system of the Greater Caucasus in the Alpine Epoch. It is shown that main zonal linear folded structure of the region was formed at the early and middle Alpine stages of the evolution in the result of manifestation of Bathonian and Pyrenean stages of folding. It was established that the cause of the folding was an active collision of the Black Sea-Transcaucasian microcontinent in the south-west with the passive margin of the Greater Caucasus. It was also determined that the Late Alpine stage in the region took place under the conditions of submeridional tangential stress, during the Pliocene-Quaternary folding phases. During this period the Greater Caucasus was affected not by the whole Black Sea-Transcaucasian microcontinent, but by its smaller plates and blocks. It was found out that during the process of tectogenesis they drifted and obliquely moved into the folded system of the Greater Caucasus, causing the transformation of the initial structure and the occurrence of interferential folding. In the result of repeated deformation of separate areas of the region the heterogeneous folded structure was formed. The main feature of the folded structures of the Greater Caucasus (expressed by a structural heterogeneity in transversal and longitudinal directions) was studied. It was determined that it reflects the gradual and diverse deformation of individual sections, resulting from the consistent manifestation of the local and regional geodynamics of the microcontinent, as well as the common and specific mechanisms of its formation associated with them.

The structural analysis of the morphology of folding of the Great Caucasus really showed its uneven dislocation, i. e. the N-W and S-E of the segments, composed mainly of early and middle Alpine structures, expressed in varying degrees of complication by collisional deformations. So, within the Malm-Eocene structural floor of the northwestern Caucasus, the Early Alpine structure of which is less than all the other segments, is complicated by collimated deformations, the lateral asymmetric zonality of its folded structure is clearly manifested.

It is expressed in a successive change from the south-west to the north-east of intensive linear highly compressed folding with linear ridge-like, and then slightly elongated typical brachymorphic folds, which turn into a hollow sloping to the north-east monocline.

Keywords: Greater Caucasus, Alpine folded structure, heterogeneous folding, geodynamics, interference, tectogenesis, microcontinent, tangential stress, denudation process.

For citation: Giorgobiani T. V. Conditions of formation of the alpine folded system of the Greater Caucasus and unique features of it's structure. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 43-57. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26787.

References

1. Giorgobiani T. V. Paragenesis of the collision structures of the Caucasus. Meeting materials of Structural Parageneses and Their Ensembles. M. GEOS, 1997. pp. 39-41. (in Russ.)

2. Giorgobiani T. V. The main features of the alpine folded structure of the Greater Caucasus. Proceedings dedicated to 100th anniversary of P. D. Gamkrelidze. Proceedings. Nov. ser. Issue 119. Tbilisi. 2004. pp. 79-89. (in Russ.)
3. Giorgobiani T. V. To the question of the formation mechanism of the folded structure of the Greater Caucasus. All-Russian Conference on the 40th anniversary of the creation of M. V. Gzovsky laboratory. Tectonophysics in IPE RAS. Tectonophysics and current issues of Earth sciences. Vol. 1. IPE. M. 2008. pp. 214-216. (in Russ.)
4. Giorgobiani T. V. Late alpine overlapping folding in the structure of the southern slope of the Greater Caucasus. Tectonophysics and current issues of Earth sciences. Reports of the All-Russian Conference Vol. 1. M. IPE RAS, 2012. pp. 344-348. (in Russ.)
5. Giorgobiani T. V. The stages of the alpine folding of the Greater Caucasus and their relationship with the geodynamics of the African-Arabian continent. Tectonics and geodynamics of the continental and oceanic lithosphere. Materials of XLVII tectonic meeting Vol. 1. M. GEOS, 2015. pp. 93-97. (in Russ.)
6. Giorgobiani T. V. Structural heterogeneity of the Greater Caucasus and its causes. Tectonics, geodynamics and ore genesis of folded belts and platforms. Materials XLVII tectonic meeting. Vol. 1. M. GEOS, 2016. pp. 103-106. (in Russ.)
7. Giorgobiani T. V., Zakaraya D. P. About zoning the folded structure of the North-West Caucasus. Proceedings of Academy of Sciences of GSSR. Vol. 100. No. 2. Tbilisi. 1980. Pp. 357-360. (in Russ.)
8. Giorgobiani T. V., Zakaraya D. P. Folded structure of the North-West Caucasus and the mechanism of its formation. Proceedings GIN AN GSSR. Nov. ser., Issue 97. Tbilisi. 1989. 60 p. (in Russ.)
9. Giorgobiani T. V., Zakaraya D. P. Tectonics of the Lower-Middle Jurassic Development Strip. The geological structure of the Assa-Aragvi intersection of the Greater Caucasus. Proceedings of GIN AN GSSR. Nov. ser. Issue 102. Tbilisi, Mecniereba, 1991. pp. 82-101. (in Russ.)
10. Giorgobiani T. V., Zakaraya D. P. Experimental study of the formation mechanism of the folded structure of the North-West Caucasus. Problems of Geology and Petrology Proceedings of the Georgian Academy of Sciences. Nov. ser. Issue 114. Tbilisi. 1999. pp. 229-256. (in Russ.)
11. Giorgobiani T. V., Zakaraya D. P. Experimental modeling of the mobilistic mechanisms of the Greater Caucasus folding. Tectonics of modern and ancient oceans and their margins. Material of the Tectonic Meeting dedicated to the 100th anniversary of Acad. Yu. M. Pushcharovsky. Vol. 1. M. GEOS, 2017. pp. 86-89. (in Russ.)
12. Giorgobiani T. V., Tveritnova T. Yu. The newest and modern geodynamics of the Greater Caucasus and the Transcaucasian Border. Modern geodynamics of Central Asia and dangerous natural processes. Materials of reports of the All-Russian Conference. IZK SB RAS. Vol. 1. Irkutsk. 2012. pp. 79-82. (in Russ.)
13. Grigor'yants B. V. Conditions for the formation of intermittent folding in geosynclinal areas on the example of the east of the Greater Caucasus. Geotectonic. 1968. No. 4. pp. 128-136. (in Russ.)
14. Grigor'yants B. V., Khain V. E.. Superposed folding in geosynclinal areas and some conditions for its formation. Proceedings of the universities. Geology and exploration. 1958. No. 12. pp. 3-16. (in Russ.)
15. Grigor'yants B. V., Shikhalibeili E. SH., Isaev B. M. Tektonika. Tectonics. Meganticlinorium of the Greater Caucasus. Geology USSR. Vol. 47. Azerbaijan SSR. Geological description. M. Nedra, 1972. pp. 290-316. (in Russ.)
16. Milanovskii E. E. The newest tectonics of the Caucasus. M. Nedra, 1968. pp. 350-373. (in Russ.)
17. Mirchink M. F., Shurygin A. M. Formation of the structure of tertiary and Cretaceous sediments of the south-eastern depression of the Caucasus. M. Nauka, 1972. 160 p. (in Russ.)

18. Rogozhin E.A., Sholpo V.N. Heterogeneity of the complete folding zone of the Greater Caucasus. *Geotectonics*. 1988. No. 5. pp. 79-93. (in Russ.)
19. Shikhalibeili E. Sh. The position of Azerbaijan in the overall structure of the Caucasus and adjacent folded regions. *Geology USSR*. Vol. 47 Azerbaijan SSR. Geological description. M. Nedra, 1972. pp. 288-290. (in Russ.)
20. Sholpo V.N. Alpine geodynamics of the Greater Caucasus. M. Nedra. 1978. 176 p. (in Russ.)
21. Sholpo V.N., Rogozhin E.A., Goncharov M.A. The folding of the Greater Caucasus. M. Nauka, 1993. 192 p. (in Russ.)
22. S., Zakariadze G., Chkhotua T., Sadradze N., Tsereteli N., Chabukiani A., Gventsadze A. Geology of the Caucasus: A Review. *Turkish Journal of Earth Sciences*. – 2011. – Vol. 20, no. 5. – Pp. 489-544.
23. Cowgill E., Forte A.M., Niemi N., Avdeev B., Tye A., Trexler C., Javakhishvili Z., Elashvili M., Godoladze T. Relict basin closure and crustal shortening budgets during continental collision: An example from Caucasus sediment provenance. *Tectonics*. – 2016. – Dec. – Vol. 35, no. 12. – Pp. 2918-2947.
24. Gamkrelidze J.P., Giorgobiani T. W. Kinematics of the alpine deformation of the Caucasus and adjacent areas. *Mechanics of Jointed and Faulted Rock*. – 1990. – Pp. 183-186.
25. Giorgobiani T. V. Origin of horst-anticlinorium of the Main Range, the Eastern Caucasus. *Doklady Earth Sciences*. 2003. – Vol. 388, No. 1. – Pp. 16-20.
26. Gorbatiykov A. V., Rogozhin E. A., Stepanova M. Y., Kharazova Y. V., Andreeva N. V., Perederin F. V., Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Dzeranov B. V., Dzeboev B. A., Gabaraev A. F. The pattern of deep structure and recent tectonics of the Greater Caucasus in the Ossetian sector from the complex geophysical data. *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. – 2015. – Vol. 51, No. 1. – Pp. 26-37.
27. Legendre C.P., Tseng T.L., Chen Y.N., Huang T.Y., Gung Y.C., Karakhanyan A., Huang B.S. Complex deformation in the Caucasus region revealed by ambient noise seismic tomography. *Tectonophysics*. – 2017. – Aug. – Vol. 712. – Pp. 208-220.
28. Rogozhin E., Gorbatiykov A., Zaalishvili V., Stepanova M., Andreeva N., Kharazova Y. New data on the deep structure, tectonics, and geodynamics of the Greater Caucasus. *Doklady Earth Sciences*. – 2015. – Vol. 462, No. 1. – Pp. 543-545.
29. Sharkov E., Lebedev V., Chugaev A., Zabarinskaya L., Rodnikov A., Sergeeva N., Safonova I. The Caucasian-Arabian segment of the Alpine-Himalayan collisional belt: Geology, volcanism and neotectonics. *Geoscience Frontiers*. – 2015. – Jul. – Vol. 6, no. 4. – Pp. 513-522.
30. Shempelev A., Zaalishvili V., Kukhmazov S. Deep structure of the western part of the Central Caucasus from geophysical data. *Geotectonics*. – 2017. – Vol. 51, No. 5. – Pp. 479-488.
31. Tsereteli N., Tibaldi A., Alania V., Gventsadse A., Enukidze O., Varazanashvili O., Muller B. I. R. Active tectonics of central-western Caucasus, Georgia. *Tectonophysics*. – 2016. – Nov. – Vol. 691. – Pp. 328-344.
32. Zaalishvili V., Nevskaya N., Nevskii L., Shempelev A. Geophysical fields above volcanic edifices in the North Caucasus. *Journal of Volcanology and Seismology*. – 2015. – Vol. 9, No. 5. – Pp. 333-338.

ГЕОФИЗИКА

УДК550.34

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788

Предварительный анализ возможности
сейсмогенного разжижения грунтов
(на примере водонасыщенных
песчано-глинистых отложений
в п. Кудепста Адлеровского
района г. Сочи)

Ю. К. Чернов, д. ф.-м. н., проф.

Геофизический институт – филиал ФГБУН ФНЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук», Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а, e-mail: chenta-26@mail. ru

Аннотация: Территория города Сочи относится к зоне 9-балльной сейсмичности по шкале МСК-64. В условиях обводненных песков и мягкопластичных суглинков землетрясение может достигать 10-балльной сейсмичности, что может создать очень серьезную ситуацию городской инфраструктуре.

На примере анализа грунтов поселка Кудепста (район Большого Сочи) описан предварительный этап оценок опасности разжижения слабых водонасыщенных отложений под воздействием возможных здесь сильных землетрясений. Прогнозирование устойчивости различных грунтовых комплексов к сейсмогенному разжижению произведено на качественном уровне, т. е. показано в принципе разжижение возможно или нет. Количественная оценка этой возможности (вероятности) при этом не делается. Приведено описание последовательности, содержания и результатов, выполненных в процессе анализа процедур. В частности показано, что к потенциально разжижаемым грунтам в условиях изучаемого участка могут быть отнесены залегающие в верхней части разреза почвы и суглинки мощностью 2-3 м. К практически не разжижаемым относятся залегающие на глубине 5-10 м суглинки. Грунты на промежуточных глубинах требуют дополнительного изучения. Полученные данные будут использованы при дальнейшей (количественной) оценке вероятности сейсмогенного разжижения исследуемых грунтов и мощности потенциально разжижаемой толщи.

Сейсмическое разжижение слабых обводненных грунтов во время землетрясений, как правило, проявляется в виде мгновенных осадок и, как следствие, массовыми разрушениями зданий. Такие землетрясения характеризуются трещинами в земной коре до метра шириной, оползнями и обвалами со склонов, разрушением каменных построек, искривлением железнодорожных рельсов. Тектоническая раздробленность региона, изрезанный рельеф, избыточная обводненность способствуют проявлению масштабных оползней. В зоне морской абразии велика вероятность обвалов, сопряженных с разрушениями портовых сооружений. За последние 100 лет в этом регионе произошли землетрясения силой более 7 баллов.

Ключевые слова: сильные землетрясения, сейсмогенное разжижение грунта, слабые водонасыщенные грунты, мощность разжижаемой толщи, качественный и количественный анализ разжижаемости грунтов.

Для цитирования: Чернов Ю. К. Предварительный анализ возможности сейсмогенного разжижения грунтов (на примере водонасыщенных песчано-глинистых отложений в п. Кудепста Адлеровского района г. Сочи) // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 № 1. С. 58-70. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788.

Введение

При разжижении (liquefaction) водонасыщенных песчано-глинистых грунтов, вызванном сильными землетрясениями, происходит почти полная потеря их несущей способности, что представляет большую угрозу для расположенных на них зданий и сооружений.

Рекогносцировочные оценки, выполненные для некоторых районов г. Сочи [Чернов Ю., Чернов А., 2007] показали, что повторяемость землетрясений, способных вызвать разжижение определенных типов грунтов, составляет здесь ~ 1 раз в 200-300 лет, что в 2 раза чаще, чем повторяемость сейсмических воздействий, на которые должны рассчитываться обычные здания массовой застройки и в 3-5 раз чаще воздействий, на которые рассчитываются ответственные объекты [Свод правил..., 2011, 2014].

Поселок Кудепста также находится в зоне высокой сейсмичности. Поэтому оценка представленных на данной территории слабых водонасыщенных грунтов с точки зрения опасности их сейсмогенного разжижения весьма актуальна.

Согласно выводам работ [Чернов Ю., Чернов А., 2007; Чернов, 2016] сейсмогенное разжижение грунтов вызывается совместным действием двух факторов: а) инженерно-геологическими и физико-механическими свойствами самих грунтовых массивов (и условиями их залегания), обуславливающими «склонность» или пониженную сопротивляемость этих грунтов разжижению при интенсивных сейсмических воздействиях и б) наличием в данном месте таких сейсмических воздействий, которые способны инициировать процессы разжижения в грунтах данного типа с заданным потенциалом разжижения. Вклад или удельный вес каждого из этих двух факторов в каждом конкретном месте может быть различным и определяется региональными и локальными сейсмогеологическими условиями конкретной площадки. Так, например, даже очень слабые грунты с весьма низкой степенью сопротивления разжижению, но находящиеся в спокойном в сейсмическом отношении месте могут не иметь большой вероятности разжижения в проектный промежуток времени. И, наоборот, грунты с относительно высокими прочностными характеристиками, которые в меньшей степени «склонны» к разжижению, но находятся в местах с высокой сейсмической активностью, могут иметь достаточно высокую вероятность разжижения [Чернов Ю., Чернов А., 2007; Чернов, 2016].

Таким образом, для надежного прогнозирования опасности сейсмогенного разжижения грунтов в пределах рассматриваемого участка необходимо выполнить:

- 1) Определение физико-механических и иных параметров грунтового массива и оценку на этой основе степени устойчивости данных грунтов к разжижению в условиях сейсмических воздействий.
- 2) Определение параметров сейсмических воздействий, которые можно ожидать в данном месте в заданный промежуток времени.

Исходные данные и методика исследований

В отечественной и мировой практике изучения потенциальных сейсмических опасностей (к которым относится и сейсмогенное разжижение грунтов) действует общий принцип, требующий, чтобы такие исследования выполнялись в два этапа: 1 – предварительное исследование (на качественном уровне) и 2 – количественная оценка.

Предварительное исследование должно включать в себя обзор соответствующих топографических, геологических и геотехнических данных, сведений об уровнях грунтовых вод, данные о сильных землетрясениях и исторические данные о процессах разжижения, наблюдавшихся ранее в данном месте, а также другую опубликованную и неопубликованную информацию, имеющую отношение к данной теме. Цель предварительных исследований – определить для исследуемого участка не имеет ли он совсем никакого потенциала или имеет достаточно низкий потенциал сейсмогенного разжижения.

Если предварительное исследование ясно демонстрирует отсутствие опасностей разжижения, то дальнейшее изучение возможности разжижения в данном месте обычно не проводится. В противном случае необходимо сделать количественную оценку опасности сейсмогенного разжижения грунтов.

Наличие или отсутствие на изучаемой площадке потенциальной опасности сейсмогенного разжижения и, соответственно, необходимости дальнейшей количественной оценки этой опасности, могут быть определены в соответствии с «Рекомендованными процедурами для анализа и уменьшения опасности разжижения», разработанными Южно-Калифорнийским Центром Землетрясений [Martin, Lew, 1999].

Используются следующие критерии определения условий, при которых сейсмогенное разжижение не происходит:

1) если оценка максимально-высокого (как в прошлом, так и в настоящем и в будущем) уровня грунтовых вод глубже 15 метров от дневной поверхности, то количественные оценки разжижения не требуются.

2) если коренные скальные и полускальные или подобный им сцементированный материал составляют инженерно-геологическую основу участка, то эти породы можно считать не разжижаемыми и нет необходимости проводить их анализ на потенциал разжижения.

3) если стандартный пенетрационный тест (SPT), дает скорректированное число ударов (N_{160}), большее или равное 30 и число тестов при этом достаточное, то количественной оценки разжижения не требуются. Если тест пенетрации конусом (cone penetration test или CPT) производится в песчаном грунте, то скорректированное сопротивление головки конуса, q_{cN1} , для не разжижаемых грунтов должно быть при всех пробоотборах больше или равным 160.

4) если в разрезе исследуемого участка появляются глинистые грунты, то эти грунты обычно рассматриваются как не разжижаемые. При предварительном анализе можно принять что глинистые грунты – это грунты с содержанием глины (размер частиц $<0,005$ мм) более 15%. Однако глинистый грунт, отвечающий так называемым «китайским критериям» [Wang, 1979] может быть способен к значительной потере прочности в результате разжижения в случае, если он обладает следующими свойствами:

- процент частиц глины размером $<0,005$ мм в общем объеме грунта менее 15%;
- предел текучести (или влажность на границе текучести – W_L) менее 35%;
- содержание воды больше, чем $0,9 \cdot S_r$ (коэффициент водонасыщения).

В условиях интенсивных сейсмических воздействий наиболее опасными являются водонасыщенные мелкие пески современных отложений (не обладающих

цементацией), с маленькими коэффициентами фильтрации и залегающие в толщах большой мощности [Маслов, 1982; Seed, 1979]. С уменьшением размера песчаных частиц и увеличением процента глинистой фракции появляется сцепление, затрудняющее развитие разжижения [Robertson, Campanella, 1985a, b; Seed et al., 1983; Tokimatsu, Seed, 1987].

По определениям из [Martin, Lew, 1999] изучаемый участок может быть отнесен к зоне возможного разжижения по следующим одному или более признакам:

1) участок относится к области, где сейсмогенное разжижение уже происходило в историческом прошлом.

2) на участке развиты неуплотненные или плохо уплотненные отложения, насыщенные водой, почти насыщенные или предположительно могущие стать насыщенными водой в проектный период времени.

3) достаточные геотехнические данные и исследования указывают, что грунт потенциально восприимчив к разжижению.

Для участков, где геотехнических данных нет или недостаточно, потенциально опасные зоны выделяются с использованием следующих одного или более критериев:

а) грунты представлены отложениями позднего Голоцена (возраст менее 1000 лет, современные русла рек и их исторические поймы, болота, и устья), где уровень грунтовых вод менее 15 метров от дневной поверхности, а ожидаемые пиковые ускорения грунта при землетрясениях (PGA) с вероятностью 0,10 не превысят 0,1g в течение 50 лет.

б) грунты представлены отложениями Голоцена (возраст менее 11000 лет), где уровень грунтовых вод менее чем 10 метров от дневной поверхности и ожидаемые пиковые ускорения грунта при землетрясениях (PGA) с вероятностью 0,10 не превысят 0,2g в течение 50 лет.

в) грунты представлены отложениями позднего Плейстоцена (возраст 11000-15000 лет до н. э.), где уровень грунтовых вод менее 6-7 метров от дневной поверхности, а ожидаемые пиковые ускорения грунта при землетрясениях (PGA) с вероятностью 0,10 не превысят 0,3g в течение 50 лет.

Использованы также критерии выделения восприимчивых или «склонных» к разжижению грунтов, предложенные в [Tinsley et al., 1985].

Так как метод SPT (или CPT) в условиях грунтов изучаемой территории пока не реализован для оценки возможного разжижения грунтов, в качестве альтернативного применен также метод поперечных сейсмических волн. Критерием разжижения (или не разжижения) в данном случае выступает, соответственно, превышение (или не превышение) скоростями поперечных сейсмических волн пороговых или критических значений, которые, в данном случае, приняты $V_s=250$ м/с.

Традиционно для оценки разжижения рассматривается мощность изучаемой грунтовой толщи до глубин порядка 15 м. В то же время, иногда такая глубина, может, оказаться недостаточной. Так, например, выполненные на северо-восточном шельфе Сахалина, а также в акватории Татарского пролива расчетные оценки показали возможность разжижения до глубин ~ 25-40 м [Ранкс, 1990; Чернов Ю., Чернов А., 2007]. В районе г. Сочи мощность потенциально разжижаемой толщи также оценивается 25-30 м [Чернов Ю., Чернов А., 2007]. С учетом этого в настоящих исследованиях анализируются грунты до глубины 35 м.

В качестве исходных материалов использованы данные об инженерно-сейсмогеологических характеристиках и физико-механических свойствах грунтов изучаемого участка, полученные в процессе строительных изысканий, выполненных ООО «Изыскатель» (г. Ставрополь) в 2008-2009 гг.

Согласно результатам этих работ в верхней 30-метровой части разреза выделены следующие типы грунтов:

1) техногенный грунт, tQ_{IV} и почва суглинистая, $pedQ_{IV}$ – ИГЭ-1 и ИГЭ-2, соответственно.

2) глина легкая пылеватая, полутвердая (делювиально-оползневые накопления), $d-dpQ_{IV}$ – ИГЭ-3.

3) суглинок тяжелый, полутвердый (древние оползневые накопления, dpQ_{III-IV} – ИГЭ-4.

4) суглинок тяжелый пылеватый, твердый (древние оползневые накопления, dpQ_{III-IV} – ИГЭ-5.

УПВ с учетом возможного его подъема принят равным 0,0 м.

В процессе настоящих исследований измерение скоростей поперечных сейсмических волн (V_S) не производилось. Поэтому для их определения использованы полученные ранее данные по измерениям скоростей продольных волн (V_P) и соотношений V_P/V_S для песчано-глинистых пород четвертичного возраста высокой и средней степени водонасыщения в Ставропольском крае и других регионах (табл. 1).

Непосредственно на исследуемом участке в районе поселка Кудепста сейсмо-разведочным методом КМПВ произведены оценки скоростей продольных волн. По результатам этих исследований (т. е. по прямым измерениям «*insitu*») получены следующие значения скоростей продольных волн:

для ИГЭ-1 и ИГЭ-2 – $V_P=650$ м/с;

для ИГЭ-3 – $V_P=1150$ м/с;

для ИГЭ-4 – $V_P=1800$ м/с;

для ИГЭ-5 – $V_P=2350$ м/с.

По этим данным с учетом приведенного в таблице 1 соотношения $V_P/V_S = 3,33$ рассчитаны значения скоростей поперечных волн (V_S), приведенные в таблице 2 в скобках.

Для ИГЭ-3, ИГЭ-4 и ИГЭ-5 эти значения являются заведомо завышенными, т. к. в этих оползневых грунтах в значительных объемах содержатся фрагменты скальных пород, имеющих значительно более высокие скорости поперечных волн, чем глины и суглинки. Приняв, что в среднем скорости поперечных волн в песчаниках ~ в 2,6 раза выше, чем в четвертичных глинах [см. Штейнберг и др., 1993], а количество скальных фрагментов составляет ~ 25% от общего объема грунтовой толщи, получим понижающий коэффициент для полученных «*insitu*» значений V_S , равный 1,40. Скорректированные таким образом значения V_S приведены в таблице 2 без скобок и используются в дальнейшем анализе.

Так как ни один из существующих методов анализа [Чернов Ю., Чернов А., 2007] не дает абсолютных по точности и надежности оценок возможности разжижения рассматриваемых грунтов (особенно на предварительной стадии, качественного анализа), для повышения достоверности получаемых результатов применено комплексирование нескольких методов, дополняющих и корректирующих друг друга.

Таблица 1 / Table 1.

Значения скоростей продольных волн (V_p) и отношений скоростей продольных и поперечных волн (V_p/V_s), измеренные в песчано-глинистых отложениях верхнечетвертичного возраста. УПВ < 3 м от дневной поверхности / Values of the velocities of the primary waves (V_p) and the ratios of the velocities of the primary and shear waves (V_p/V_s), measured in sandy-argillaceous sediments of the Upper Quaternary age. The groundwater level < 3 m from a day surface

No	V_p м/с	V_p/V_s	Источник / Source
1	985	3,81	Данные ОАО «СтавропольТИСИЗ» / Data of Public Corporation «Stavropol TISIZ»
	1024	3,00	
2	909	3,92	Данные ОАО «СтавропольТИСИЗ» / Data of Public Corporation «Stavropol TISIZ»
	1498	3,59	
3	1037	4,43	Данные ОАО «СтавропольТИСИЗ» / Data of Public Corporation «Stavropol TISIZ»
	1560	4,04	
4	983	2,83	Данные ОАО «НПИГЦ» / Data of Public Corporation «NP IGC»
5	924	2,62	Данные ОАО «НПИГЦ» / Data of Public Corporation «NP IGC»
6	950	2,60	Данные ОАО «НПИГЦ» / Data of Public Corporation «NP IGC»
7	1180	2,92	Данные ОАО «НПИГЦ» / Data of Public Corporation «NP IGC»
	1240	2,96	
8	956	2,87	Данные ОАО «СКИГЦ» / Data of Public Corporation «SC IGC»
	862	2,99	
	973	3,22	
	734	3,05	
8	1153	2,77	Данные ОАО «СКИГЦ» / Data of Public Corporation «SC IGC»
	709	3,22	
	1300	3,50	
	697	3,04	
10	702	3,36	Данные ОАО «СКИГЦ» / Data of Public Corporation «SC IGC»
	707	3,29	
11	1260	2,44	Данные ОАО «СКИГЦ» / Data of Public Corporation «SC IGC»
	868	2,55	
12	1450	3,22	Данные ОАО «СтавропольТИСИЗ» / Data of Public Corporation «Stavropol TISIZ»
13	800	2,50	[Кригер и др., 1994] / [Krieger et al., 1994]
	1200	3,00	
	2000	4,11	
	2200	4,18	
14	1100 (700–1500)	3,88 (2,85–5,90)	[Штейнберг и др., 1993] / [Steinberg et al., 1993]
15	1100	3,67	[Чернов, Соколов, 1991] / [Chernov, Sokolov, 1991]
16	1290	3,50	[Справочник по инженерной..., 1974] / [Engineering reference book ..., 1974]
17	1126 (320)	3,33 (0,54)	Среднее значение (стандартное отклонение) / Mean (standard deviation)

Результаты и обсуждение

В таблице 2 сведены результаты определения возможности разжижения (на качественном уровне) для вышеуказанных типов грунтов с использованием различных критериев и методов.

Оценка возможности разжижения дается в следующих четырех градациях:

- «да» (определенно возможно);
- «нет» (определенно невозможно);
- «да-нет» (скорее возможно, чем невозможно);
- «нет-да» (скорее невозможно, чем возможно).

Специальные оценки пиковых ускорений грунта настоящими исследованиями не предусмотрены. Поэтому для оценок PGA , приведенных в таблице 2 использованы значения вероятной макросейсмической интенсивности (балльности MSK) сотрясений (I), рекомендуемые действующими СНиП [Свод правил..., 2011, 2014].

Так как в настоящем исследовании производится наименее точная (предварительная) оценка, на данном этапе расчетная сейсмичность изучаемого участка принята соответствующей объектам массовой застройки, т. е. для среднего периода повторяемости $t=500$ лет (или для вероятности превышения за проектный период 50 лет $P_{50}=0,10$) – $I=8$ баллов MSK для средних грунтовых условий [Свод правил..., 2011, 2014; Комплект..., 1999]. Пересчет этого значения балльности в PGA по соотношению, рекомендованному Картой ОСР [Комплект..., 1999], дает $PGA \approx 280$ см/с. Пересчет по соотношениям из [Чернов Ю., Чернов А., 2017; Аптикаев, 2001; Atkinson, Sonley, 2000; Wald et al., 1999] дает $PGA \approx 280$ см/с, 282 см/с, 350 см/с и 436 см/с, соответственно. Так как «реальные» грунты, представленные в верхней 10-метровой толще разреза за счет высокого прогнозного УПВ ($\approx 0,0$ м) по сейсмическим свойствам несколько хуже, чем «средние» грунты (для которых получены вышеприведенные оценки I и PGA), то к ним применен повышающий коэффициент $K \approx 1,15$. Результирующие оценки (интервал значений и среднее), которые используются в дальнейшем анализе приведены в таблице 2.

Как видно из приведенных в таблице 2 частных определений по отдельным критериям полученные результаты, хотя во многих случаях и указывают на относительно благоприятный прогноз с точки зрения возможности разжижения грунта при сильном землетрясении, тем не менее, не обладают полной однозначностью. Однозначно можно только сделать вывод о восприимчивости к разжижению верхней 2-3-хметровой грунтовой толщи (ИГЭ-1, ИГЭ-2) при условии поднятия УПВ до дневной поверхности, (что уже наблюдалось в прошлом).

Для второго от поверхности слоя (ИГЭ-3) **формально** три из четырех оценок указывают на восприимчивость к сейсмогенному разжижению грунтов данного типа. Но тут нужно учитывать разную степень информативности каждого из методов. Наиболее информативным для данного случая является метод «китайских критериев». Согласно этому методу грунт может считаться восприимчивым к разжижению при положительном ответе (т. е. «да» по нашей терминологии) по всем трем используемым критериям. Поэтому метод «китайских критериев» **формально** дает отрицательный ответ о возможности разжижения. Однако, при детальном рассмотрении видно, что параметр для второго «китайского критерия» W_L только по нормативным (т. е. средним) значениям немного превышает критический уровень 35%. При этом примерно в 30-40% случаев W_L может быть и меньше 35%, что свидетельствует в пользу разжижения в этих случаях. Единственным из трех «китайских

Таблица 2 / Table 2.

Грунт / Soil	«Китайские критерии» / «Chinese criteria»				Возрастотложений / The age of the deposits		Скорость V_s , м/с / Velocity V_s , m/s		PGA , см/с/с / PGA , sm/s/s	
	Характеристика грунта / Soil characteristics		Оценка разжижения / Evaluation liquefactions		Характеристика грунта / Soil characteristics	Оценка возмож. разжижения / Evaluation possible liquefactions	Характеристика грунта / Soil characteristics	Оценка возмож. разжижения / Evaluation possible liquefactions	Характеристика грунта / Soil characteristics	Оценка возмож. разжижения / Evaluation possible liquefactions
	Параметр / Parameter	Значение параметра / Value of parameter	Индивидуальная / Individual	Общая / General						
ИГЭ-1 / IGE-1 ИГЭ-2 / IGE-2	Частиц <0,005 мм / Particles<0,005mm	3,7 (2,84-4,44)	да / yes	да-нет / yes-no	Q _{IV}	да / yes	195 (195)	да / yes	390 (300–500)	да / yes
	W _L , %	41,9 (35,3-49,7)	нет / no							
	Sr, д. ед.	0,76 (0,69-0,79)	да / yes							
	Частиц <0,005 мм / Particles<0,005mm	36,4 (15,5-47,5)	нет / no							
ИГЭ-3 / IGE-3	W _L , %	39,6 (29,5-50,6)	нет-да / no-yes	нет-да / no-yes	Q _{IV}	да / yes	246 (383)	да / yes	390 (300–500)	да / yes
	Sr, д. ед.	0,93 (0,82-1,00)	да / yes							
	Частиц <0,005 мм / Particles<0,005mm	29,54 (8,5-44,0)	нет-да / no-yes							
	W _L , %	35,3 (27,1-42,3)	да-нет / yes-no							
ИГЭ-4 / IGE-4	Sr, д. ед.	0,85 (0,74-0,94)	да / yes	да-нет / yes-no	Q _{III-IV}	нет-да / no-yes	386 (541)	нет / no	390 (300–500)	нет-да / no-yes
	Частиц <0,005 мм / Particles<0,005mm	38,8 (18,8-53,3)	нет / no							
	W _L , %	34,5 (31,6-39,7)	да / yes							
	Sr, д. ед.	0,89 (0,73-0,99)	да / yes							
ИГЭ-5 / IGE-5	Частиц <0,005 мм / Particles<0,005mm	38,8 (18,8-53,3)	нет / no	да-нет / yes-no	Q _{III-IV}	нет / no	504 (706)	нет / no	390 (300–500)	нет / no
	W _L , %	34,5 (31,6-39,7)	да / yes							
	Sr, д. ед.	0,89 (0,73-0,99)	да / yes							
	Частиц <0,005 мм / Particles<0,005mm	38,8 (18,8-53,3)	нет / no							

критериев», **формально** полностью удовлетворяющим условиям невосприимчивости к разжижению является первый критерий – процентное содержание глинистых частиц. Но и здесь нижняя граница содержания таких частиц в отдельных образцах практически совпадает с критическим значением, принятым равным 15%. Если же учесть, что сами определения процентного содержания обладают определенной погрешностью, то некоторое количество образцов могло в действительности иметь этот показатель и меньше 15%. Кроме того в литературе [Аналитический обзор..., 2007] имеются примеры, когда содержание глинистых частиц в потенциально разжижаемых песчано-глинистых породах повышалось до 20%. Учитывая изложенное, данному типу грунта по методу «китайских критериев» присвоена категория разжижаемости не «определенно невозможно» (как следует из формального анализа), а «скорее невозможно, чем возможно».

Сходная логика применена и в отношении двух нижележащих слоев – ИГЭ-4 и ИГЭ-5 и в отношении трех других методов оценки восприимчивости к разжижению.

Результирующая оценка, может быть представлена как средневзвешенное значение по всем четырем методам. Для этого оценкам «да» и «нет» приписаны значения 1,00 и 0,00, соответственно. Оценкам «да-нет» и «нет-да» – соответственно 0,75 и 0,25. Так как метод «китайских критериев» в данном случае является основным, а три других вспомогательными, принято, что его вес в два раза превышает суммарный вес всех трех вспомогательных методов, т. е. оценке по «китайским критериям» придан вес равный 6, а оценкам по каждому из трех остальных методов – вес равный 1.

При такой системе весов получены следующие оценки возможности разжижения:

- для грунта ИГЭ-1, ИГЭ-2-1,00 (или «да» по нашей терминологии);
- для грунтов ИГЭ-3-0,50 (или оценка, расположенная между «нет-да» и «да-нет» по нашей терминологии);
- для грунтов ИГЭ-4-0,22 (или оценка, расположенная между «нет-да» и «нет» по нашей терминологии);
- для грунтов ИГЭ-5-0,17 (или оценка, расположенная между «нет-да» и «нет» по нашей терминологии).

Вышеописанные результаты, полученные на данной предварительной стадии изучения (в условиях ограниченности имеющейся информации и с использованием упрощенных процедур анализа) можно интерпретировать следующим образом:

1) Грунты ИГЭ-1, ИГЭ-2 определенно восприимчивы к разжижению, т. е. сейсмогенное разжижение этих грунтов возможно. Поэтому для этих грунтов нужно сделать дальнейшие количественные оценки (см. выше).

2) Грунты ИГЭ-4, ИГЭ-5 определенно не восприимчивы к разжижению, т. е. сейсмогенное разжижение этих грунтов невозможно. Поэтому для этих грунтов не нужен дальнейший количественный анализ.

3) Грунты ИГЭ-3 в одинаковой степени могут оказаться как восприимчивыми, так и не восприимчивы к разжижению. Для этих грунтов, учитывая тяжесть возможных последствий недооценки опасности сейсмогенного разжижения (когда ошибка типа «пропуска цели» намного опаснее ошибки типа «ложная тревога»), так же, как и в случае грунтов ИГЭ-1, ИГЭ-2 для окончательного решения необходимо выполнить дальнейший количественный анализ.

Заключение

Выполненный предварительный анализ потенциальной восприимчивости грунтов изучаемого участка к сейсмогенному разжижению показал следующее:

1. Однозначно к потенциально разжижаемым и не разжижаемым грунтам в условиях изучаемой площадки могут быть отнесены грунты ИГЭ-1 и ИГЭ-4, ИГЭ-5, соответственно.

2. В отношении грунтов ИГЭ-3 пока нет достаточных данных для однозначного вывода о степени их восприимчивости к сейсмогенному разжижению.

3. Учитывая важность грунтов ИГЭ-3, обычно служащих основанием и вмещающих подземные части проектируемых здесь зданий (до глубины ~ 6 м от дневной поверхности) рекомендуется для данного участка провести дополнительные исследования в целях получения более точных количественных оценок следующих показателей:

- потенциала сейсмогенного разжижения (т.е. уровня циклических нагрузок, вызывающих разжижение) грунтов верхней части разреза;

- вероятных сейсмических воздействий, определяющих эти циклические нагрузки в условиях изучаемой площадки;

- мощности потенциально разжижаемой толщи.

4. При проведении дальнейших количественных исследований предусмотреть:

- специальные оценки прочностных свойств исследуемых грунтов полевыми или лабораторными методами (SPT или CPT, трехосные циклические испытания и др.);

- расчеты вероятных пиковых ускорений, длительностей основной фазы и спектров колебаний грунта на дневной поверхности и глубине;

- количественные детерминистские и вероятностные оценки возможности сейсмогенного разжижения грунтов на разных глубинах.

5. Учитывая, что в российской практике кондиционные оценки сейсмогенного разжижения грунтов пока не являются рутинными, опыт настоящих исследований может быть полезен для проведения подобных инженерно-сейсмологических исследований в других районах.

Литература

1. Аналитический обзор и выбор методов прогнозирования сейсмогенного разжижения грунтов в зоне железнодорожного перехода через пролив Невельского (стадия обоснования инвестиций) // Отчет об инженерно-сейсмологических изысканиях. ОАО «СтавропольТИСИЗ». – Ставрополь. – 2007. – 200 с.

2. Аптикаев Ф. Ф. Сильные движения грунта при землетрясениях (сейсмические воздействия) // Автореф. дисс. на соискание ученой степени доктора наук. – М.: ОИФЗ РАН, 2001. – 47 с.

3. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах // Министерство науки и технологий, Российская Академия наук, Объединенный Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта. М. – 1999. – 57 с.

4. Маслов Н. Н. Основы инженерной геологии и механики грунтов. – М.: Высшая школа, 1982. – 345 с.

5. Ранкс К. А. Оценка возможности разжижения песчаных грунтов шельфа при сейсмических воздействиях по данным статического зондирования // В кн.: Сейсмическое районирование шельфа. – Владивосток: ДВО АН СССР, 1990. – С. 138-148.

6. Свод правил СП 14.13330.2011. Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция. СНиП II-7-81*М. Министерство регионального развития Российской Федерации. – М. – 2011. – 75 с.
7. Свод правил СП 14.13330.2014. Строительство в сейсмических районах. СНиП II 7-81*М. Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М. – 2014. – 126 с.
8. Чернов Ю.К., Чернов А.Ю. Сейсмогенное разжижение грунтов (предварительные оценки для некоторых участков территорий Дальнего Востока и Юга России. // Инженерная геология. Декабрь 2007 г. – М. – 2007. – С. 34-44.
9. Чернов Ю.К., Чернов А.Ю. Модели для описания связи пикового ускорения с макросейсмической балльностью сотрясений грунта // Геология и геофизика Юга России. – 2017. – №3. – С. 117-124.
10. Чернов А.Ю. Геоэкологическая оценка сейсмической опасности и риска на примере застраиваемых территорий центрального Предкавказья // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – Ставрополь. – 2016. – 160 с.
11. Штейнберг В.В., Сакс М.В., Аптикаев Ф.Ф. и др. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие). // Вопросы инженерной сейсмологии. Вып. 34. – М.: Наука, 1993. – С. 5-94.
12. Atkinson G. M., Sonley E. Empirical Relationships between Modified Mercalli Intensity, and Response Spectra // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2000. – Vol. 90. – Pp. 533-544.
13. Martin G. R., Lew M. Recommended procedures for implementation of DMG Special publication 117 guidelines for analyzing and mitigating liquefaction in California // Southern California Earthquake Center University of Southern California. – March 1999. – 63 p.
14. Robertson P.K. and Campanella R. G. Liquefaction Potential of Sands Using the Cone Penetration Test // Journal of the Geotechnical Division, ASCE. – 1985a. – Vol. III. No. 3. – Pp. 298-307.
15. Robertson P.K., Campanella R.G. Liquefaction potential of sands using the CPT // Journal of Geotechnical Engineering. – 1985b. – Vol. 133. No. 3. – Pp. 446-457.
16. Seed H.B. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes // Journal of the Geotechnical Engineering Division. – 1979. – Vol. 92. No. GT2. – Pp. 201-255.
17. Seed H.B., Idriss I.M., Arango I. Evaluation of liquefaction potential using field performance data // Journal of Geotechnical Engineering. – 1983. – Vol. 109. No. 3. – Pp. 458-483.
18. Tinsley J. C., Youd T. L., Perkins D. M. and Chen A. T. F. Evaluating Liquefaction Potential // Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region: An Earth-Science Perspective. U.S. Professional Paper 1360. – 1985. – Pp. 263-316.
19. Tokimatsu K., Seed H. B. Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking // Journal of Geotechnical Engineering. – 1987. – Vol. 113. No. 8. – Pp. 861-878.
20. Wald D. J., Quitoriano V., Heaton T. N., Eeri M. and Kanamori H. Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California // Earthquake Spectra. – August 1999. – Vol. 15. No. 3. – Pp. 557-564.
21. Wong W. Some Finding in Soil Liquefaction // Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute Beijing, China. – 1979. – 34 p.

GEOFYSICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788

A preliminary analysis of the ability of seismic liquefaction of soils (for example, water-saturated sandy-clay deposits in Kudepsta village, Adler district of Sochi)

Yu. K. Chernov, Dr. Sci. (Phys.-Math.), Prof.

Geophysical institute Vladikavkaz Scientific Center Russian Academy of Sciences,
93aMarkova Str., Vladikavkaz362002, Russia
e-mail: chenta-26@mail. ru

Abstract. The territory of Sochi belongs to the 9-point seismicity zone according to the MSK-64 scale. Under the conditions of flooded sands and soft plastic loams, an earthquake can reach 10-point seismicity, which can create a very serious situation for the urban infrastructure.

Using the example of soil analysis of the settlement of Kudepsta (the area of Big Sochi), a preliminary stage of risk assessment of liquefaction of weak water-saturated sediments under the influence of possible strong earthquakes is described. Prediction of the stability of various soil complexes to seismogenic liquefaction is made at a qualitative level, i. e. it is shown in principle is liquefaction possible or not. A quantitative assessment of this possibility (probability) is not made. A description of the sequence, content and the results performed during the analysis of procedures is given. In particular, it is shown that under the conditions of the studied area the soil and the loam with a thickness of 2-3 m can be classified as potentially liquefied soils. The loam lying at a depth of 5-10 m is considered to be practically non-liquefiable. Soils at intermediate depths require an additional study. The obtained data will be used in the further (quantitative) assessment of the probability of seismogenic liquefaction of the studied soils and the thickness of a potentially liquefied stratum.

Seismic liquefaction of weak flooded soils during earthquakes, as a rule, manifests itself in the form of instantaneous precipitation and, as a result, massive destruction of buildings. Such earthquakes are characterized by cracks in the earth's crust up to a meter wide, landslides and avalanches from the slopes, the destruction of stone buildings, the deformation of railway rails. Tectonic fragmentation of the region, rugged relief, excessive water cut contribute to the manifestation of large-scale landslides. In the zone of marine abrasion, there is a high probability of landslides associated with the destruction of port facilities. Over the past 100 years in this region earthquakes of more than 7 points occurred.

Keywords: strong earthquakes, seismogenic soil liquefaction, weak water-saturated soils, a thickness of a liquefied stratum, qualitative and quantitative analysis of soil liquefaction.

For citation: Chernov Yu. K. A preliminary analysis of the ability of seismic liquefaction of soils (for example, water-saturated sandy-clay deposits in Kudepsta village, Adler district of Sochi). *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 58-70. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788.

References

1. Analytical review and selection of methods for prognosis of seismogenic soil liquefaction in the area of the railway crossing through the Nevelsky Strait (investment justification stage). Report on engineering and seismic surveys. Public corporation «Stavropol'TISIZ». Stavropol. 2007. 200 p. (in Russ.)
2. Aptikaev F.F. Strong ground motions during earthquakes (seismic effects). Abstract of dissertation for the degree of Doctor of Science. M. OIFZ RAN, 2001. 47 p. (in Russ.)
3. A set of maps of the general seismic zoning of the territory of the Russian Federation OSR-97. Explanatory note and list of cities and settlements located in seismic areas. Ministry of

Science and Technology, Russian Academy of Sciences, United Institute of Physics of the Earth. O. Yu. Schmidt. Moskva. 1999. 57 p. (in Russ.)

4. Maslov N.N. Fundamentals of engineering geology and soil mechanics. M. Vysshaya shkola, 1982. 345 p. (in Russ.)

5. Ranks K.A. Assessment of the possibility of liquefaction of sandy soils of the shelf during seismic effects according to static sounding data. Seismic zoning of the shelf. Vladivostok: DVO AN SSSR, 1990. pp. 138-148. (in Russ.)

6. Svod pravil SP 14.13330.2011. Stroitel'stvo v seismicheskikh rajonah. Aktualizirovannaya redakciya. SNiP II-7-81*M. Ministry of Regional Development of the Russian Federation. – M. – 2011. – 75 p. (in Russ.)

7. The set of rules SP 14.13330.2014. Construction in seismic areas. SNiP II 7-81 * M. Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. M. 2014. 126 p. (in Russ.)

8. Chernov Yu. K., Chernov A. YU. Seismogenic soil liquefaction (preliminary estimates for some areas of the Far East and Southern Russia. Engineering geology. December 2007. M. 2007. pp. 34-44. (in Russ.)

9. Chernov Yu. K., Chernov A. Yu. Models for describing the relationship of peak acceleration to the macroseismic intensity of ground tremors. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2017. No. 3. pp. 117-124. (in Russ.)

10. Chernov A. Yu. Geoecological assessment of seismic hazard and risk on the example of built-up areas of central Ciscaucasia. Dissertation for the degree of candidate of technical sciences. Stavropol. 2016. 160 p. (in Russ.)

11. Shteinberg V. V., Saks M. V., Aptikaev F. F. et al. Methods for assessing seismic effects (manual). Problems of engineering seismology. Issue 34. M. Nauka, 1993. Pp. 5-94. (in Russ.)

12. Atkinson G. M., Sonley E. Empirical Relationships between Modified Mercalli Intensity, and Response Spectra. Bulletin of the Seismological Society of America. 2000. Vol. 90. Pp. 533-544.

13. Martin G. R., Lew M. Recommended procedures for implementation of DMG Special publication 117 guidelines for analyzing and mitigating liquefaction in California. Southern California Earthquake Center University of Southern California. March 1999. 63 p.

14. Robertson P. K. and Campanella R. G. Liquefaction Potential of Sands Using the Cone Penetration Test. Journal of the Geotechnical Division, ASCE. 1985a. Vol. III. No. 3. Pp. 298-307.

15. Robertson P. K., Campanella R. G. Liquefaction potential of sands using the CPT. Journal of Geotechnical Engineering. 1985b. Vol. 133. No. 3. Pp. 446-457.

16. Seed H. B. Soil liquefaction and cyclic mobility evaluation for level ground during earthquakes. Journal of the Geotechnical Engineering Division. 1979. Vol. 92. No. GT2. Pp. 201-255.

17. Seed H. B., Idriss I. M., Arango I. Evaluation of liquefaction potential using field performance data. Journal of Geotechnical Engineering. 1983. Vol. 109. No. 3. Pp. 458-483.

18. Seed H. B., Tokimatsu K., Harder L. F. and Chung, R. M. Influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Journal of Geotechnical Engineering. – 1985. – Vol. III. No. 12. – Pp. 1425-1445.

19. Tinsley J. C., Youd T. L., Perkins D. M. and Chen A. T. F. Evaluating Liquefaction Potential. Evaluating Earthquake Hazards in the Los Angeles Region: An Earth-Science Perspective. U. S. Professional Paper 1360. – 1985. – Pp. 263-316.

20. Tokimatsu K., Seed H. B. Evaluation of settlements in sands due to earthquake shaking. Journal of Geotechnical Engineering. – 1987. – Vol. 113. No. 8. – Pp. 861-878.

21. Wald D. J., Quitoriano V., Heaton T. N., Eeri M. and Kanamori H. Relationships between Peak Ground Acceleration, Peak Ground Velocity, and Modified Mercalli Intensity in California. Earthquake Spectra. – August 1999. – Vol. 15. No. 3. – Pp. 557-564.

22. Wong W. Some Finding in Soil Liquefaction. Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute Beijing, China. – 1979. – 34 p.

УДК 550.34

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26789

Сейсмическая опасность территории Армении: нормативные карты районирования. Предварительный вариант новой карты ОСР

В. Г. Григорян, к. ф.-м. н., Дж. К. Карапетян, к. г. н., К. С. Казарян,
к. ф.-м. н., Р. С. Саргсян, к. г. н.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им А. Назарова НАН РА,
Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5,
e-mail: g. vanand@rambler. ru

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы, связанные с общим сейсмическим районированием (ОСР) территории Армении, а также хронология создания карт ОСР. Показана некоторая противоречивость составленных в разные периоды нормативных карт.

Разработаны и внедрены национальные нормы по сейсмостойкому строительству – СНРА II-2.02.94, в которых, помимо традиционных баллов, опасность выражалась через ожидаемые максимальные значения ускорений грунтов A_{max} .

На основе существующих в настоящее время новых методов и технологий по оценке и картированию сейсмической опасности (сейсмического районирования) предлагается вариант вероятностной карты общего сейсмического районирования территории Армении в масштабе 1:500000. Карта составлена на базе моделей возможных очаговых зон с оценками сейсмических потенциалов (M_{max}) основных структурных элементов и сейсмического эффекта.

Предложенный вариант карты СМР территории Армении существенно отличается от действующей нормативной карты. На ней впервые выделена зона с ожидаемыми максимальными значениями ускорения грунта – 0,5 g.

Задача дальнейших исследований состоит в рассмотрении более сложных моделей пространственно-временного распределения очагов сильных землетрясений, более объективных и приемлемых с инженерной точки зрения количественных характеристик, определяющих характер и уровень ожидаемых воздействий и методов их картирования.

Так, в рамках общей научной программы по оценке сейсмической опасности и сейсмического риска, усовершенствования методов количественной оценки параметров сейсмических воздействий в ИГИС НАН РА ведутся исследования по рассмотрению задач с использованием, кроме традиционных (смещение, скорость, ускорение), также интегральных параметров колебаний, наиболее полно характеризующих энергию воздействия.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическое районирование, очаговая зона, сейсмическое воздействие, ускорение грунта.

Для цитирования: В. Г. Григорян, Дж. К. Карапетян, К. С. Казарян, Р. С. Саргсян Сейсмическая опасность территории Армении: нормативные карты районирования. Предварительный вариант новой карты ОСР // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 71-83. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26789.

Введение: история создания нормативных карт ОСР РА

За последние десятилетия существенно возросло внимание к вопросам землетрясений и сейсмической безопасности общества. Об этом свидетельствуют не

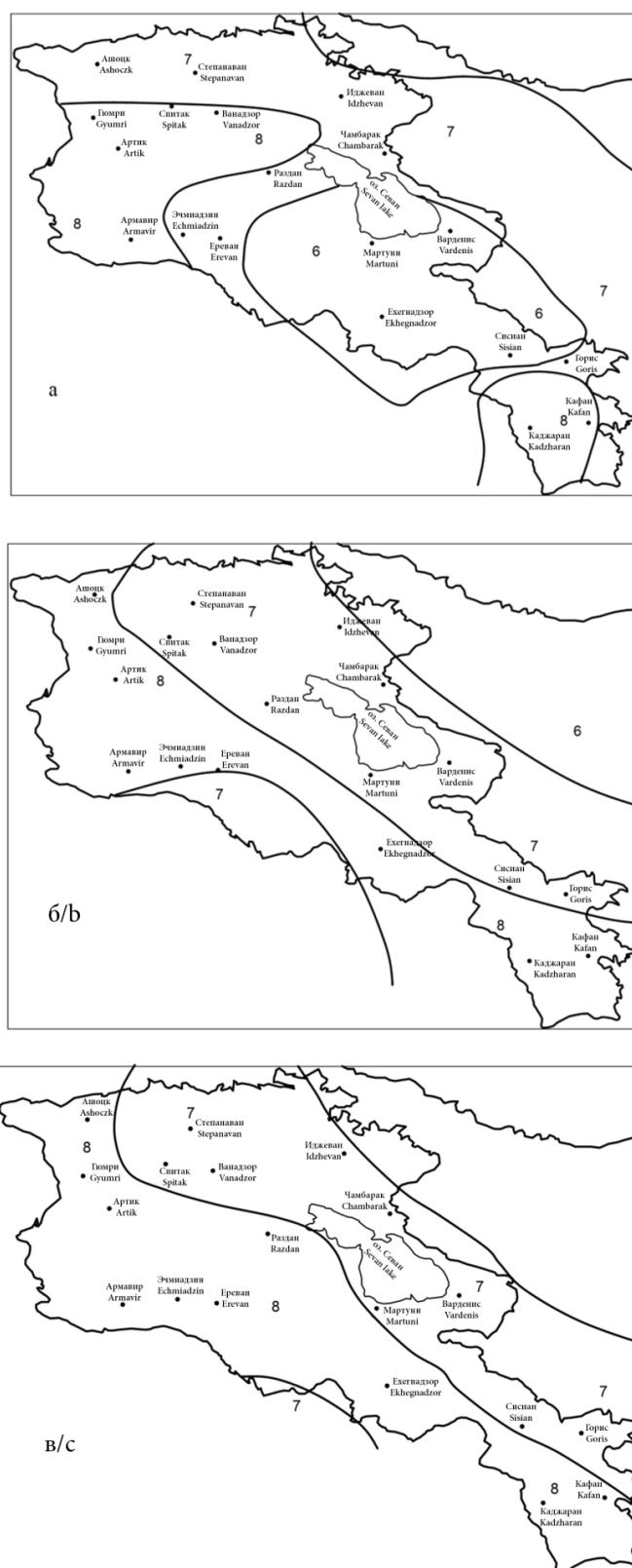


Рис. 1. Карты сейсмического районирования Армянской ССР по обзорным картам сейсмозонирования СССР: 1940-го года (а); 1949-го года (б); 1957-го года (в) /
 Fig. 1. Seismic zoning maps of the Armenian SSR compiles according to the maps of seismic zoning of the USSR: 1940 (a); 1949 (b); 1957 (c)

только национальные программы по изучению этой проблемы, но и большие усилия и инициативы различных международных гуманитарных организаций.

Упорядоченные научно-исследовательские работы, с целью создания карт сейсмического районирования территории бывшего СССР, начались в 40-е годы. Так, согласно сведениям, приведенным в [Медведев, 1969] впервые для практических целей антисейсмического строительства, сейсмическое районирование территории

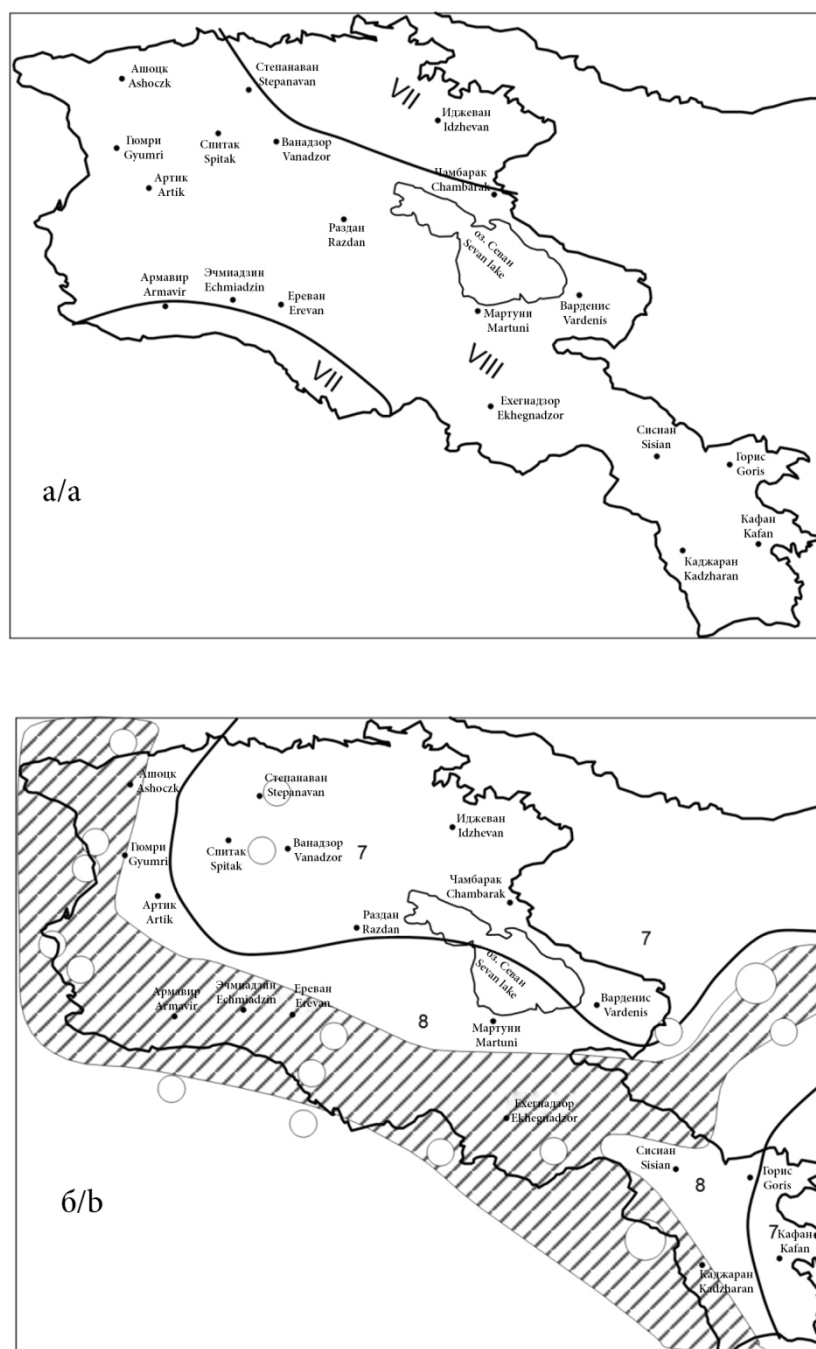


Рис. 2. Схематические карты сейсмического районирования территории Армянской ССР 1968-го года (а) и 1978-го года (б) /

Fig. 2. Schematic maps of seismic zoning of the territory of the Armenian SSR for 1968 (a), 1978 (b)

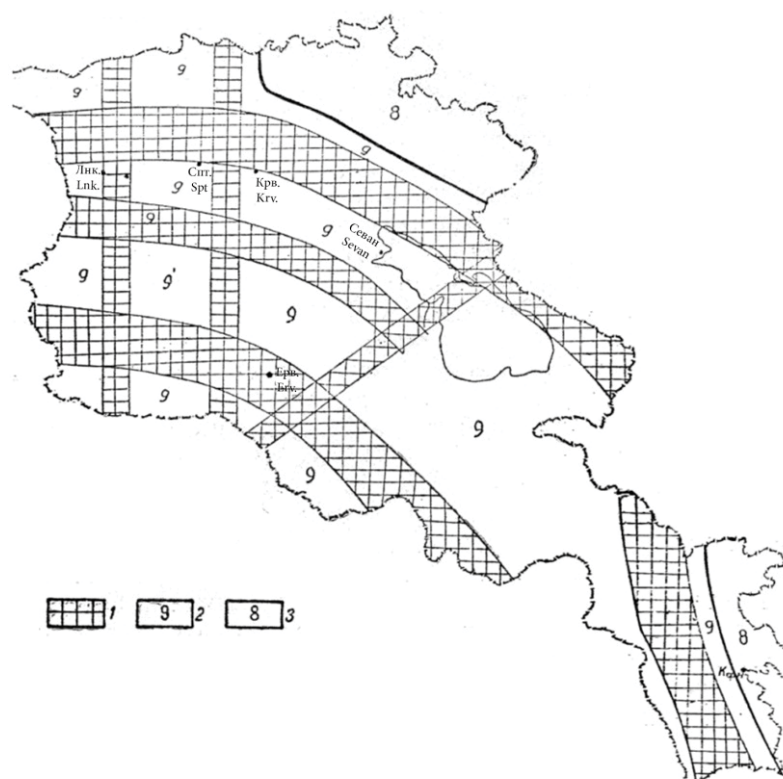


Рис. 3. Временная схема общего сейсмического районирования территории Армянской ССР [Габриелян и др., 1989] 1– зона ВОЗ: $M=6,7-7,0$, сотрясения в 9-10 баллов. Области сотрясений: 2 – в 9 баллов, 3 – в 8 баллов /

Fig. 3. Temporary scheme of the general seismic zoning of the territory of the Armenian SSR (Gabrielyan et al. 1989) 1. GSZ zone: $M = 6,7-7,0$, 9-10 intensity by MSK. Areas of shock: 2-9 intensity, 3-8 intensity



Рис. 4. Схематическая детерминистическая карта районирования территории Армении составленная в 1989 г. после Спитакского землетрясения 1988 г. (автор Шебалин Н. В. и др.) / Fig. 4. A schematic deterministic map of zoning for the territory of Armenia compiled in 1989 after the Spitak earthquake 1988 (author Shebalin N. V., etc.)

СССР было выполнено в Сейсмологическом институте АН СССР в 1937 г., и официально принятые схемы районирования вошли в Правила строительства в сейсмических районах.

Затем карты были опубликованы в 1949 и 1957 гг. Все они составлялись в масштабах 1:5000000, но опубликовались в еще меньших масштабах. Выкопировки из них в пределах Армянской ССР приведены на рисунке 1 (а – в) [Пирузян, 1969].

Картина, отражающая сейсмическую интенсивность на этих картах достаточно противоречива (впрочем, как и в последующих картах ОСР территории Армении).

С целью установления единого подхода к созданию карт сейсмического районирования территории союзных Республик была разработана и рекомендована «Инструкция по сейсмическому районированию».

Карта сейсмического районирования территории Армянской ССР 1968 г., составленная на основании сейсмогеологических, сейсмоструктурных, инженерно-сейсмологических и др. данных, была частью общей программы по созданию карт сейсмического районирования территории союзных Республик [Сейсмическое районирование..., 1968].

Отличие этой карты от карты сейсмического районирования 1957 г. заключалось в том, что была несколько расширена VIII-балльная область в северо-восточном направлении и введена узкая VII-балльная зона в юго-западной части.

Составленная по тому же принципу карта сейсмического районирования территории Армении 1978 г., отличалась от карты сейсмического районирования 1968 г. значительным смещением на юг границы 7- и 8-балльных зон, а также исключением узкой 7-балльной зоны южной части араксинской впадины и включением ее в 8-балльную зону [Сейсмическое районирование..., 1980].

Схематические карты сейсмического районирования территории Армянской ССР 1968-го и 1978-го годов представлены на рисунке 2 (а, б).

После катастрофического землетрясения 7 декабря 1988 г., происшедшего в Армении, с целью оперативного восстановления разрушенных городов и населенных пунктов в максимально сжатые сроки (практически к началу 1989 г.) составлена новая схематическая карта сейсмического районирования территории Армянской ССР [Габриелян и др., 1989]. Карта являлась временной и была составлена по специальной методике и легенде [Сейсмическое районирование..., 1980].

В том же 1989 году была подготовлена и рекомендована временная карта сейсмического районирования территории Республики в масштабе 1:500000 (автор Шебалин Н.В. и др.).

При составлении этих карт были широко использованы и учтены, помимо всего, результаты обследования последствий Спитакского землетрясения. Вся территория Республики, в отличие от предыдущих карт районирования, была покрыта зонами 8- и 9-балльной интенсивности (рис. 3, 4).

Новые методологии по построению карт ОСР

Варианты новых карт сейсмического районирования РА

В последние десятилетия во всем мире стали появляться все больше карт общего сейсмического районирования, на которых вместо традиционных баллов, ожидаемая сейсмическая опасность выражается в количественных показателях колебаний грунтов – чаще всего в ожидаемых максимальных значениях ускорений

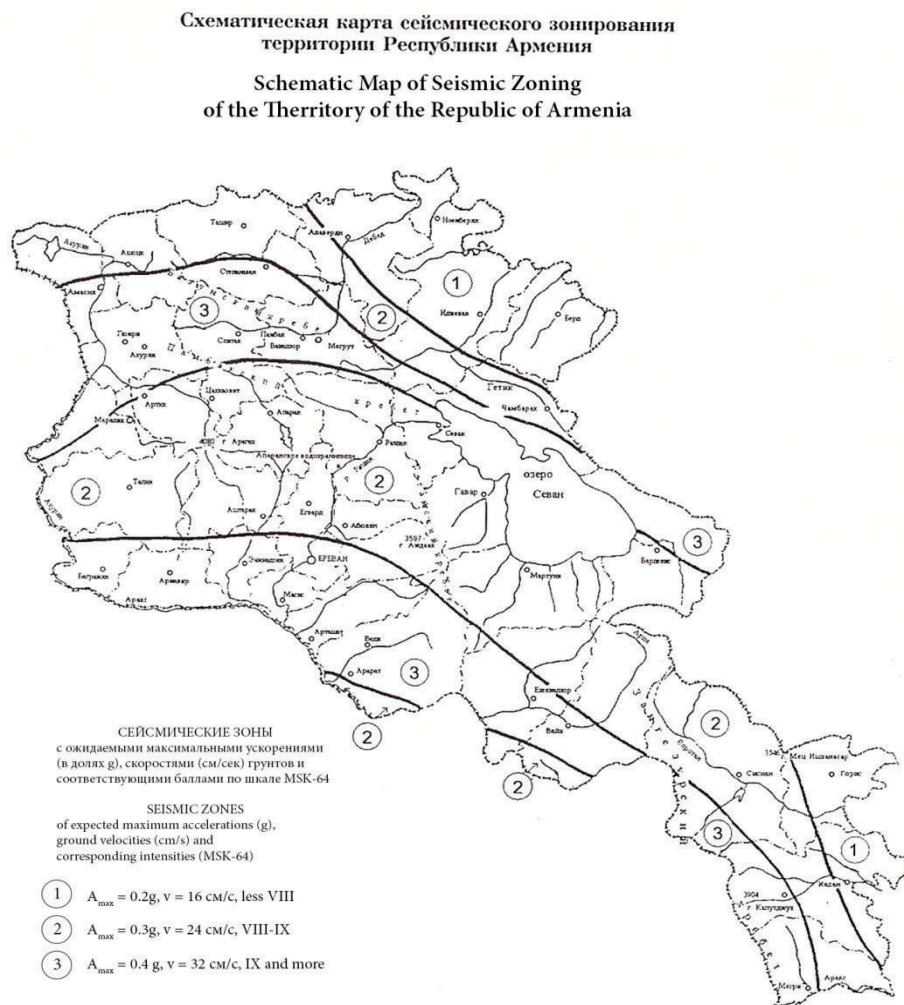


Рис. 5. Схематическая карта сейсмического зонирования территории Республики Армения /
Fig. 5. Schematic map of seismic zoning of the territory of the Republic of Armenia

грунта. Например, в Республике Армения, одной из первых среди стран СНГ, были разработаны и внедрены национальные нормы по сейсмостойкому строительству – СНРА II-2.02.94 (главный редактор Хачиян Э.Е. [СНРА, 2006]), в которых, помимо традиционных баллов, опасность выражалась через ожидаемые максимальные значения ускорений грунтов $A_{\max}$ (рис. 5).

Однако методология построения этой карты, предложенная группой специалистов ИГИС НАН РА, ИГН НАН РА, ЕГУ РА и др., в основном, оставалась прежней. Только в отличие от прежних карт, к зонам, соответствующим интенсивностям 8, 8-9 и 9 баллов, приписывались максимально ожидаемые значения ускорений грунта со значениями, соответствующими $A_{\max}$, приведенным в прежних (союзных) нормах (СНиП-81), т.е. для 8-ми баллов – 0,2 (g); 9-ти баллов – 0,4 (g) и вытекающее из этой арифметики значение 0,3 (g) для 8-9 баллов [СНиП, 1982].

В конце 80-х – начале 90-х годов прошлого столетия стали применяться новые разработанные методологии и подходы по оценке сейсмической опасности и, в частности, методы сейсмического районирования. Исследования по оценке сейс-

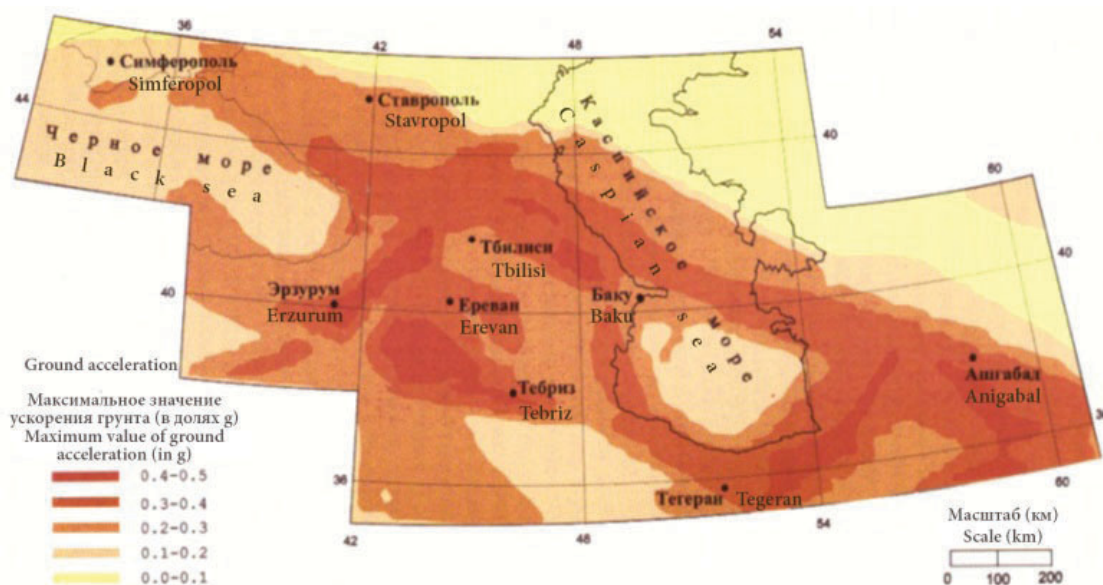


Рис. 6. Карта сейсмической опасности Кавказского региона /

Fig. 6. Seismic hazard map of the Caucasus region

мической опасности и сейсмическому районированию базировались на созданных двух взаимосвязанных моделях – модели очаговых зон и модели сейсмического эффекта [Уломов, 2008; Хачиян, 2008].

В 1990-1999 гг. по разработанным новым методологиям была составлена глобальная карта сейсмической опасности Земли в рамках международной программы «Глобальная оценка сейсмической опасности Земли» под эгидой ЮНЕСКО. На рисунке 6 приведен фрагмент этой карты – карта сейсмической опасности Кавказского региона (Крым – Кавказ – Копетдаг).

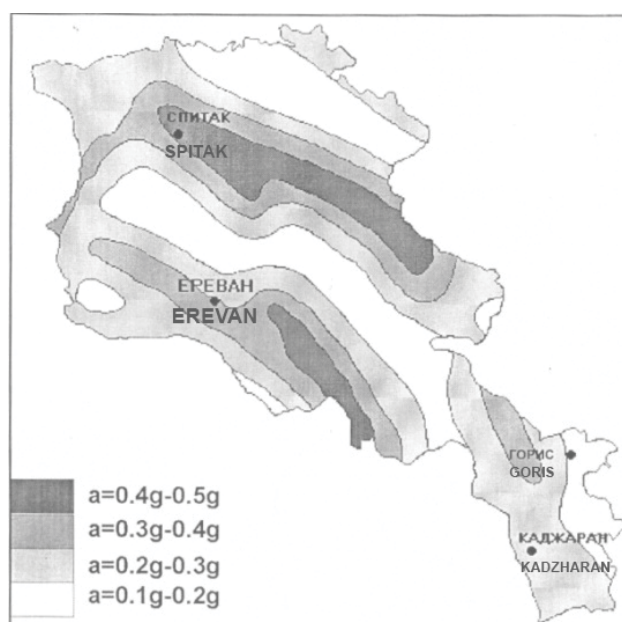


Рис. 7. Вероятностная карта сейсмического районирования территории Армении, предлагаемая НССЗ РА (1999 г.) /

Fig. 7. Probabilistic map of the seismic zoning of the territory of Armenia, proposed by the NSSP RA (1999).

Вариант вероятностной карты сейсмического районирования территории Армении в масштабе 1:500000, предлагаемый Национальной службой сейсмической защиты (НССЗ) РА, по сути, являлся детальным фрагментом карты сейсмической опасности территории Крым – Кавказ – Копетдаг (рис. 7) [Баласанян и др., 2004]. Она содержала существенные недостатки, поэтому, несмотря на стремления авторов, не приобрела статус нормативной карты ОСР РА.

На основе разработанных и усовершенствованных методов оценки параметров воздействий с применением обновленных данных, новых методов и технологий картирования были составлены (в цифровом варианте): карта сейсмической опасности территории в масштабе 1:200000 (2002 г.) и вероятностная карта сейсмического районирования в масштабе 1:500000 (2017 г.). В качестве модели очаговых зон была использована схематическая карта сейсмогенных зон с оценками сейсмических потенциалов ($M_{\max}$) основных (выделенных) структурных элементов ВОЗ, составленная сотрудниками ИГИС НАН РА [Гаспарян и др., 1999]. Что касается модели сейсмического эффекта, то в данном случае был применен комплексный подход – был использован ряд известных моделей $A_{\max}=f(M, R)$ наиболее подходящих к региональным условиям [Григорян, 2003, 2014; Григорян, Карапетян, 2008; Штейнберг, 1990; Штейнберг и др., 1993; Kotha et al., 2016; Cauzzi et al., 2015;

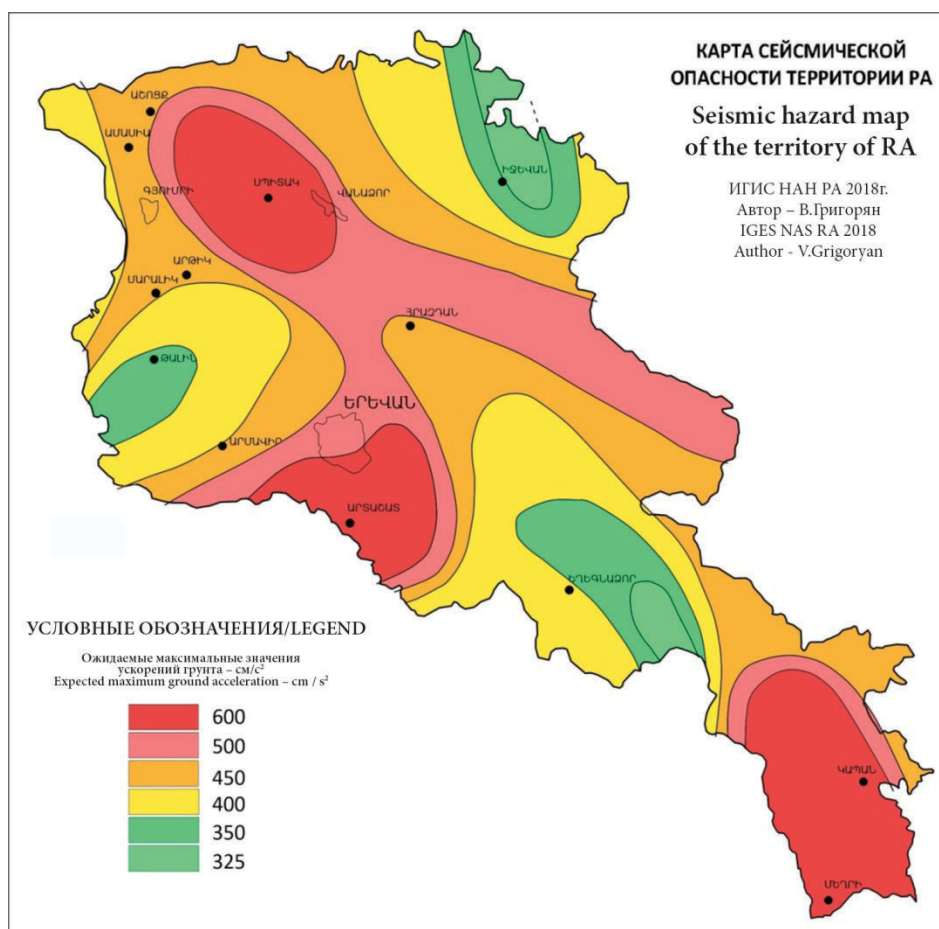


Рис. 8. Детерминистическая карта сейсмической опасности территории Армении в масштабе 1:200000 (авт. В.Г. Григорян) /

Fig. 8. Deterministic map of the seismic hazard of the territory of Armenia at a scale of 1: 200000

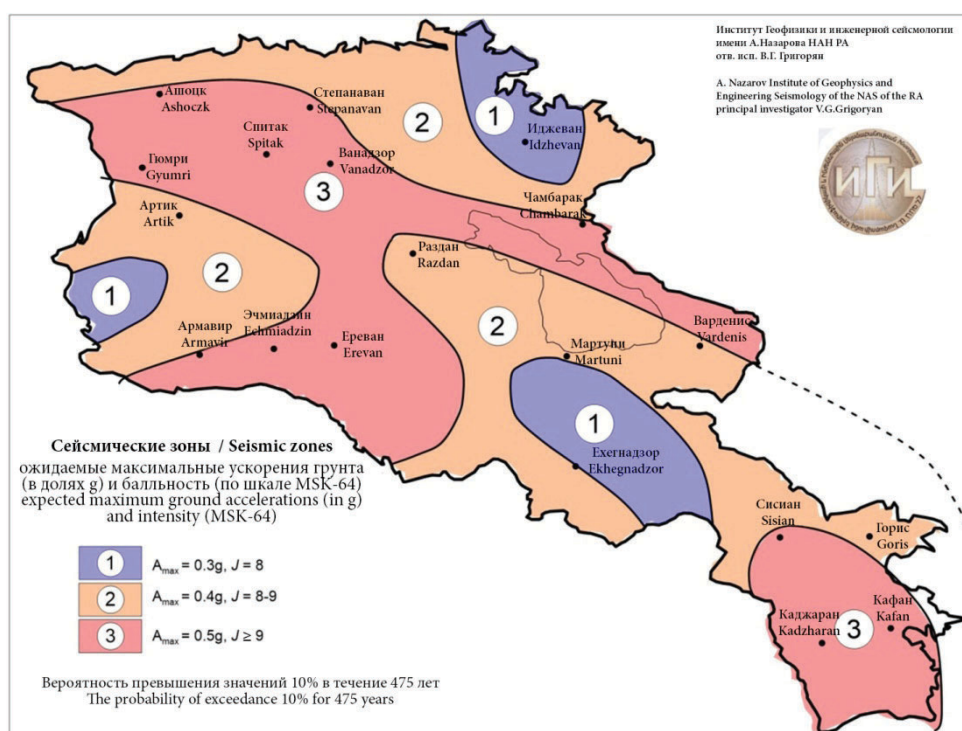


Рис. 9. Вероятностная карта ОСП территории Армении в масштабе 1:500000 /
Fig. 9. Probabilistic map of the GSZ of the territory of Armenia at a scale of 1:500,000

Chiou, Youngs, 2014; Boore et al., 2014; Campbell, Bozorgnia, 2014, 2008; Joyner, Boore, 1981; Smit et al., 2000, и др.].

Методика составления карт подробно описана в работах [Гаспарян и др., 2004; Григорян, 2005].

Карты сейсмической опасности территории Армении в масштабах 1:200000 и 1:500000 приведены соответственно на рисунках 8 и 9.

Задача дальнейших исследований состоит в рассмотрении более сложных моделей пространственно-временного распределения очагов сильных землетрясений, более объективных и приемлемых с инженерной точки зрения количественных характеристик, определяющих характер и уровень ожидаемых воздействий и методов их картирования.

Так, в рамках общей научной программы по оценке сейсмической опасности и сейсмического риска, усовершенствования методов количественной оценки параметров сейсмических воздействий в ИГИС НАН РА ведутся исследования по рассмотрению задач с использованием, кроме традиционных (смещение, скорость, ускорение), также интегральных параметров колебаний, наиболее полно характеризующих энергию воздействия [Карапетян, 2012].

Проводятся исследования по созданию карт сейсмического зонирования территории Армении на основе опорных акселерограмм землетрясений – в масштабе 1:200000.

Заключение

Карты сейсмического районирования (сейсмической опасности), как очень важный государственный документ сейсмической защиты, во всех странах периодически совершенствовались и корректировались. К их составлению привлекались

ведущие в данной области научные организации – сейсмологии, геофизики, геологии и др.

В статье в хронологическом порядке были рассмотрены все карты общего сейсмического районирования (ОСР) территории Армении, созданные на сегодняшний день.

Сопоставительный анализ созданных до настоящего времени карт ОСР показал, что картина, отражающая сейсмическую интенсивность на этих картах достаточно противоречива. Вместе с тем они постепенно совершенствовались и корректировались в свете новых, уточненных данных с применением одновременно современных методов и технологий.

На основе разработанных и усовершенствованных методов оценки параметров сейсмических воздействий с применением новых методов картирования были составлены (в цифровом варианте): карта сейсмического районирования территории Армении в масштабе 1:200 000 (в 2002 году) и вероятностная карта сейсмического районирования в масштабе 1:500 000 (в 2017 году).

Составленная новая карта территории Армении в масштабе 1:500 000, значительно отличается от действующей до настоящего времени нормативной карты ОСР (включенной в СНиП). На ней впервые выделена зона с ожидаемым максимальным значением ускорения грунта – 0,5 g, с указанием параллельно соответствующих значений интенсивности для выделенных трех зон (по шкале MSK-64).

Литература

1. Баласанян С. Ю., Назаретян С. Н., Амирбекян В. С. Сейсмическая защита и ее организация. – Гюмри: «Эльдорадо», 2004. – 436 с.
2. Габриелян А. А., Симонян Г. П., Пирузян С. А., Геодакян Э. Г. Новая схема сейсмического районирования территории Армянской ССР. // Изв. Науки о Земле АН Арм. ССР. – 1989. – Т. 42. № 4. – С. 3-10.
3. Гаспарян Г., Оганесян А., Геодакян Э., Фиданян Ф. Сейсмогенные зоны территории Армении и оценка максимально возможных ожидаемых землетрясений. // Сб. научн. трудов. – Гюмри: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 1999. – С. 120-130.
4. Гаспарян Г., Геодакян Э., Григорян В., Оганесян А., Оганесян С. Карта сейсмической опасности территории Армении в масштабе 1:200 000 (предварительный вариант). // Сб. научн. трудов. – Гюмри: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2004. – С. 184-192.
5. Григорян В. Г. О зависимости ускорений колебания грунтов при сильных землетрясениях. Некоторые региональные особенности // НАН РА. Науки о Земле. – Ереван. – 2003. – Т. 56. № 2. – С. 47-50.
6. Григорян В. Г. Основная задача теории количественного сейсмического районирования (на примере территории Армении). // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2005. – № 5. – С. 42-44.
7. Григорян В. Г. Сравнительная оценка эффекта затухания ускорения грунта. // Геология и геофизика юга России. – 2014. – № 1. – С. 23-29.
8. Григорян В. Г., Карапетян Дж. К. Комплексный анализ количественных параметров колебаний грунтов и оценка их зависимостей от магнитуд землетрясений. // Строительная механика и расчет сооружений. – 2008. – № 3. – С. 59-63.
9. Карапетян Дж. К. Сопоставительный анализ расчетных кривых коэффициента динамичности $\beta(T, n)$, полученных различными методами // Вопр. инж. сейсмологии. – 2012. – Т. 39. № 3. – С. 33-40.

10. Медведев С. В. Инженерная сейсмология. – М. – 1969. – 283 с.
11. Пирузян С. А. Опыт детального сейсмического районирования территории Большого Ереванского района. – Ереван: Изд. «Айастан», 1969. – 91 с.
12. Сейсмическое районирование СССР. / Под ред. Медведева С. В. – М.: Наука, 1968. – С. 214-226.
13. Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. / Гл. 17, Армения. – М.: Наука, 1980. – С. 131-137.
14. СНиП II-7-81. Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования. – М. – 1982.
15. СНРА II-6-02-2006. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. – Ереван. – 2006. – 54 с.
16. Уломов В. И. Оценка сейсмической опасности и актуализация инженерных решений. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2008. – № 3. – С. 16-21.
17. Хачиян Э. Прикладная сейсмология. – Ереван: Изд.-во «Гитутюн» НАН РА, 2008. – 491 с.
18. Штейнберг В. В. Колебания грунта при землетрясениях. // Вопросы инженерной сейсмологии. № 1. – М.: Наука, 1990. – С. 47-67.
19. Штейнберг В. В., Сакс М. В., Аптикаев Ф. Ф. Методы оценки сейсмических воздействий (пособие). РАН. – М. – 1993. – 91 с.
20. Boore D. M., Stewart J. P., Seyhan E., Atkinson G. M. NGA-West2 equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. *Earthquake Spectra* 30, 2014, pp. 1057-1085.
21. Campbell K. W., Bozorgnia Y. NGA-West2 ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra. *Earthquake Spectra* 30, 2014, pp. 1087-1115.
22. Campbell K. W., Bozorgnia Y. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s. *Earthquake Spectra* 24, 2008, pp. 139-171.
23. Cauzzi C., Faccioli E., Vanini M., Bianchini A. Updated predictive equations for broadband (0.01-10s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. *Bulletin of earthquake engineering* 13, 2015, pp. 1587-1612. Doi:10.1007/s10518-014-9685-y.
24. Chiou B. S.-J., Youngs R. R. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. *Earthquake Spectra* 30, 2014, pp. 1117-1153.
26. Joyner W., Boore D. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records, including records from the 1979 Imperial Valley California earthquake // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* – 1981. – Vol. 71. No. 6. – Pp. 2011-2038.
27. Kotha S. R., Bindi D., Cotton F. Partially non-ergodic region specific GMPE for Europe and Middle-East. *Bulletin of Earthquake Engineering* 14, 2016. pp. 1245-1263.
28. Smit P., Arzoumanian V. and esc. The digital accelerograph Network in the Caucasus // *Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction*. Kluwer Academic Publishers. – 2000. – Pp. 109-118.

=====GEOPHYSICS=====

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26789

Seismic hazard on the territory of Armenia: seismic zoning normative maps. Preliminary version of the new general seismic zoning map

V. G. Grigoryan, Cand. Sci. (Phys.-Math.), J. K. Karapetyan, Cand. Sci. (Geol.),
K. S. Ghazaryan, Cand. Sci. (Phys.-Math.), R. S. Sargsyan, Cand. Sci. (Geol.)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA, 5V.
Sarkysan Str., Gyumri 3115, Republic of Armenia
e-mail: g. vanand@rambler. ru

Abstract: In the article we made a chronological and detailed comparative analysis of general seismic zoning (GSZ) maps compiled in different periods for the territory of Armenia.

Based on the developed and improved methods for assessing the parameters of seismic influences and using modern methods and technologies for assessment and mapping of seismic hazard (zoning), a probabilistic map of seismic zoning for the territory of Armenia at a scale of 1: 500,000 was compiled. The map is based on the models of possible seismic sources with estimates of seismic potentials (M_{max}) of the basic structural elements (compiled by the staff of the IGES NAS RA) and the seismic effect.

The proposed version of the GSZ map of the territory of Armenia differs significantly from the current normative map. A zone with the expected maximum values of ground acceleration – 0.5g is allocated on it for the first time.

The task of further research is to consider more complex models of the space-time distribution of strong earthquake sources, more objective and acceptable (from an engineering point of view) quantitative characteristics that determine the nature and level of expected impacts and methods of their mapping.

Thus, within the framework of the general scientific program for the assessment of seismic hazard and seismic risk, the improvement of methods for quantifying the parameters of seismic effects in the IGES NAS RA, research is being conducted to consider problems using, besides traditional (displacement, speed, acceleration), also integral parameters of vibrations, the most fully characterizing the impact energy.

Keywords: earthquake, seismic zoning, source zone, seismic impact, ground acceleration.

For citation: Grigoryan V. G., Karapetyan J. K., Ghazaryan K. S., Sargsyan R. S. Seismic hazard on the territory of Armenia: seismic zoning normative maps. Preliminary version of the new general seismic zoning map. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 71-83. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26789.

References

1. Balasanyan S.Yr., Nazaretyan S.N., Amirbekyan V.S. Seismic protection and its organization. Gyumri: "El'dorado", 2004. 436 p. (in Russ.)
2. Gabrielyan A.A., Simonyan G.P., Piruzyan S.A., Geodakyan E.G. The new scheme of seismic zoning of the territory of the Armenian SSR. *News of Earth Sciences of the Academy of Sciences of the Armenian SSR*. 1989. Vol. 42. No. 4. pp. 3-10. (in Russ.)
3. Gasparyan G., Oganessian A., Geodakyan E., Fidanyan F. Seismogenic zones of the territory of Armenia and assessment of the maximum possible expected earthquakes. *Sb. nauchn. trudov. Gyumri, Publisher "Gitutyun" NAN RA*, 1999. pp. 120-130. (in Russ.)
4. Gasparyan G., Geodakyan E., Grigoryan V., Oganessian A., Oganessian S. Seismic hazard map of the territory of Armenia in a scale of 1: 200 000 (preliminary version). *Sb. nauchn. trudov. Gyumri, Publisher "Gitutyun" NAN RA*, 2004. pp. 184-192. (in Russ.)
5. Grigoryan V.G. On the dependence of the acceleration of ground vibrations during strong earthquakes. Some regional features. *National Academy of Sciences of the Republic of Armenia. Earth Sciences*. Erevan. 2003. Vol. 56. No. 2. pp. 47-50. (in Russ.)

6. Grigoryan V.G. The main task of the theory of quantitative seismic zoning (on the example of the territory of Armenia). Earthquake engineering. Constructions safety. 2005. No. 5. pp. 42-44. (in Russ.)
7. Grigoryan V.G. Comparative evaluation of the attenuation effect of the soil acceleration. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2014. No. 1. pp. 23-29. (in Russ.)
8. Grigoryan V.G., Karapetyan Dzh.K. Comprehensive analysis of quantitative parameters of soil vibrations and assessment of their dependencies on earthquake magnitudes. Structural Mechanics and Analysis of Constructions. 2008. No. 3. pp. 59-63. (in Russ.)
9. Karapetyan Dzh.K. Comparative analysis of the calculated curves of the coefficient of dynamics $\beta(T, n)$, obtained by various methods. Problems of engineering seismology. 2012. Vol. 39. No. 3. Pp. 33-40. (in Russ.)
10. Medvedev S.V. Engineering seismology. M. 1969. 283 p. (in Russ.)
11. Piruzyan S.A. Experience of detailed seismic zoning of the territory of the Greater Yerevan District. Erevan, Publisher "Ajastan", 1969. 91 p. (in Russ.)
12. Seismic zoning of the USSR. Edited by Medvedev S.V. M. Nauka, 1968. pp. 214-226. (in Russ.)
13. Seismic zoning of the USSR. Methodical foundations and regional description of the map of 1978. Ch. 17, Armenia. M. Nauka, 1980. pp. 131-137. (in Russ.)
14. SNiP II-7-81. SNiP II-7-81. Construction in seismic areas. Design Standards. M. 1982. (in Russ.)
15. SNRA II-6-02-2006. SNRA II-6.02.2006. Earthquake engineering. Design standards. Erevan. 2006. 54 pp. (in Russ.)
16. Ulomov V.I. Seismic hazard assessment and updating of engineering solutions. Earthquake engineering. Constructions safety. 2008. No. 3. pp. 16-21. (in Russ.)
17. Hachiyani E. Applied seismology. Erevan, Publisher "Gitutyun" NAN RA, 2008. 491 p. (in Russ.)
18. Shteinberg V.V. Ground motion during earthquakes. Problems of engineering seismology. No. 1. M. Nauka, 1990. Pp. 47-67. (in Russ.)
19. Shteinberg V.V., Saks M.V., Aptikaev F.F. Methods for assessing seismic effects (manual). RAS. M. 1993. 91 p. (in Russ.)
20. Boore D. M., Stewart J. P., Seyhan E., Atkinson G. M. NGA-West² equations for predicting PGA, PGV, and 5% damped PSA for shallow crustal earthquakes. Earthquake Spectra 30, 2014, pp. 1057-1085.
21. Campbell K. W., Bozorgnia Y. NGA-West² ground motion model for the average horizontal components of PGA, PGV, and 5% damped linear acceleration response spectra. Earthquake Spectra 30, 2014, pp. 1087-1115.
22. Campbell K.W., Bozorgnia Y. NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5% damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10s. Earthquake Spectra 24, 2008, pp. 139-171.
23. Cauzzi C., Faccioli E., Vanini M., Bianchini A. Updated predictive equations for broadband (0.01-10s) horizontal response spectra and peak ground motions, based on a global dataset of digital acceleration records. Bulletin of earthquake engineering 13, 2015, pp. 1587-1612. Doi:10.1007/s10518-014-9685-y.
24. Chiou B. S.-J., Youngs R. R. Update of the Chiou and Youngs NGA model for the average horizontal component of peak ground motion and response spectra. Earthquake Spectra 30, 2014, pp. 1117-1153.
26. Joyner W., Boore D. Peak horizontal acceleration and velocity from strong-motion records, including records from the 1979 Imperial Valley California earthquake // Bull. Seismol. Soc. Amer. – 1981. – Vol. 71. No. 6. – Pp. 2011-2038.
27. Kotha S.R., Bindi D., Cotton F. Partially non-ergodic region specific GMPE for Europe and Middle-East. Bulletin of Earthquake Engineering 14, 2016. pp. 1245-1263.
28. Smit P., Arzoumanian V. and esc. The digital accelerograph Network in the Caucasus // Earthquake Hazard and Seismic Risk Reduction. Kluwer Academic Publishers. – 2000. – Pp. 109-118.

УДК 550.3:622.276

DOI 10.23671/VNC.2019.1.26790

Технологии добычи остаточной нефти

Г. Дж. Етирмишли, д. г.-м. н., Г. О. Валиев, С. Э. Казымова, к. г.-м. н.,
С. С. Исмаилова, И. Э. Казымов, к. г.-м. н.

Национальная Академия Наук Азербайджана, Республиканский Центр
Сейсмологической Службы, Республика Азербайджан, 1001, Баку, ул. Гусейн
Джавида, 123. e-mail: sabina.k@mail.ru

Аннотация: В мире к настоящему времени открыты более 40 тысяч нефтяных месторождений с суммарными балансовыми запасами более 500 млрд т. И только около 30% этих запасов было извлечено или может быть еще извлечено из недр с помощью современных промышленно освоенных методов добычи, включая вторичные и третичные методы. Остальные 70% разведанных запасов нефти остались неизвлеченными и составляют так называемые остаточные запасы, которые могли бы стать резервом увеличения нефтедобычи без огромных затрат на поиски, разведку и обустройство новых нефтяных месторождений. В данной статье рассматриваются два метода извлечения остаточной нефти: на суше и на море. Для месторождений на суше целесообразно применение сейсмовибраторов, для морских месторождений – использование воздействия естественных источников колебаний, в нашем случае землетрясений. Вопрос о влиянии землетрясений на открытие газовых и нефтяных месторождений ставится впервые, и при серьезных исследованиях может дать практические результаты. Изучение сейсмологами влияния землетрясений на дебиты нефтяных скважин на расстояниях 70-200 км от эпицентра показало, что рой землетрясений может увеличить процент нефти в дебитах обводненных скважин, если изначально он был весьма мал, или уменьшать это значение, если нефтяная доля была преобладающей.

Наблюдения показывают, что за последние годы сейсмичность подвижной системы повышается. Глубины произошедших землетрясений с магнитудой ≥ 3 менялись в пределах 25-35 и 40-60 км. В 2016 г. наблюдалась активизация в северной части Абшероно-Прибалханской складчатой системы (было зарегистрировано 22 землетрясения с $M \geq 3,0$), к востоку от Абшерона. Глубины их изменяются в пределах 40-60 км. Землетрясение со старшей магнитудой 4,3 произошло 30 ноября 2016 г.

За последние годы в Центральном Каспии произошло ряд сильных землетрясений с $M > 5$: в 2014 г. произошло землетрясение с $M=5,6$ (40,14°N, 51,65°E, H=60 км), а в 2015 г. – с $M=5,4$ (40,03°N, 51,89°E, H=42 км).

Ключевые слова: нефтяные месторождения, остаточная нефть, землетрясения, сейсмовибраторы, методы извлечения остаточной нефти.

Для цитирования: Етирмишли Г. Дж., Валиев Г. О., Казымова С. Э., Исмаилова С. С., Казымов И. Э. Технологии добычи остаточной нефти // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 84-96. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26790.

Введение

Эффективность извлечения нефти из нефтеносных пластов современными, промышленно освоенными методами разработки во всех нефтедобывающих странах на сегодняшний день считается неудовлетворительной, притом, что потребление нефтепродуктов во всем мире растет из года в год. Все крупные и крупнейшие нефтяные месторождения, на которые приходится $\frac{3}{4}$ текущей добычи нефти в стране, характеризуются значительной истощенностью запасов и высокой обводненно-

стью добываемой продукции. Число выводимых из эксплуатации так называемых «нерентабельных» скважин уже исчисляется десятками тысяч [Андреев и др., 2014; Кондорская, Шебалин, 1977; Казымова, Казымов, 2016; Кахраманлы, Аджамов, 2012]. В некоторых компаниях их число достигает 50% и более от действующего фонда. Вследствие этого фактическая плотность сетки скважин оказывается в несколько раз меньше проектной. При этом наблюдается безответственное отношение к недрам. Данная ситуация сложилась, во-первых, из-за сверхобеспеченности многих нефтяных компаний запасами нефти, что позволяет им «снимать сливки», выборочно интенсифицируя добычу из активных пластов. Потенциал такой добычи пока еще высок, а извлечение «трудных» запасов невелико [Hugh, 1997; Kaiser, Pulsipher, 2007]. Поэтому и методы увеличения нефтеотдачи не востребованы. Интенсивная отработка активных запасов приведет к тому, что уже в ближайшие годы придется иметь дело в основном с «трудными» запасами, что неизбежно приведет к падению добычи нефти в стране (рис. 1).

Бакинский нефтегазоносный район – крупнейший район по добыче, запасам нефти и газа в Азербайджане. Нефтяные месторождения района расположены в пределах Южно-Каспийского нефтегазоносного бассейна, на территории Абшеронского полуострова и прилегающей акватории Каспийского моря. Месторождения нефти и газа заключены в антиклинальных складках и куполах различной формы, в толщах песка, песчаника, алевролита и глин мощностью от 1000 до 3400 м. В Бакинском нефтегазоносном районе свыше 80 месторождений нефти и газа [Андреев, Дубинский, 2014; Хаин, Ализаде, 2005]. Основные месторождения: Шах-Дениз, Азери-Чираг-Гюнешли, Нефтяные Камни, Бахар, Сангачалы-море, Би-Эйбат, Сураханы, Карачухур, Карадаг.

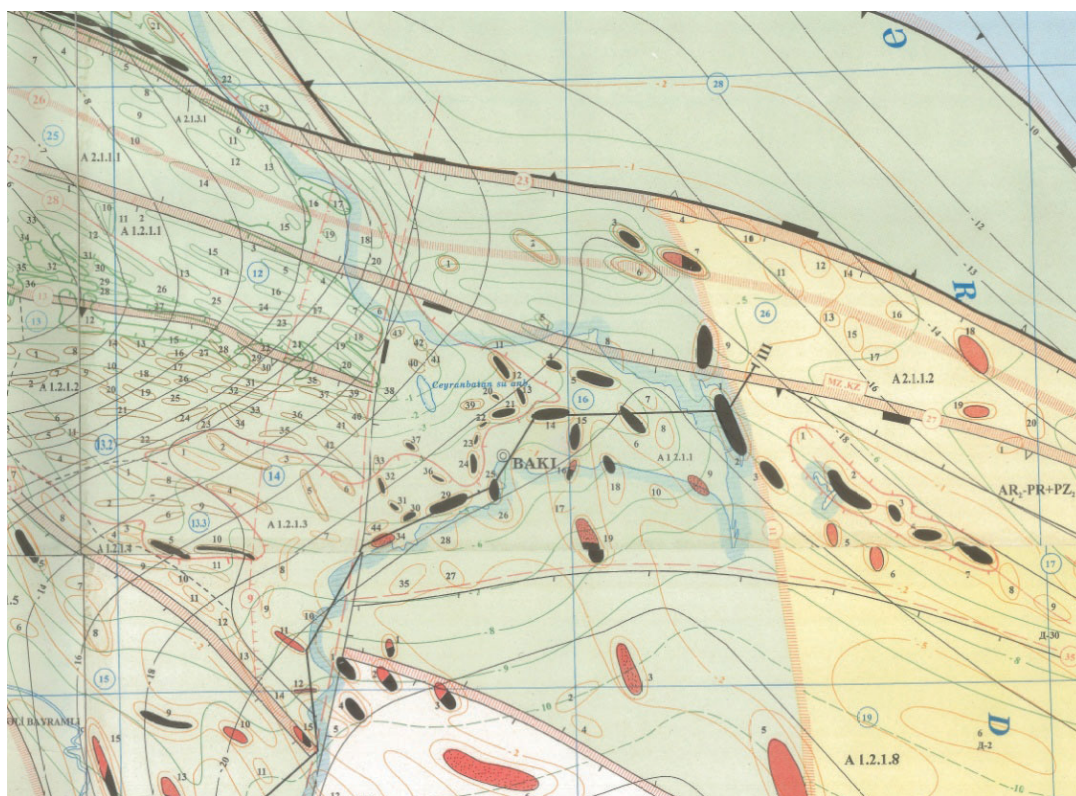


Рис. 1. Бакинский нефтяной район /
Fig. 1. Baku oil region

Современные геологические запасы нефти во всех известных месторождениях мира достигают более 500 млрд. т., из них более 300 млрд. т. относятся к категории неизвлекаемых современными промышленно освоенными методами разработки. Извлечение из остаточных запасов нефти 10-15% в среднем, или 30-40 млрд. т., возможно даже изучаемыми в настоящее время методами увеличения нефтеотдачи пластов. Поэтому остаточные запасы нефти на разрабатываемых месторождениях представляют собой большой резерв для увеличения извлекаемых ресурсов и важную цель для применения методов увеличения нефтеотдачи пластов [Федин и др., 2013; Wilson, 2006].

Технология добычи остаточной нефти методом воздействия сейсмовибраторами

Остаточные запасы нефти на месторождениях, находящихся на самой поздней стадии разработки (обводненность продукции выше 90%), огромны. Увеличить извлекаемые запасы нефти, снизить обводненность продукции, повысить или даже стабилизировать добычу на этой стадии – задача номер один для нефтедобывающей отрасли. Однако это наиболее трудная категория остаточных запасов, особенно на месторождениях с высокой эффективностью заводнения, когда конечная нефтеотдача пластов превышает 60%, нефть рассредоточена и рассеяна бессистемно по пласту, а высокая водонасыщенность мешает вступить в контакт с нефтью любому рабочему агенту [Андреев и др., 2014; Ахметов, 2016; Барышников и др., 2016].

За многолетнюю практику разработки месторождений предложено множество методов и технологических приемов, позволяющих увеличить отбор нефти из недр. Все эти методы извлечения остаточных после заводнения запасов нефти могут применяться в виде различных модификаций. Они сопровождаются сложнейшими физико-химическими, газодинамическими, микробиологическими, гравитационно-сейсмическими процессами, большим риском получения неоптимальных результатов и требуют широких всесторонних исследований и промысловых испытаний, прежде чем их промышленно применять [Ахметов, 2016].

Исследования в области увеличения нефтеотдачи пластов устремлены на уменьшение остаточных запасов нефти, на извлечение экономически рентабельной их части, особенно в сложных горно-геологических условиях (малопроницаемые, неоднородные, расчлененные, заводненные пласты, карбонатные коллекторы, нефтегазовые залежи и т. д.), которые освоенными методами разрабатываются неэффективно.

Относительно недавно нефтяная компания «SOCAR» приобрела ряд модернизаций самого современного уровня (AHV-IVCommander (PLS 364)) для улучшения рабочих показателей вибратора, обеспечения лучшего контакта с грунтом, увеличения основного усилия и уменьшения гармонических искажений (рис. 2).

В зависимости от частоты гармонических колебаний в отдельных слоях могут устанавливаться волны как с положительными (от эпицентра к периферии), так и с отрицательными (от периферии к эпицентру) фазовыми скоростями. Расположив сейсмический источник над скважиной и подобрав частоту его колебаний так, чтобы вдоль коллектора от периферии к центру с малой фазовой скоростью шла сейсмическая волна, будет происходить вытеснение нефти или другого флюида и оттеснение их к скважине [Ахметов, 2016].



Рис. 2. Модели сейсмовибраторов применяемых при нефтеотдаче остаточных запасов /
Fig. 2. Models of seismic vibrators used in the oil recovery of residual reserves

Коллектор, выведенный из состояния равновесия отбором нефти и закачкой воды, теряет динамическое равновесие. Одной из его ответных реакций, связанных с перераспределением напряжений и других физических параметров, является сейсмическая эмиссия. Это – высокочастотный (десятки – сотни герц) шум, генерируемый образующимися и закрывающимися трещинами, дислокациями на дефектах структуры разного масштаба (рис. 3).

Рабочий диапазон частот вибратора 5-100 Гц, амплитуда силы на штампе 20 т, реактивная масса 5 т. При работе в «средних» грунтовых условиях, на осадочных породах, вибратор создает на глубине 1 км сейсмические колебания, характеризующиеся скоростью движения частиц среды 10~2 мм/с, относительными деформациями Ю-7, плотностью потока энергии 0,01 Вт/м². В среднем применение десяти вибраторов позволит сфокусировать энергию в заданном объеме среды и в 100 раз повысить ее плотность. Задавая разные фазовые сдвиги работающим на поверхности вибраторам, можно сосредоточивать энергию в различных областях среды, при этом размер области интенсивных колебаний составит 50-100 м.

Для нефти средней вязкости предполагается более отчетливый эффект воздействия, поскольку такая нефть обладает высокой фильтрующей способностью и возможное искусственное изменение вязкости, вызванное вибровоздействием, не изменит нефтеотдачи [Кондорская, Шебалин, 1977].

Исследования вибровоздействия планируется начать с изучения фоновых характеристик дебита воды и нефти, химического состава нефти, температуры, давления, сейсмической эмиссии, а также с постановки наклономерных наблюдений и точного нивелирования над залежью и за ее пределами. К вибрационному воздействию на залежь приступят после трех – шести месяцев фоновых измерений. При этом будут регистрироваться и контролироваться параметры сейсмического волнового поля на поверхности Земли и в скважинах.

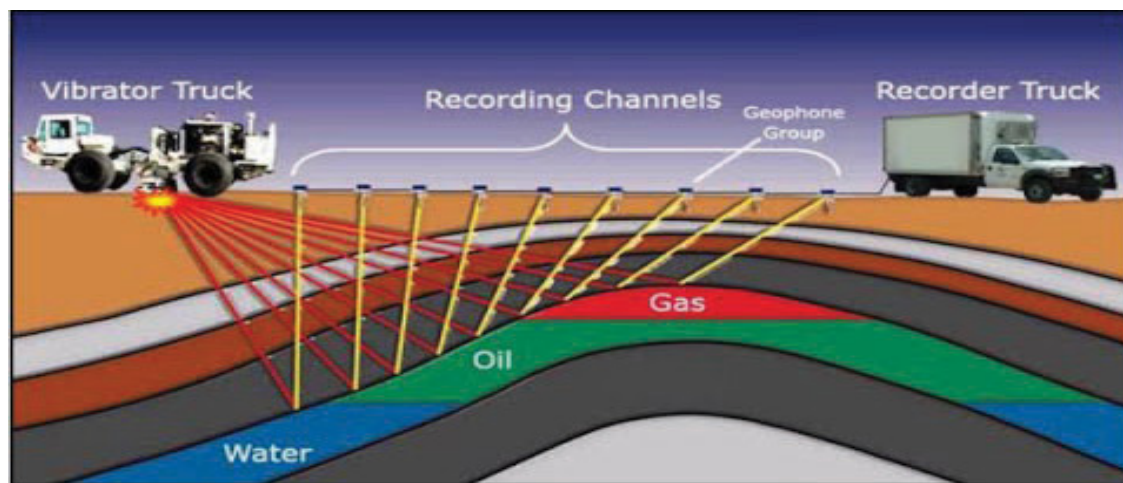


Рис. 3. Принцип воздействия сейсмовибраторами на нефтяные залежи [Ахметов, 2016]. /

Fig. 3. The influence principle of the seismic vibrators on oil deposits [Ahmetov, 2016].

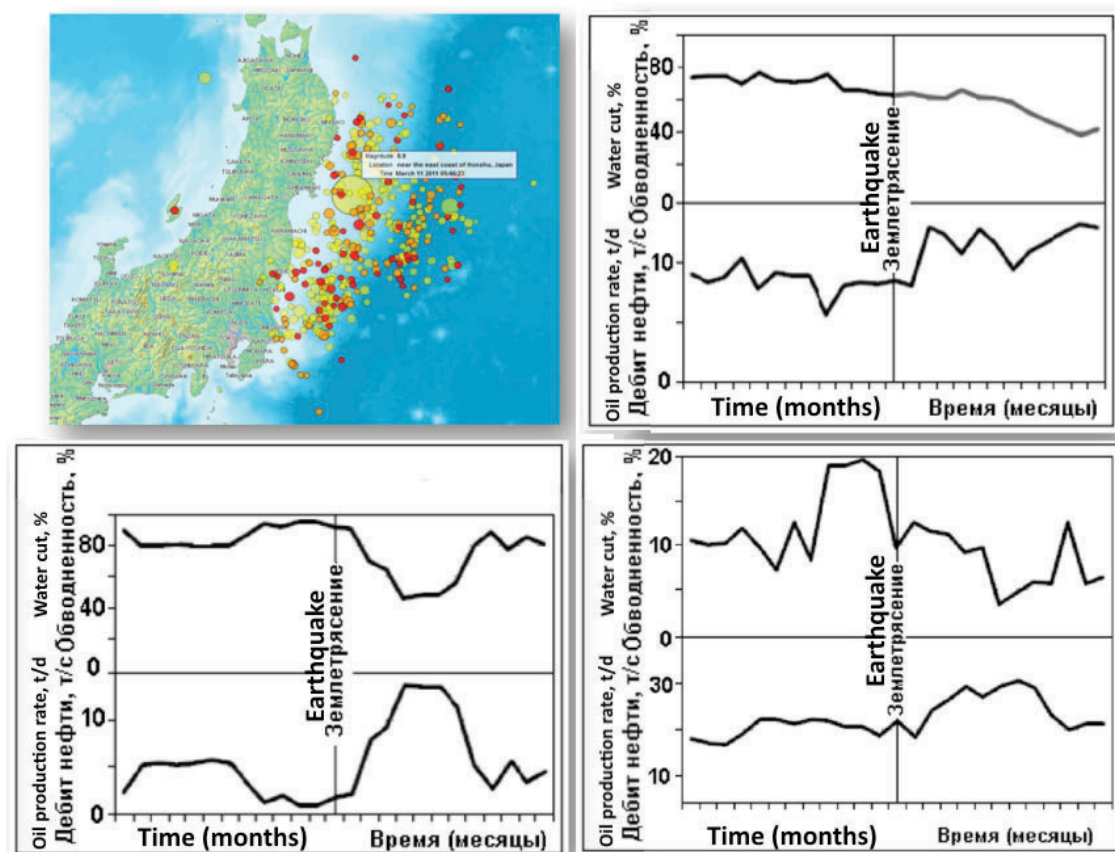


Рис. 4. Землетрясение у восточного побережья острова Хонсю 2011 года, а также реакция уровня обводненности и дебита нефти добывающих скважин в Западной Сибири и в Казахстане при прохождении сейсмических волн [Ахметов, 2016] /

Fig. 4. The earthquake in the east coast of the island of Honshu 2011, and also the response of the level of watercut and oil production rate of producing wells in Western Siberia and in Kazakhstan during the passage of seismic waves [Ahmetov, 2016]

Главным преимуществом данной технологии является высокая рентабельность добычи той нефти, которая сегодня не добывается по причине экономической нерентабельности или из-за отсутствия технологий.

Влияние землетрясений на процесс нефтеотдачи

Известно, что землетрясения вызывают изменения физико-химических свойств флюидов и газов в недрах Земли, дебитов и уровней жидкостей в скважинах и колодцах, приводят к возникновению трещин, создающих новые пути для движения флюидов [Кондорская, Шебалин, 1977].

Изучение сейсмологами влияния землетрясений на дебиты нефтяных скважин на расстояниях 70-200 км от эпицентра показало, что рой землетрясений может увеличить процент нефти в дебитах обводненных скважин, если изначально он был весьма мал, или уменьшать это значение, если нефтяная доля была преобладающей. Конечно, имеются и промежуточные случаи, но примеры, приведенные на рисунке 5, представляют нужную идеализацию явления, которое наблюдается и при вибрационных воздействиях на пласт. Эти изменения вызваны нарушением напряженного состояния горных пород, коллекторов и связанным с ним увеличением внутрипластового давления, изменениями трещиноватости и пористости либо прямым воздействием сейсмических волн на пласт, свойства и состояние коллектора и содержащуюся в нем нефть и воду. Однако известны случаи, когда добыча изменялась под влиянием только сейсмических воздействий [Кондорская, Шебалин, 1977].

В качестве примера рассмотрим влияние на изменение доли воды и доли нефти после землетрясения произошедшего вблизи побережья острова Хонсю в Японии 11 марта 2011 года. Землетрясение произошло с магнитудой 9,1. Поверхностная волна была зарегистрирована сейсмостанциями в Крыму (рис. 4, 5).

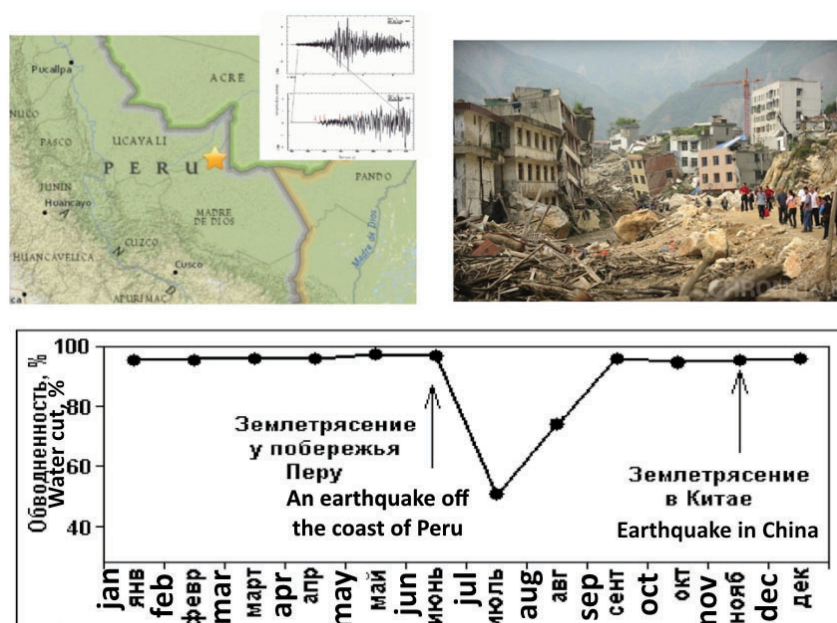


Рис. 5. Землетрясение в Перу 15 августа 2007, а также реакция уровня обводненности добывающих скважин в Западной Сибири и в Казахстане при прохождении сейсмических волн [Ахметов, 2016] /

Fig. 5. The earthquake in Peru on August 15, 2007, as well as the response of the watercut level of producing wells in Western Siberia and in Kazakhstan during the passage of seismic waves [Ahmetov, 2016]

Реакцией на это землетрясение стало изменение доли воды и нефти в продукции добывающих скважин в Западной Сибири и в Казахстане. Такая же картина наблюдалась после землетрясения в Перу с магнитудой 8, зарегистрированное 15 августа 2007 года в 18:40:57 по местному времени.

Отметим, что за период с 01.01.2007 года по 01.01.2017 года, то есть за последние 10 лет, на планете Земля произошли 240995 землетрясений силой от 2 и более магнитуд, что в среднем составляет 66 землетрясений в сутки [Кондорская, Шебалин, 1977].

Известно, что в результате землетрясений возникают продольные, поперечные и поверхностные волны. Наиболее мощными являются поверхностные волны, под действием которых в проницаемых пластах (в путях миграции) и возникают фильтрационные волны давления (рис. 6). Продолжительность, частота и амплитуды поверхностных волн зависят от многих факторов, в том числе и от глубины очага землетрясения [Кондорская, Шебалин, 1977].

Например, продолжительность колебаний в поверхностной волне от землетрясения у берегов Японии 11 марта 2011 года, составила около 60 минут.

Частота колебаний в поверхностных волнах чаще всего изменяется в пределах 0,066 до 0,2 Гц. А продолжительность колебаний от нескольких минут до одного и более часа [Кондорская, Шебалин, 1977].

Если принять частоту колебаний в 0,066 герца, а продолжительность колебаний только в 2 минуты, то и тогда число актов поступательно-возвратных перемещений жидкости в поровых каналах путей вторичной миграции нефти составит: [Кондорская, Шебалин, 1977]

- в палеозое – 54925600 миллионов актов;
- в мезозое – 21681000 миллионов актов;
- в кайнозое – 6263400 миллионов актов.

Помимо этого в путях вторичной миграции нефти возникают и распространяются фильтрационные волны давления, вызванные силами притяжения Солнца и Луны. В результате этого в путях вторичной миграции нефти возникали поступательно-возвратные перемещения жидкости [Кондорская, Шебалин, 1977].

Отметим что, изменение уровня воды приводит к изменению нагрузки на дневную поверхность Земли, в результате чего возникают и распространяются в нефтяных пластах фильтрационные волны давления. Это и является причиной изменения

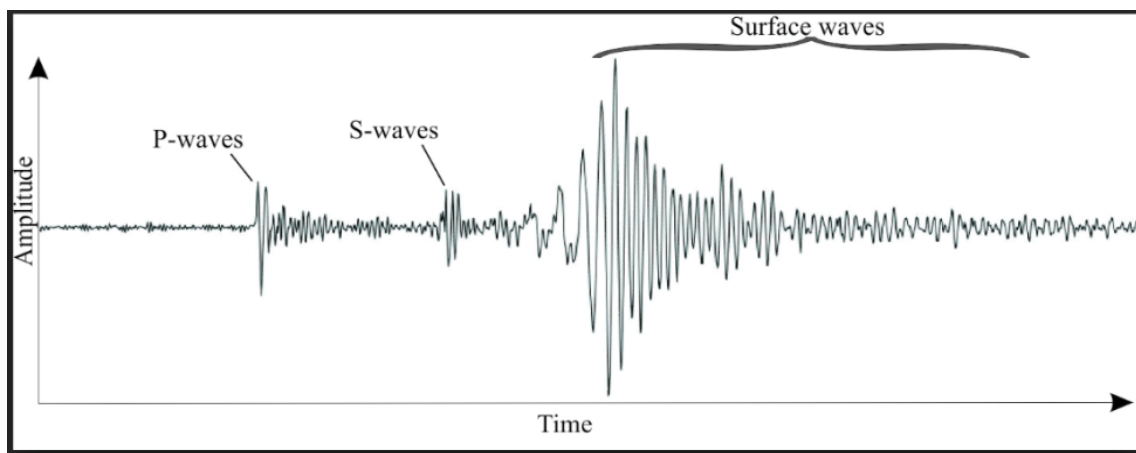


Рис. 6. Типы сейсмических волн (объемные и поверхностные) /
Fig. 6. Types of seismic waves (body and surface)

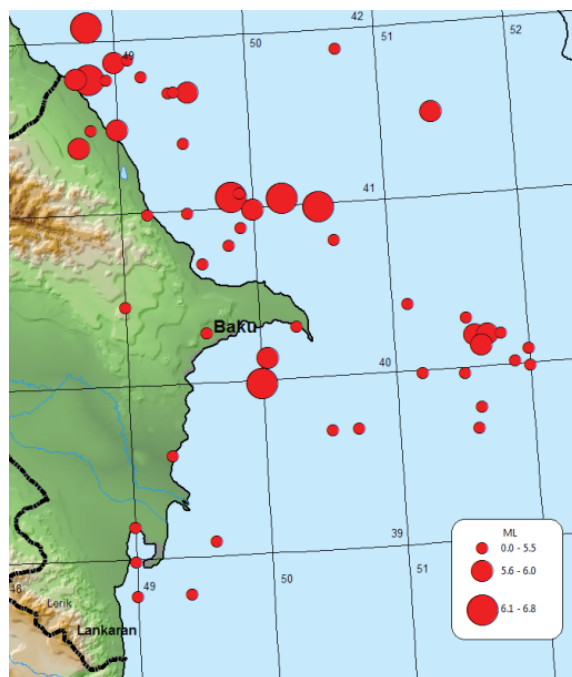


Рис. 7. Карта эпицентров землетрясений Каспийского моря за период 1957-2017 гг. с магнитудой $ML \geq 5.0$ /
Fig. 7. Map of the epicenters of the earthquakes of the Caspian Sea for the period 1957-2017 with $ML \geq 5.0$ magnitude

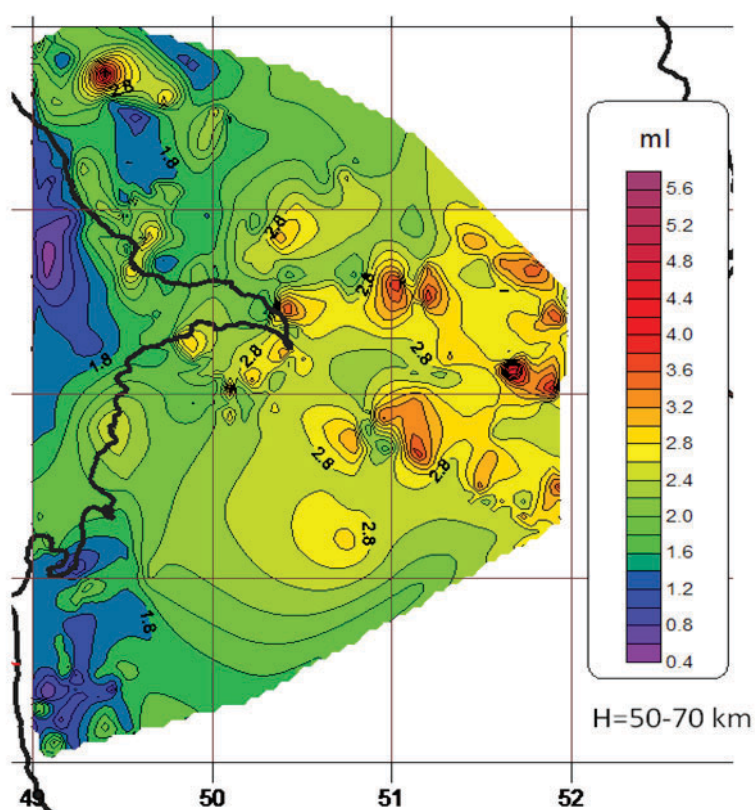


Рис. 8. Распределение магнитуд землетрясений в пределах Каспийского моря [Гасанов, 2001; Етирмишли и др.] /
Fig. 8. Distribution of magnitudes of earthquakes within the Caspian Sea [Gasanov, 2001; Etirmishli. et al.]

доли нефти и доли воды в продукции добывающих скважин вследствие притяжений Солнца и Луны [Кондорская, Шебалин, 1977; Етирмишли и др.; Kuralbayeva et al., 2011].

Сейсмичность исследуемого региона

Как известно территория Абшеронского полуострова не выделяется высокой сейсмической активностью. Однако основная опасность для этого региона исходит со стороны акватории Каспийского моря, характеризующейся высокой сейсмиче-

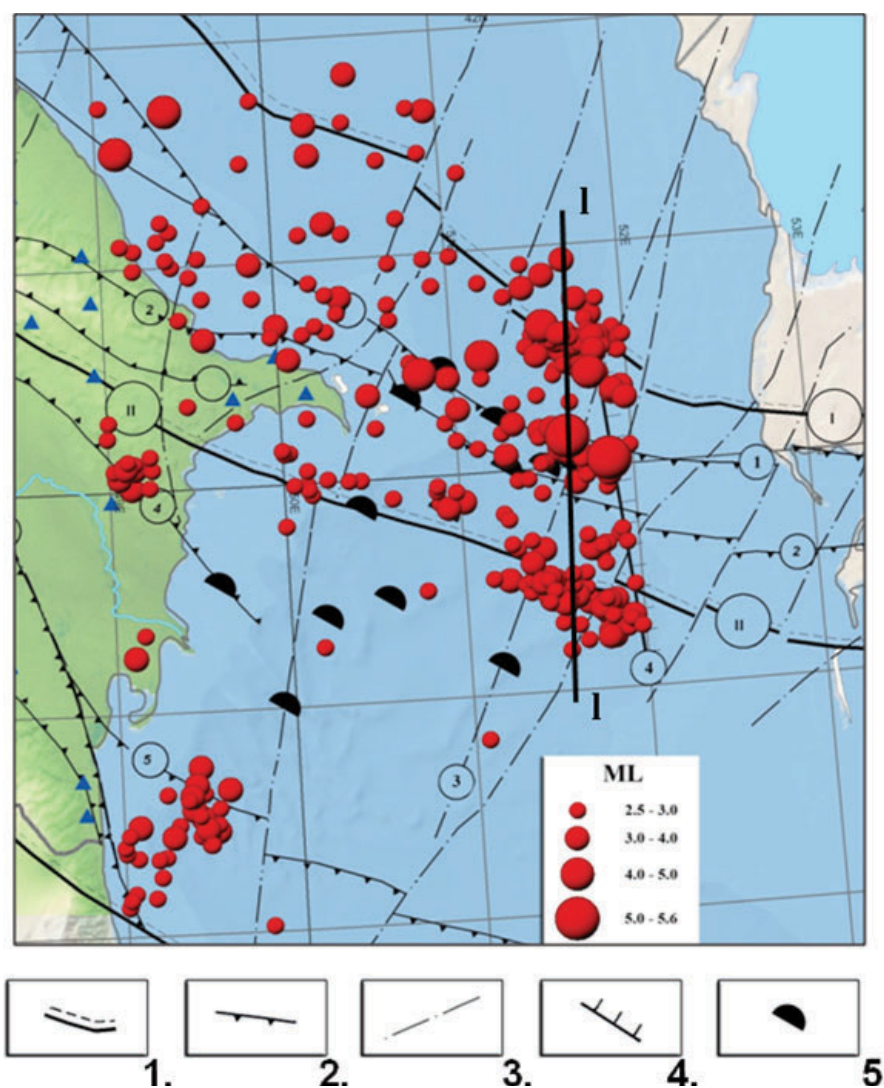


Рис. 9. Карта эпицентров землетрясений Каспийского моря за период 2014-2016 гг. с магнитудой $Ml \geq 2,5$ [Гасанов, 2001]

Условные обозначения: 1 – краевые разломы; 2 – межблоковые разломы; 3 – поперечные разломы; 4 – флексура; 5 – нефтяные залежи. **Разломы:** I – Аграхан-Красноводский; II – Сангачал-Огурчинский; 1 – Центральнo-Каспийский; 2 – Абшерон-Прибалханский; 3 – Гарабогаз-Сафидрудский; 4 – Восточно-Каспийская флексура /

Fig. 9. Map of the earthquake epicenters of the Caspian Sea for the period 2014-2016. with a magnitude $Ml \geq 2.5$ [Gasarov, 2001]. **Legend:** 1 – boundary faults; 2 – interblock faults; 3 – transverse faults; 4 – flexure; 5 – oil deposits. **Faults:** I – Agrakhan-Krasnovodsk; II – Sangachal-Ogurchinsk; 1 – Central Caspian; 2 – Absheron-Pribalkhan; 3 – Garabogaz-Safidrudsk; 4 – East Caspian flexure.

ской активностью. Здесь неоднократно происходили сильные землетрясения (1911, 1935, 1961, 1963, 1986, 1989, 2000 гг.) [Ахметов, Андреев, 2015]. В прошлом веке в этой зоне произошло 15 сильных землетрясений с $M \geq 5$, интенсивностью в эпицентре VI-VIII баллов (рис. 7, 8). Они ощущались в Баку и прибрежных пунктах до V-VII баллов [Кондорская, Шебалин, 1977].

В последние годы уровень сейсмической активности отдельных участков акватории Каспия повысился, величина выделенной сейсмической энергии в Центральном Каспии возросла в несколько десятков раз. В 2014-2017 гг. здесь зарегистрировано три землетрясения с $M \geq 5,0$ [Гасанов, 2001; Етирмишли и др.].

На представленной карте эпицентров землетрясений с $M \geq 2,5$ за 2014-2017 гг. (рис. 9) видно, что пространственное распределение очаговых зон в акватории Каспийского моря не равномерное. Основные зоны сгущения эпицентров сильных землетрясений расположены в северной морской подзоне и в центральной части Абшероно-Прибалханской подвижной системы [Алиханов, 1978].

Наблюдения показывают, что за последние годы сейсмичность подвижной системы повышается. Глубины произошедших землетрясений с магнитудой ≥ 3 менялись в пределах 25-35 и 40-60 км. В 2016 г. наблюдалась активизация в северной части Абшероно-Прибалханской складчатой системы (было зарегистрировано 22 землетрясения с $M \geq 3,0$), к востоку от Абшерона. Глубины их изменяются в пределах 40-60 км. Землетрясение с наибольшей магнитудой 4,3 произошло 30 ноября 2016 г.

Кроме того, отметим, что за последние годы в Центральном Каспии произошел ряд сильных землетрясений с $M > 5$: в 2014 г. произошло землетрясение с $M = 5,6$ (40,14°N, 51,65°E, H=60 км), а в 2015 г. – с $M = 5,4$ (40,03°N, 51,89°E, H=42 км).

Заключение

Остаточные или неизвлекаемые промышленно освоенными методами разработки запасы нефти достигают в среднем 55-75% от первоначальных геологических запасов нефти в недрах [Wilson, 2006]. Для решения данной задачи нужно срочно начать разработку способов полного извлечения остаточной нефти из недр. Это обуславливает необходимость применения новых технологий нефтедобычи, позволяющих значительно увеличить нефтеотдачу уже разрабатываемых пластов, на которых традиционными методами извлечь значительные остаточные запасы нефти уже невозможно.

Влияние землетрясений на процесс вовлечения в фильтрационный поток ранее неподвижной нефти тем больше, чем меньше глубина очага землетрясения, вызвавшего в залежи фильтрационные волны давления. Учитывая то, что в последние годы уровень сейсмической активности отдельных участков акватории Каспия повысился, а величина выделенной сейсмической энергии в Центральном Каспии возросла в несколько десятков раз, можно предположить что изменение дебита нефти на морских месторождениях северной части Абшероно-Прибалханской складчатой системы связано именно с этим.

Литература

1. Алиханов Э. Н. Геология Каспийского моря. – Баку: “Элм” – 1978. – 189с.
2. Андреев В. Е., Дубинский Г. С., Фёдоров К. М., Андреев А. В. Интенсификация добычи трудноизвлекаемых нефти и газа из карбонатных коллекторов // Materials

of the X International scientific and practical conference, «Trends of modern science», – 2014. Volume 27. Technical sciences. Sheffield. Science and education LTD – p. 20-27.

3. Андреев В. Е., Дубинский Г. С. Обработка композиционным составом карбонатных коллекторов для выравнивания профиля отдачи и приемистости скважин // Нефтегазовые технологии и новые материалы. Проблемы и решения. Сборник научных трудов. Вып. 3 (8). – Уфа: ООО «Монография», 2014. – с. 131-135.

4. Ахметов Р. Т., Андреев А. В. Повышение эффективности использования ресурсной базы месторождений с трудноизвлекаемыми запасами нефти // Нефтегазовое дело. – 2015. – Т. 13. – № 4. – С. 122-125.

5. Ахметов Р. Т. Водоудерживающая способность и смачиваемость продуктивных пластов / Р. Т. Ахметов, В. В. Мухаметшин // Нефтегазовое дело. – 2016. – Т. 15. – № 2. – С. 34-37.

6. Барышников А. А., Ведменский А. М., Паклинов Н. М., Шацких И. С. Моделирование современных методов увеличения нефтеотдачи с помощью программного комплекса, разработанного компанией «Роснефть»: учебное пособие // Тюмень: ТИУ, 2016. – 50 с.

7. Гасанов А. Г., Глубинное строение и сейсмичность Азербайджана в связи с прогнозом нефтегазоносности, Баку: ЭЛМ, 2001 г., с. 166-187.

8. Етирмишли Г. Дж, Абдуллаева Р. Р., Исмаилова С. С. (отв. сост.), Азербайджан, Каталоги землетрясений 2010-2016 гг., РЦСС при НАНА.

9. Кондорская, Н. В. Шебалин Н. В., Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР / Отв. ред. Москва: Наука, 1977. С. 69-170.

10. Казымова С. Э., Казымов И. Э. Современная геодинамика среднего и южного Каспия // Геология и Геофизика Юга России, № 2/2016, с. 140-151

11. Кахраманлы Ю. Н., Аджамов К. Ю. Исследование процесса сорбции нефти и нефтепродуктов пенополимерными сорбентами при аварийных разливах на поверхности грунта. – Баку: ЭЛМ, 2012. – 305 с.

12. Федин Л. М., Федин К. Л., Федин А. К. Основы повышения нефтеотдачи тяжелой нефти. – Симферополь: Доля, 2013. – 112 с.

13. Хаин В. Е., Ак. А. Ализаде, Геология Азербайджана, Том IV Тектоника, ред. 2005. Баку, Из-во Nafta-Press, С. 214-234.

14. Hugh, P. 1997. U. S. report says Caspian oil deposits might be twice as large as expected. The Wall Street Journal. 30 April. 1997. p. A10.

15. Kaiser, M. J., Pulsipher, A. G., 2007. A review of the oil and gas sector in Kazakhstan. Energy Policy 35 (2), 1300-1314.

16. Kuralbayeva, Karlygash, Frederick van der Ploeg and Anthony J. Venables Management of resource revenues: economic principles and Caspian experiences. 2011. OxCarre policy paper No-2010–06, Forthcoming "Natural resources and development" ed. G. Mavrotas.

17. Wilson, S. Overview of the Azerbaijan transport system. ADB Technical Assistance Consultant's Report II for the Ministry of Transport. 2006.

GEOPHYSICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26790

Technologies of residual oil extraction

G. J. Etirmishli, Dr. Sci. (Geol.-Min.), G. O. Valiev, S. E. Kazimova, Cand. Sci. (Geol.-Min.), S. S. Ismailova, I. E. Kazimov, Cand. Sci. (Geol.-Min.)

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic
Survey Center, 123 Guseyn Javid Str., Baku 1001, Azerbaijan
e-mail: sabina. k@mail. ru

Abstract: More than 40 thousand oil fields with total balance reserves of more than 500 billion tons have been discovered in the world by now. And only about 30% of these reserves have been extracted or can be extracted from the bowels of the earth with the help of modern industrial methods of mining, including secondary and tertiary methods. The remaining 70% of the explored oil reserves were left undiscovered and constitute the so-called residual reserves, which could serve as a reserve for increasing oil production without the huge costs of prospecting, exploration and development of new oil fields. This article discusses two methods for extracting residual oil: on land and at sea. It is advisable to use for deposits on land seismic vibrators and for the offshore fields, the use of the effect of natural sources of vibrations (in our case, earthquakes) is considered as advisable. The question of the influence of earthquakes on the discovery of gas and oil fields is being raised for the first time, and with serious research, it can give practical results. Carried out by seismologists the studies of earthquake effect on the flow rates of oil wells at distances of 70-200 km from the epicenter showed that a swarm of earthquakes can increase the percentage of oil in the flow rates of watered wells, if initially it was very small, or reduce this value if the oil fraction was dominant.

Observations show that in recent years, the seismicity of the mobile system has increased. The depths of the earthquakes with a magnitude ≥ 3 varied between 25-35 and 40-60 km. In 2016, activation was observed in the northern part of the Absheron-Pribalkhan folded system (22 earthquakes with $M \geq 3.0$ were registered), east of Absheron. Their depths vary within 40-60 km. An earthquake with the highest magnitude 4.3 occurred on November 30, 2016.

In recent years, a number of strong earthquakes with $M > 5$ occurred in the Central Caspian: in 2014 there was an earthquake with $M = 5.6$ (40,14°N, 51,65°E, $H = 60$ km), and in 2015 – with $M = 5.4$ (40,03°N, 51,89°E, $H = 42$ km).

Keywords: oil fields, residual oil, earthquakes, seismic vibrators, methods of residual oil extraction.

For citation: Etirmishli G. J., Valiev G. O., Kazimova S. E., Ismailova S. S., Kazimov I. E. Technologies of residual oil extraction. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 84-96. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26790.

References

1. Alikhanov E. N. Geology of Caspian sea. Baku, "Elm". 1978. 189 p. (in Russ.)
2. Andreev V. E., Dubinskiy G. S., Fedorov K. M., Andreev A. V. Intensification of production of tightly recoverable oil and gas from carbonate reservoirs. Materials of the X International scientific and practical conference, «Trends of modern science». 2014. Volume 27. Technical sciences. Sheffield. Science and education LTD. pp. 20-27.
3. Andreev V. E., Dubinskiy G. S. Processing the composition of carbonate reservoirs to align the recoil profile and injectivity of wells. Oil and gas technologies and new materials. Problems and solutions. Collection of scientific papers. Issue 3 (8). Ufa: OOO Monographia, 2014. pp. 131-135. (in Russ.)

4. Mukhametshin V. Sh., Andreev A. V., Akhmetov R. T. Increasing the Efficiency of Using the Resource Base of Deposits with Oil Recoverable Resources. *Oil and gas business*. 2015. Vol. 13. no 4. pp. 122-125. (in Russ.)
5. Akhmetov R. T., Mukhametshin V. V. Water holding capacity and wettability of productive layers. *Oil and gas business*. 2016. Vol. 15. no. 2. pp. 34-37.
6. Baryshnikov A. A., Vedmenskii A. M., Paklinov N. M., Shatskikh I. S. Modeling modern methods of enhanced oil recovery using a software package developed by Rosneft: study guide. Tyumen: TIU, 2016. 50 p. (in Russ.)
7. Gasanov A. G. Depth structure and seismicity of Azerbaijan in connection with the prognosis of oil and gas content. Baku, Elm, 2001. pp. 166-187. (in Russ.)
8. Etirmishli G. Dzh, Abdullaeva R. R., Ismailova S. S. Azerbaijan, Earthquake Catalogs 2010-2016. RCSS at NANA. (in Russ.)
9. Kondorskaya, N. V. Shebalin N. V. New catalog of strong earthquakes in the USSR. M. Nauka, 1977. pp. 69-170. (in Russ.)
10. Kazymova S. E., Kazymov I. E. Modern geodynamics of the middle and southern Caspian. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2016. No. 2. pp. 140-151. (in Russ.)
11. Kahramanly Yu. N., Adzhamov K. Yu. Study of the process of sorption of oil and oil products with polystyrene sorbents in case of accidental spills on the soil surface. – Baku: ELM, 2012. 305 p. (in Russ.)
12. Fedin L. M., Fedin K. L., Fedin A. K. Basics of enhanced oil recovery of heavy oil. Simferopol: Share, 2013. 112 p. (in Russ.)
13. Khain V. E., Ak. A. Alizade, *Geology of Azerbaijan. Volume IV. Tectonics*. 2005. Baku, Due to Nafta-Press. pp. 214-234. (in Russ.)
14. Hugh, P. 1997. U. S. report says Caspian oil deposits might be twice as large as expected. *The Wall Street Journal*. 30 April. 1997. P. A10.
15. Kaiser, M. J., Pulsipher, A. G., 2007. A review of the oil and gas sector in Kazakhstan. *Energy Policy* 35 (2). pp. 1300-1314.
16. Kuralbayeva, Karlygash, Frederick van der Ploeg and Anthony J. Venables Management of resource revenues: economic principles and Caspian experiences. 2011. OxCarre policy paper No-2010–06, Forthcoming "Natural resources and development" ed. G. Mavrotas.
17. Wilson, S. Overview of the Azerbaijan transport system. ADB Technical Assistance Consultant's Report II for the Ministry of Transport. 2006.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

УДК 550.834.52

DOI:10.23671/VNC.2019.1.26791

Специфика получаемого сейсмического материала в сложных сейсмогеологических условиях (заболоченная местность)

А. А. Левицкий¹, А. В. Рудаков^{1, 2}, М. С. Левицкая¹

¹АО «Южморгеология», Россия, 353461, Краснодарский кр., г. Геленджик, ул. Крымская, д. 20, e-mail: levitskiy@ymg.ru, levitskaya@ymg.ru;

²ГГЭ «ЮМГСейс», Россия, 353461, Краснодарский кр., г. Геленджик, ул. Крымская, д. 20, e-mail: rudakov@ymg.ru

Аннотация: Основная цель работы – описание новых технических и методологических средств, используемых АО «Южморгеология» при проведении полевых сейсморазведочных работ МОГТ 3D в лиманно-плавневых зонах Славянского района Краснодарского края в 2014-2015 гг. Представлены основные результаты опытных работ, обоснован выбор параметров съемки и их влияние на качество сейсмической записи: заглубление пневмоисточников BOLT 2200LL-BHS, количество накоплений возбуждения и необходимая глубина погружения датчиков регистраторов. В качестве датчиков регистраторов использовались маршфоны «СВГ-6», которые задавливались с помощью металлического шеста с креплением на конце на глубину 1,0-2,5 м до достижения уверенного контакта с твердой поверхностью (плотный грунт, глинистая подошва), снижая негативное влияние шумов (микросейсм) от корневой системы камышей (рис. 2А, В). Группирование «СВГ-6» шестью последовательно соединенными геофонами (GS-20DX) увеличило чувствительность датчика к слабым сигналам, возбуждаемым, в слабо консолидированной толще, а его прочная конструкция и металлическая проушина, позволила извлекать маршфон из скважины, полностью заполненной водой и шламом. Приведены основные свойства верхней части разреза (ВЧР) исследуемой площади по данным бурения с кратким описанием литологической характеристики разреза до глубины 10 м. Показаны сейсмограммы, полученные на одном участке в разных сейсмогеологических условиях. Выявлена зависимость распределения значений среднеквадратичных амплитуд и доминантных частот по площади от поверхностных условий возбуждения и приема колебаний. Данная зависимость также прослеживается на предварительных временных разрезах. Были проанализированы основные факторы, влияющие на качество получаемого сейсмического материала. На основе проведенного исследования авторами обосновывается необходимость использования комплексного подхода к анализу качества сейсмических данных при работах в сложных сейсмогеологических условиях. В качестве вывода приведены основные рекомендации к проведению сейсморазведочных работ в лиманно-плавневых зонах.

Ключевые слова: сейсморазведочные работы 3D, лиманно-плавневые зоны, Краснодарский край, Славянский район, анализ качества сейсмического материала, скважинные пневмоисточники, маршфон СВГ-6, АО «Южморгеология».

Для цитирования: Левицкий А. А., Рудаков А. В., Левицкая М. С. Специфика получаемого сейсмического материала в сложных сейсмогеологических условиях (заболоченная местность) // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 № 1. С. 97-109. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26791.

Введение

С 2008 года АО «Южморгеология» выполняла в лиманно-плавневых зонах более 200 км² сейсморазведочных работ по методике МОГТ 3D. Ниже рассмотре-

ны результаты работ в Славянском районе Краснодарского края, выполненных в 2014-2015 гг. для ООО «Газпром добыча Краснодар».

Полевые исследования

Возбуждение колебаний производилось групповым скважинным пневматическим источником (ПИ) BOLT 2200LL-BHS (2 шт.) (рис. 1А), установленным на самоходный вездеход-амфибию. Глубина погружения была выбрана по результатам опытно-методических работ (рис. 4) и составила 4 м. Использование статического накопления сигнала путем многократного возбуждения колебаний скважинного ПИ в одной точке позволило повысить отношение сигнал/помеха, за счет синфазного подавления внешнего шума (микросейсм), а применение группы из 2-х ПИ увеличило амплитудную выразительность записи (по сравнению с одиночным ПИ) (рис. 1Б) [Захаров, Шумский, 2012, с. 48].

Для регистрации сейсмических данных использовалась телеметрическая система ARAMARIESII (Канада). В качестве сенсоров для записи сейсмических колебаний использовались датчики для работы в болотистых зонах (маршфоны собственного производства «СВГ-6») и гидрофоны (DT-25-11А) для глубин более 1 м. Система наблюдения предполагала использование технологии **salvoshoooting** (залповая стрельба), где на каждые 6 ПВ (пункт взрыва) приходилось 14 ЛПП (линия пунктов приема) по 84 пункта приема (ПП) в каждой [Захаров, Рудаков, 2011, с. 24-26]. Данная методика имеет равномерное распределение азимутов и удалений в бине (максимальное удаление ПВ-ПП = 2934 м) [Тищенко, Тищенко, Жуков, 2008; Кондратьев, 2002; Кириллов, Горбунов, 2008], что позволило картировать основной маркирующий Чокракский горизонт, находящийся на глубинах 2600-2900 м.

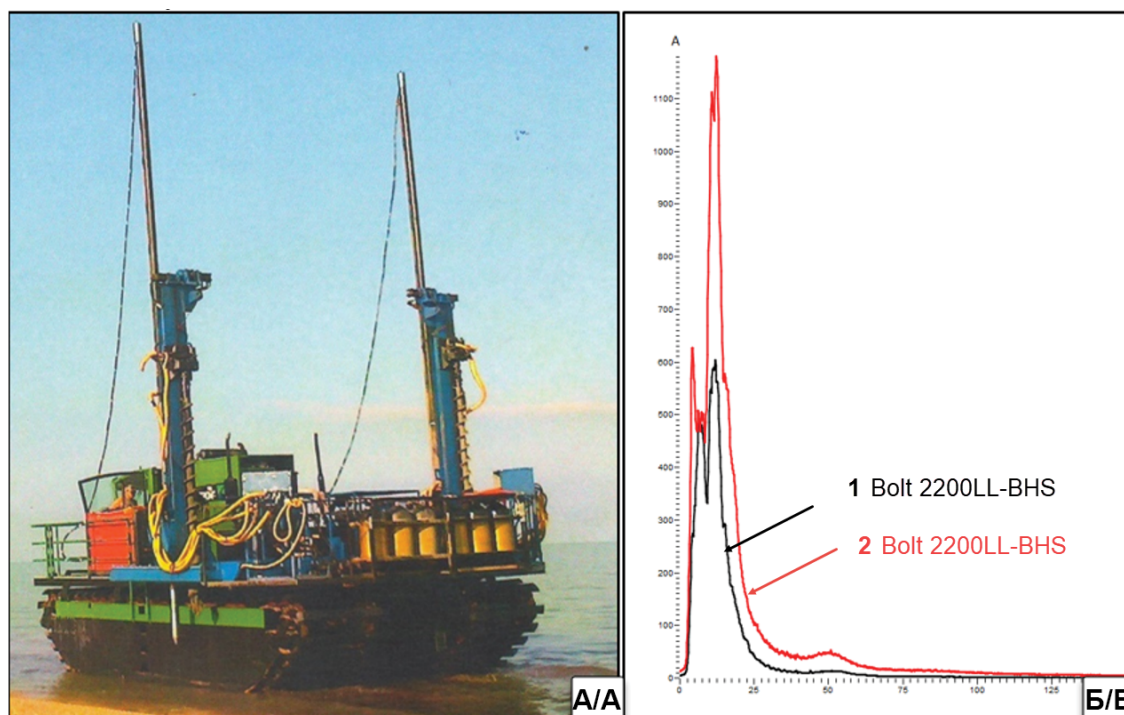


Рис. 1. Буровой комплекс на базе самоходной платформы-амфибии (А), сравнение амплитудно-частотных (АЧ) спектров для 1 ПИ и 2 ПИ (Б) /

Fig. 1. Drilling complex based on self-propelled platform-amphibian (A), comparison of amplitude – frequency (AH) spectra for 1 borehole airgun and 2 borehole airgun (B)

Качество получаемого сейсмического материала зависело от ряда факторов, а именно: заглубления сенсора и группового ПИ, а также строения верхней части разреза (ВЧР). Площадь работ была покрыта камышовой растительностью с массивной корневой системой глубиной до 1 м, которая при воздействии порывов ветра приходила в движение и оказывала негативное влияние на качество сейсмической записи [Aouad, Taylor, Millar, 2012].

В качестве датчиков регистраторов использовались маршфоны «СВГ-6» (рис. 2 Б, Г), которые задавливались с помощью металлического шеста с креплением на конце (рис. 2 Д) на глубину 1,0-2,5 м до достижения уверенного контакта с твердой поверхностью (плотный грунт, глинистая подошва), снижая негативное влияние шумов (микросейсм) от корневой системы камышей (рис. 2А, В). Комплектование «СВГ-6» шестью последовательно соединенными геофонами (GS-20DX) увеличило чувствительность датчика к слабым сигналам, возбуждаемым, в слабо консолидированной толще, а его прочная конструкция и металлическая проушина, позволила извлекать маршфон из скважины, полностью заполненной водой и илом. В случае невозможности задавливания датчика на необходимую глубину (1–2,5 м), проводилось бурение скважины малого диаметра ручным мотобуром [Жгенти, 2005, с. 33].

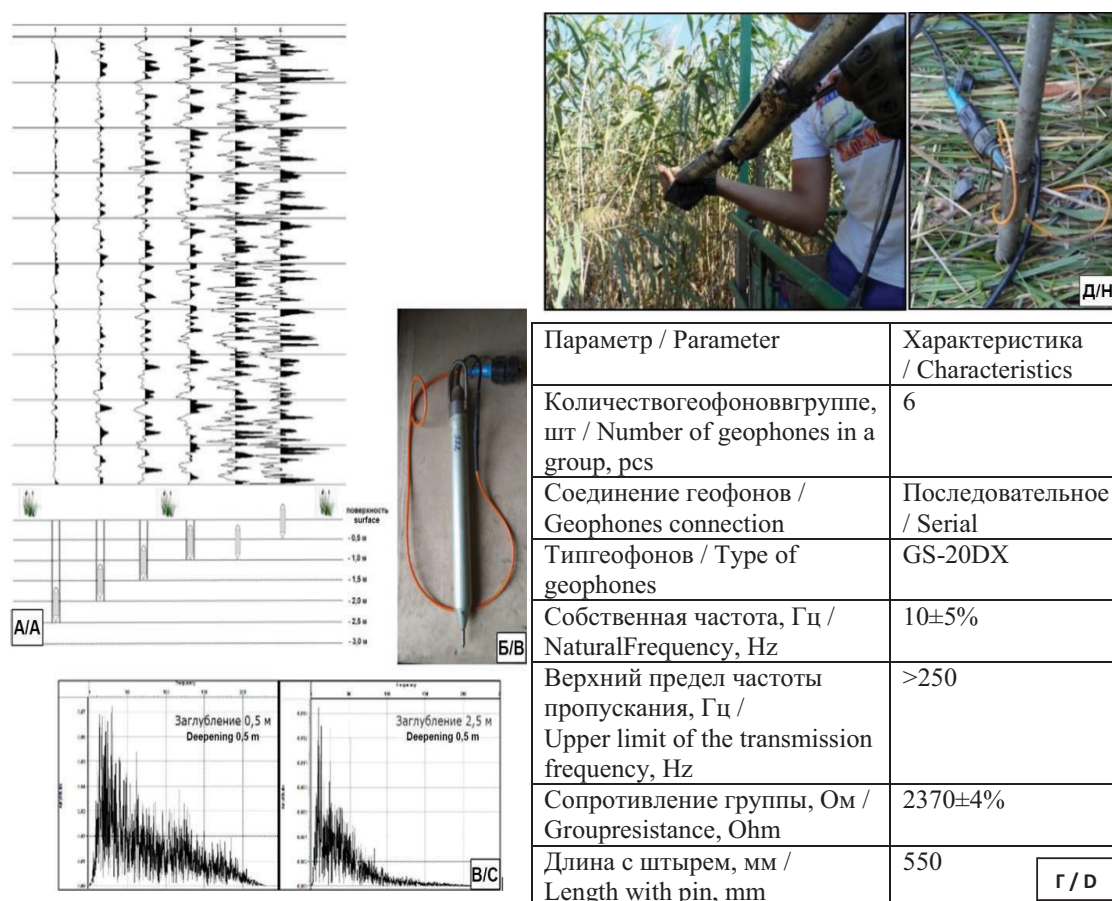


Рис. 2. Влияние заглубления маршфона на уровень микросейсм (А), внешний вид маршфона «СВГ-6» (Б), АЧ спектры записи с различным заглублением сенсора (В), характеристики датчиков СВГ-6 (Г), пример установки датчика «СВГ-6» (Д) /

Fig. 2. Effect of marshphone penetration to microseism level (A), marshphone SVG-6 appearance (B), amplitude spectra recording with different depth sensor (C), sensor characteristic of «SVG-6» (D), example of sensor installation «SVG-6» (H)

Верхняя часть разреза (ВЧР) площади характеризовалась неоднородным, резко меняющимся по вертикали и латерали, составом современных отложений с множеством непротяженных рефлекторов и рефракторов. Наличие загазованных осадков в придонном слое приводило к поглощению высокочастотной составляющей энергии сигнала, регистрируемые частоты на записи не превышали 30-40 Гц. При анализе полученных данных была отмечена прямая зависимость – увеличение мощности осадков в приповерхностном слое приводило к смещению частотного спектра в область низких частот [Мосякин, 2005, с. 40–41]. Характерное строение ВЧР и пример бурового шнека с глинистыми осадками приведены на рисунке 3.

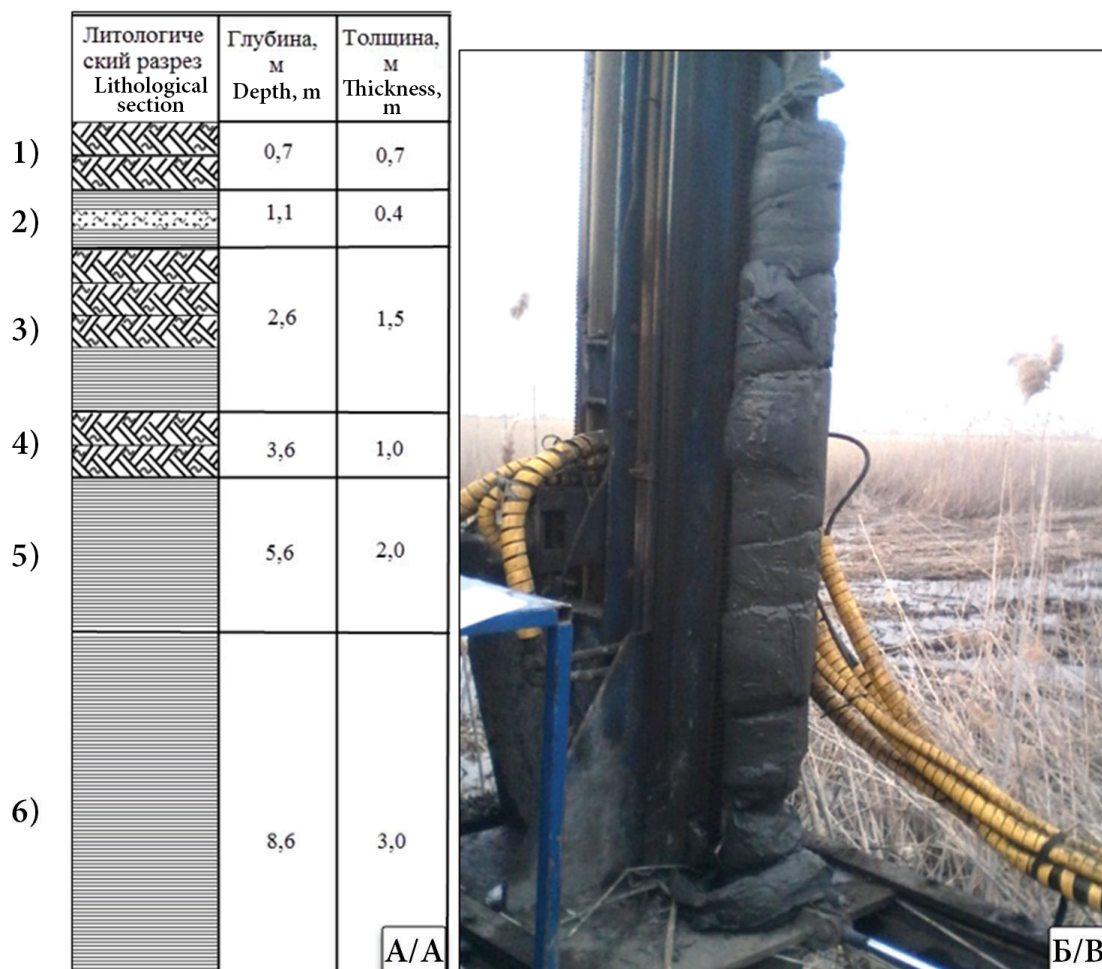


Рис. 3. Литологическое строение разреза (А), глинистые осадки в диапазоне глубин 6-8 м (Б).

1) Илстые отложения, корни камыша с включениями органических материалов

2) Тонкие чередующиеся прослои глин и песков

3) Тонкие прослои слабовязких глин с вкраплениями песка и ракушечника

4) Слабоконсолидированные илстые отложения с включениями ракушечника и песка

5) Глины вязкие, непластичные с примесью песка, ракушечника, ила

6) Голубые глины, вязкие, пластичные./

Fig. 3. Log of hole (A), clay sediments in the depth range 6-8 m (B).

1. Mud deposits, roots of reeds with inclusions of organic materials

2. Thin alternating interlayers of clay and sand

3. Thin layers of weakly viscous clays with splashes of sand and shell rock

4. Slightly consolidated silty sediments with shell rock and sand

5. Clays are viscous, non-plastic with admixtures of sand, shell rock, silt

6. Blue clay, viscous, plastic.

В разрезе скважины на глубине 5-6 м отмечались серо-голубые глины плотной консистенции, на глубине 2,5-4 м – пластичные глины с прослоями илистых отложений, от 0-2,5 м – рыхлая обводненная смесь ила с различного рода органическими остатками. Слабая консолидация первых метров разреза приводила к невозможности опережающего бурения. Это было связано с высокой вероятностью обвала ствола скважины. Для решения данной проблемы была разработана инновационная буровая установка с двумя пневмоисточниками, жестко закрепленными к опускающемуся в скважину направляющим (рис. 1 А), которая не только позволила решить эту проблему, но и повысить производительность полевой партии до 200 скважин в день.

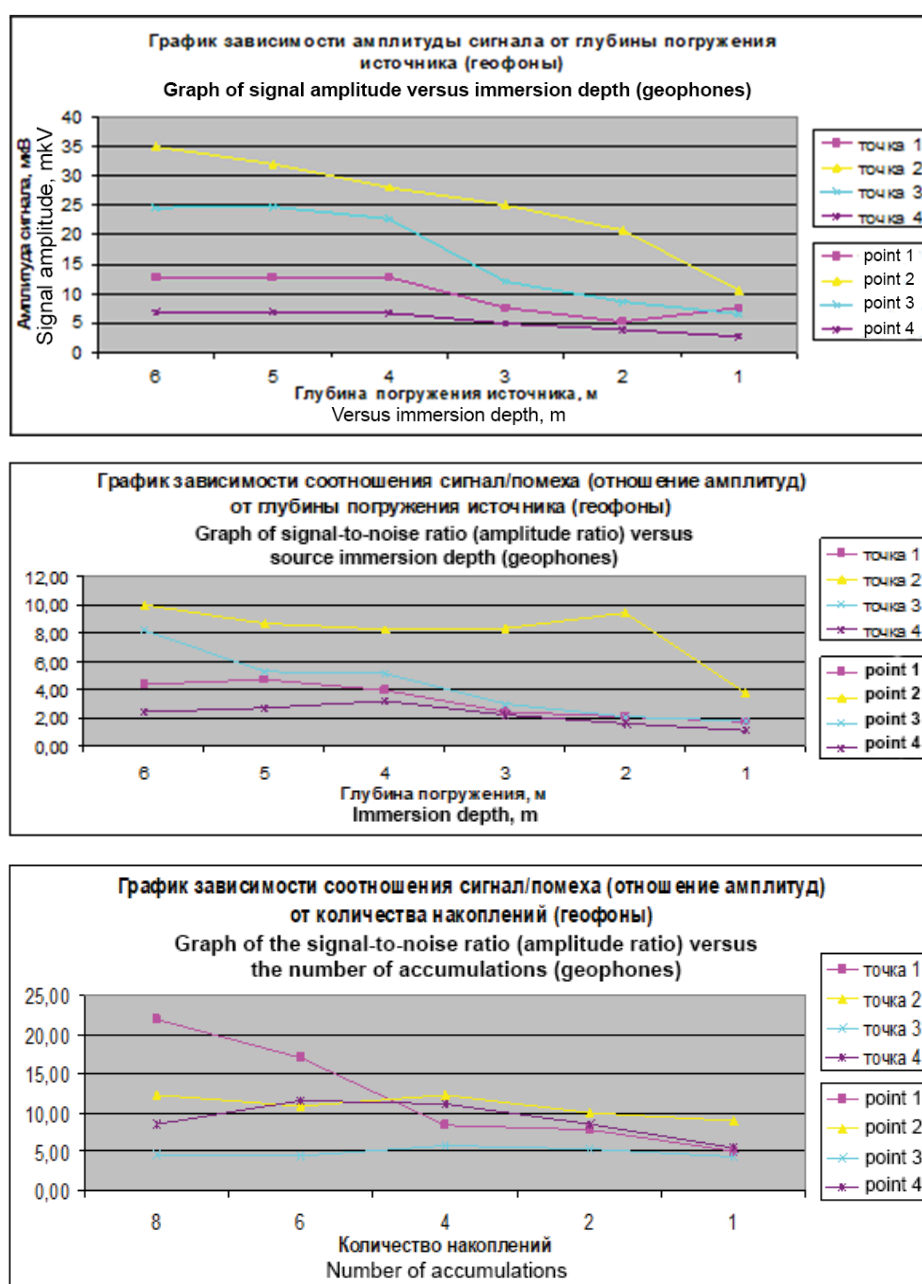


Рис. 4. Результаты опытно-методических работ по выбору заглубления ПИ. /
 Fig. 4. Results of experimental and methodological work.

Для подбора оптимальных параметров возбуждения и приема колебаний были проведены опытно-методические работы. По их результатам (рис. 4) можно сделать следующие выводы: оптимальное заглубление ПИ составляет 4 м. До этого значения наблюдается увеличение среднеквадратичных амплитуд записи в диапазоне целевых горизонтов. Однако при уменьшении среднеквадратичных амплитуд на реперных горизонтах глубину погружения ПИ необходимо увеличивать до 6-8 м [Fan, Xia, Zhao, 2009]. Оптимальное количество накоплений в одной точке 4-8, в зависимости от уровня микросейсм.

При проведении предварительной обработки данных вводились только априорные статические поправки. При этом, в связи с крайне неоднородным строением ВЧР необходимо проведение исследований ОГТ или МПВ с короткой базой расстановки и высокочастотным импульсным источником. Это позволит с высокой точностью определить мощность илистого слоя и подстилающей глинистой прослойки и затем, на этапе камеральной обработки, картировать ЗМС и ввести поправки в сейсмические данные, повысив качество результирующих суммарных разрезов [Gaoming, et al., 2016].

Проведение контроля качества сейсмических материалов

Полевые работы в болотистой местности характеризовались сложными поверхностными условиями, невозможностью использования стандартных технических средств регистрации и возбуждения колебаний, необходимостью комплексирования двух типов датчиков регистраторов (геофон, гидрофон) и т.д. [Тищенко, Тищенко, Жуков, 2011, с.70]. Оценка качества получаемого сейсмического материала осложнялась сильной изменчивостью поверхностных условий, отсутствием формализованного подхода к оценке получаемых атрибутов съемки, как например в сухопутной или морской сейсморазведке [Закариев, 2007, с. 84].

При проведении анализа полевого материала главным сейсмостратиграфическим репером являлся *Чокракский горизонт*, находящийся на времени 2,8-3,0 с (глубины 2600-3000 м). В основном он не перекрывался низкочастотными волнами помехами, в том числе кратными. Основная геологическая задача данных работ состояла в корреляции целевых горизонтов (Чокракская серия) на суммарных разрезах.

Следующий сейсмический репер – *Меловая серия осадков*, отражения от которой прослеживались на временах 4,5-4,9 с. Данный реперный горизонт использовался для визуального экспресс-анализа качества сейсмограмм, т.к. было выявлено, что его уверенное прослеживание соответствует отношению сигнал/помеха больше двух. Основные маркирующие отражения присутствовали на всех первичных сейсмограммах, однако имели разную визуальную прослеживаемость. В большинстве случаев прослеживаемость зависела от сейсмогеологических условий возбуждения и приема сейсмических колебаний (рис. 5 В, Г).

В ходе выполнения работ отмечалось многократное изменение поверхностных условий возбуждения/приема колебаний, о чем свидетельствуют данные значений медианных амплитуд (рис. 5Б) в окнах, содержащих сигнальную часть записи (рис. 5А). В связи с этим возникала необходимость проведения оценки качества получаемых данных в изменяющихся сейсмогеологических условиях. Для решения проблемы применялся комплексный анализ закономерностей изменения основных атрибутов съемки, в том числе и отношения сигнал/помеха (S/N) [Chen, et al., 2008].

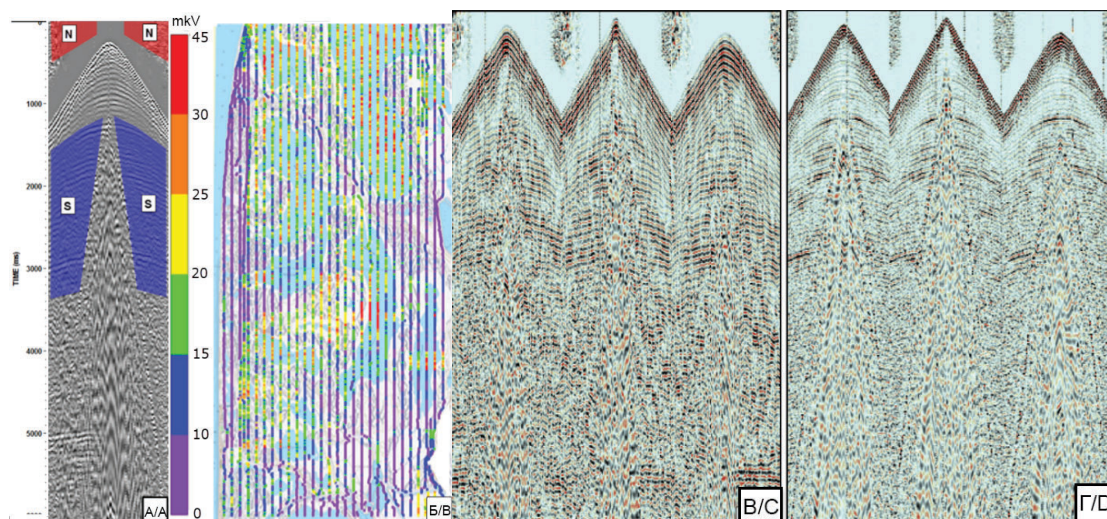


Рис. 5. Фрагмент типичной сейсмограммы (А) и распределение медианных амплитуд сигнала на площади (Б) и фрагмент сейсмограммы с ярко выраженным явлением реверберации (В) и «высокочастотной» составляющей записи (Г) / Fig. 5. Fragment of typical seismogram (A) signal median amplitude distribution (B) reverberation effect (C) high-frequency data (D)

Анализ качества сейсмических данных включал поиск закономерностей получаемых атрибутов (медианные амплитуды, доминантные частоты, ширина спектра, соотношение сигнал/помеха), зависящих от поверхностных условий в местах уста-

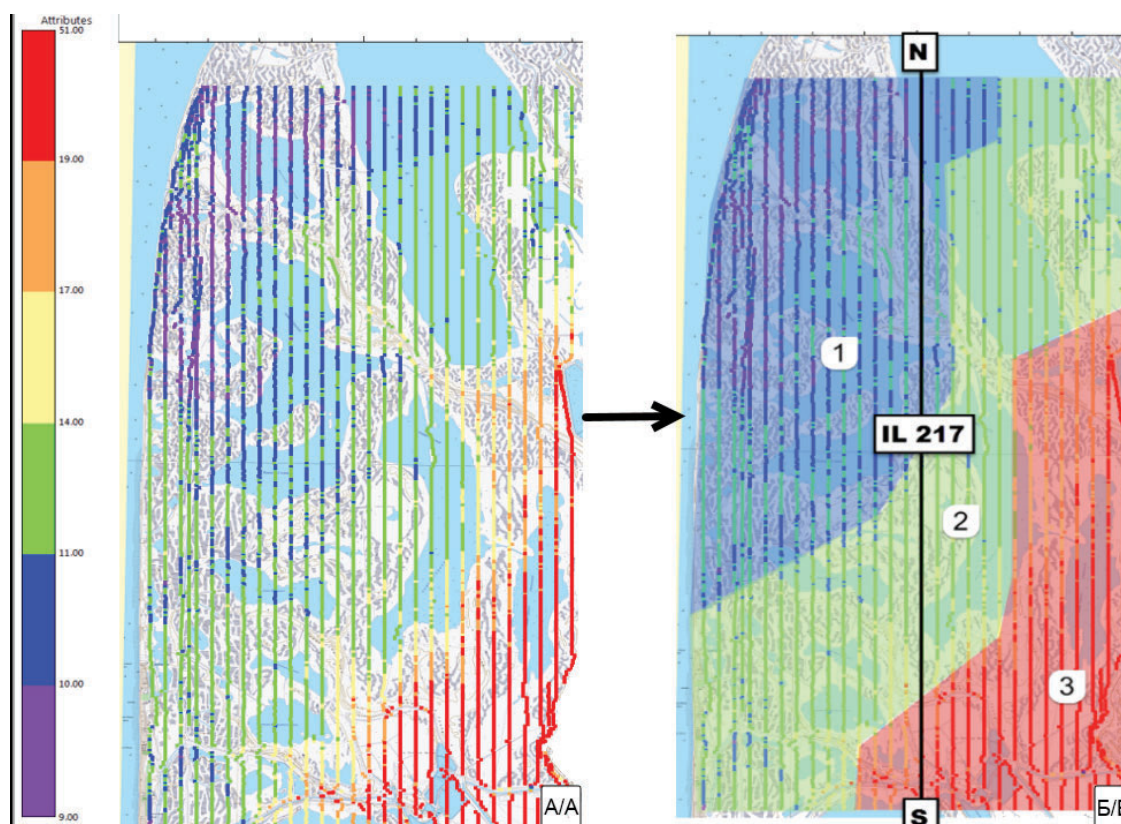


Рис. 6. Распределение значений доминантных частот (А) и схематичное деление района по данному критерию (Б) / Fig. 6. Dominant frequencies distribution (A) schematic division of the area according frequency criterion (B)

новки сенсоров и условий возбуждения колебаний. Анализ полученных значений основных атрибутов, совмещение результатов расчёта с топоосновой и корреляция изменения параметров между собой позволили осуществить корректную оценку кондиционности получаемых данных [Yaoping, 2015].

В качестве примера приведены значения доминантных частот записи, которые имеют прямую зависимость от приведенных выше факторов (рис. 6). Полученные результаты позволяют оценить возможную разрешающую способность записи. Как видно из рисунка 6 (А, Б), площадь работ на основе рассчитанных атрибутов по первичным сейсмическим данным можно разделить на три зоны (области низких (1), средних (2) и высоких (3) частот).

Разрез по линии Inline 217 представлен на рисунке 7. На рисунке приведен пример изменения частот полезных отражений, а, следовательно, и разрешающей способности. Наиболее контрастно данный параметр изменяется в верхней части разреза. Приведенные амплитудно-частотные (АЧ) спектры подтверждают визуальную оценку временных разрезов и корреляцию зон, как по первичным данным, так и по результатам полевой экспресс обработки [Johnston, 1980; Keller, Kolodner, 1956; Nooteboom, 1978, Vaage, Haugland, Utheim, 1983; Giles, Johnstom, 1973].

Подход к анализу качества материала строился на значениях основных атрибутов съемки, данных топогеодезического отряда (абрисы профилей), буровзрыв-

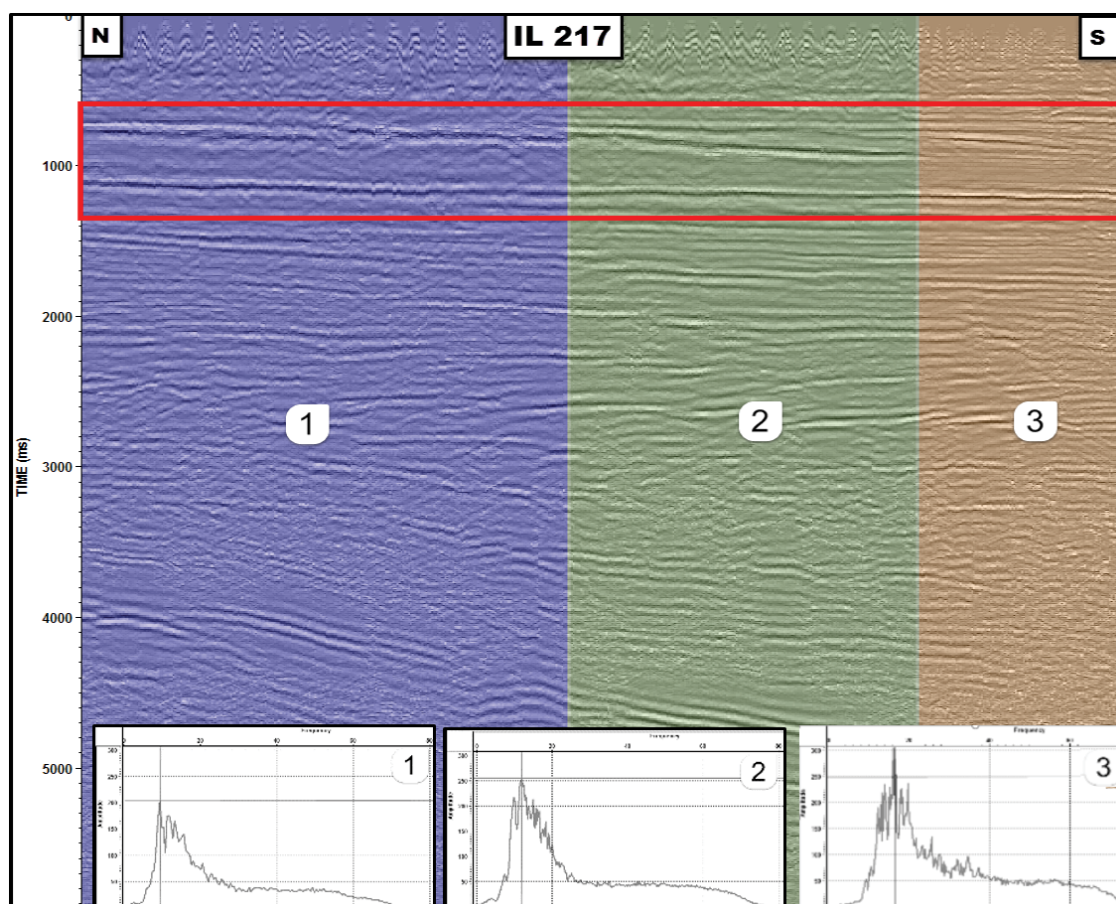


Рис. 7. Предварительный временной разрез IL 217, разделенный на 3 зоны по признаку отличия значений доминантных частот и его АЧ спектры. / Fig. 7. Preliminary time section IL 217, divided into 3 zones on the dominant frequencies differences.

ного отряда (литологическое строение ствола скважины) и метеорологических данных.

Использование комплексного подхода к процедуре контроля качества позволило определить объективные критерии оценки первичных данных, что в свою очередь явилось определяющим условием для сбора сейсмических материалов высокого качества, последующая обработка которых позволит решить поставленные геологические задачи [Mougenot, 2005].

Выводы

Лиманно-плавневые зоны как объект исследований характеризуются повышенной сложностью проведения сейсморазведочных работ. Это связано с практической невозможностью использования стандартных методов сейсмической разведки. Для проведения работ АО «Южморгеология» были разработаны специальные вездеходные средства амфибийного типа и инновационная буровая установка, что позволило достичь высокой производительности полевой партии (до 200 скважин в день) и отказаться от технологии опережающего бурения.

Результаты неоднократно проводимых опытно-методических работ позволили определить оптимальные условия возбуждения и регистрации колебаний:

- Глубина задавливания маршфонов в почву должна составлять не менее 1-2,5 м для минимизации негативного влияния внешнего шума от корневой системы камышовой растительности;
- Минимальная глубина погружения пневмоисточников должна составлять не менее 4 м, при уменьшении среднеквадратичных амплитуд на реперных горизонтах необходимо увеличивать глубину погружения до 6-8 м;
- Система наблюдений должна иметь максимальные удаления равные 0,9-1,0 глубины залегания основного каптируемого горизонта;
- Рекомендуется использование группового ПИ, монтирующегося на вездеходы амфибийного типа с целью увеличения амплитудной выразительности сейсмической записи и повышения отношения сигнал/помеха;
- Для введения статических поправок за ЗМС рекомендуется проведение инженерных изысканий с применением импульсного источника и короткой базы приемной расстановки.

Реализация этапа контроля качества в подобных условиях не предусматривает формального подхода. Решение о кондиционности получаемых данных обязательно должно приниматься по результатам комплексного анализа всех атрибутов сейсмической записи, топогеодезических данных о поверхностных условиях, данных геологической документации буровых скважин. Данный подход позволит исключить возможные сомнения в качестве работы регистрирующего и излучающего комплексов при получении разнородного материала.

Литература

1. Закариев Ю.Ш. и др. Оценка качества полевых сейсмических данных и основные факторы, влияющие на него // Геофизика. – 2007. – №4. – С. 82-92.
2. Захаров Н.В. К вопросу оценки качества сейсмических материалов в условиях транзитных зон / Н.В. Захаров, А.В. Рудаков // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2011. – №4. – С. 24-26.

3. Захаров Н.В., Шумский Б.В. Технология и технические средства для сейсмических исследований на мелководье и транзитных зонах // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2005. – Т. 11, № 1. – С. 23-26.
4. Захаров Н.В., Шумский Б.В., Рудаков А.В. Техника и технология сейсмических исследований в условиях предельного мелководья и выполнения "бесшовной" съёмки на границе вода-суша // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2012. – Т. 41, № 3. – С. 45-52.
5. Жгенти С.А. Технология и опыт применения системы XZone Marsh Line при 2D- и 3D- сейсмических исследованиях на предельном мелководье транзитных зон / С.А. Жгенти, Б.В. Запорожец // Технологии сейсморазведки – 2005. – С. 32-33.
6. Кириллов С.А., Горбунов В.И. Роль геофизических исследований в нефтегазовом сервисе при разведке и сопровождении разработки месторождений углеводородов // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2008. – № 2. – С. 5-8.
7. Кондратьев О.К. Автоматизированные системы оценки качества сейсмограмм и волновых сейсмических разрезов ОГТ // Технологии сейсморазведки – 2002. – № 1. – С. 3-12.
8. Мосякин, А.Ю. Особенности сейсморазведки в лиманно-плавневой зоне Краснодарского края / А.Ю. Мосякин // Приборы и системы разведочной геофизики: Ежеквартальное официальное издание Саратовского отделения ЕАГО – 2005. – № 1. – С. 40-41.
9. Тищенко И.В., Тищенко А.И., Жуков А.А. Алгоритмы и критерии оценки качества полевых сейсмических записей // Технологии сейсморазведки. – 2011. – № 2. – С. 40-48.
10. Тищенко И.В., Тищенко А.И., Жуков А.А. Контроль качества сейсмических данных – проблемы и решения // Технологии сейсморазведки. – 2008. № 3. – С. 68-77.
11. Aouad A., Taylor R., Millar N. Seismic on the edge – a 3D transition zone seismic survey from concept to final volume // 22nd International Geophysical Conference and Exhibition, 26-29 February 2012 – Brisbane, Australia
12. Chen, H. L., H. Y. Quan, G. P. Yu, W. D. Li, and Y. Y. Liu, 2008, The review of air-gun source theory and technique: Geophysical Equipment, 18, no. 4, P. – 211-217 (in Chinese).
13. Gaoming C., et al BGP, CNPC / Real-time quality control technology of transitional zone seismic acquisition // SPG/SEG Beijing 2016 International Geophysical Conference
14. Fan, H. W., P. L. Xia, and Z. X. Zhao, 2009, Application of muddy gun source in seismic exploration: Geophysical Equipment, 19, no. 3, P. – 141-144 (in Chinese)
15. Giles, B. F., and R. C. Johnston, 1973, System approach to airgun array design: Geophysical Prospecting, 21, no. 1, P. – 77-101,
16. Johnston, R. C., 1980, Performance of 2000 and 6000 PSI air guns: Theory and experiment: Geophysical Prospecting, 28, no. 5, P. – 700-715
17. Keller, J. B., and I. I. Kolodner, 1956, Damping of underwater explosion bubble oscillations: Journal of Applied Physics, 27, no. 10, P. – 1152-1161
18. Liu Lei, Liang Baojun, Tong Liqing, Ding guandong, Niu jinfu, Shi Xu, Zhang Xiaoming, Yu yaoping / BGP Inc., CNPC Key Technology and Application of OBC Acquisition in Bohai Bay
19. Mougenot D. Транзитная зона, последний рубеж сейсморазведки: приборы и системы разведочной геофизики (ENG) // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2005. – № 1. – С. 10-13

20. Nooteboom, J. J., 1978, Signature and amplitude of linear airgun arrays: *Geophysical Prospecting*, 26, no. 1, P. – 194-201.
21. Porter T. R., Archer J. Command & Control of Seismic Operations // SEG Annual Meeting 1999 October, 1999.
22. Vaage, S., K. Haugland, and T. Utheim, 1983, Signature from single airguns: *Geophysical Prospecting*, 31, no. 1, P. – 87-97
23. Yaoping Yu, Haolin Chen, Hongjun Zhang, Xiaodong Li, and Chengzhou Ni, BGP CNPC / The experimental research of air-gun source in muddy conditions // SEG New Orleans Annual Meeting 2015 SEG

GEOPHYSICAL METHODS

DOI 10.23671/VNC.2019.1.26791

Specificity of the seismic material obtained in complex seismo geological conditions (swamp zone)

A. A. Levitskiy¹, A. V. Rudakov^{1, 2}, M. S. Levitskaya¹

JSC «Yuzhmorgeologiya», 20 Krymskaya Str., Gelendzhik 353461, Russia
e-mail: levitskiy@ymg.ru

²GGE «YMGSeis», 20 Krymskaya Str., Gelendzhik 353461, Russia
e-mail: rudakov@ymg.ru

Abstract. The main objective of the work is the description of new technical and methodological tools used by Yuzhmorgeologiya JSC when conducting CDP 3D field seismic surveys in the estuaries of the Slavyansk district of the Krasnodar Region in 2014-2015. The main results of the experimental work are presented; the choice of survey parameters and their impact on the quality of the seismic recording is validated: digging-in of the seismic source points BOLT 2200LL-BHS, the number of excitation accumulations and the required depth of recorder sensors. Geophones «SVG-6» were used as sensors of the recorders, which were crushed with a metal pole with a fastening at the end to a depth of 1.0-2.5 m until steady contact with a solid surface (dense soil, clay base) was achieved, reducing the negative impact noise (microseism) from the root system of reeds (Fig. 2A, B). Grouping the SVG-6 with six consecutive geophones (GS-20DX) increased the sensitivity of the equipment to weak signals being excited in a weakly consolidated layer, and its robust design and metal eye, made it possible to extract the geophone from a well completely filled with water and sludge.

The basic properties of the upper part of the section (near-surface section) of the studied area are given according to the drilling data with a brief description of the lithological characteristics of the section to a depth of 10 m. Seismograms obtained at one site in different seismic and geological conditions are shown. The dependence of the distribution of values of root-mean-square amplitudes and dominant frequencies over the area on the surface conditions of excitation and reception of vibrations is revealed. This dependence is also observed in the preliminary time sections. The main factors affecting the quality of the obtained seismic material were analyzed. Based on the present study, the authors validate the need for the use of an integrated approach to analyzing the quality of seismic data when working under complex seismic and geological conditions. As a conclusion, the main recommendations for seismic exploration in the estuaries are presented.

Keywords: 3D seismic surveys, estuaries, Krasnodar Territory, Slavyansk District, Yuzhmorgeologiya JSC, analysis of the quality of seismic material, downhole seismic source point, geophone "SVG-6".

For citation: Levitskiy A. A., Rudakov A. V., Levitskaya M. S. Specificity of the seismic material obtained in complex seismo geological conditions (swamp zone). *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019; 9(1): 97-109. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26791.

References

1. Zakariyev Y, et al. Evaluation of the quality of field seismic data and the main factors affecting it. *Geophysics*. 2007. No. 4. Pp. 82-92 (in Russ).
2. Zakharov N. V., Rudakov A. V. To a question of an estimation of quality of seismic data in the conditions of transit zones. *Devices and systems of exploration geophysics*. 2011. No. 4. Pp. 24-26. (in Russ.)
3. Zakharov N. V., Rudakov A. V. On the issue of assessing the quality of seismic materials in transit zones. *Devices and Systems of Exploration Geophysics*. 2005. Vol. 11. No. 1. Pp. 24-26 (in Russ).
4. Zakharov N. V., Shumsky B. V., Rudakov A. V. Technique and technology of seismic studies in conditions of extreme shallow water and performing "seamless" shooting at the water-land boundary. 2012. Vol. 41, No. 3. Pp. 45-52 (in Russ).
5. Zhgenti S. A. Technology and experience of application of XZone Marsh Line system at 2D – and 3D-seismic researches on extreme shallow water of transit zones. *Seismic Technologies*. 2005. Pp. 32-33 (in Russ).
6. Kirillov S. A., Gorbunov V. I. The role of geophysical research in the oil and gas service in the exploration and support of the development of hydrocarbon deposits. *Devices and systems of exploration geophysics*. 2008. No 2. Pp. 5-8 (in Russ).
7. Kondratiev O. K. Automated systems for quality assessment of seismograms and wave seismic sections of CMP. *Seismic Technologies*. 2002. No 1. Pp. 3-12 (in Russ).
8. Mosyakin A. Yu. Features of seismic exploration in the liman-flooded zone of the Krasnodar Krai. *Devices and systems of exploration geophysics*. 2005. No. 1. Pp. 40-41. (in Russ.)
9. Tischenko I. V., Tischenko A. I., Zhukov A. A. Algorithms and criteria for assessing the quality of field seismic records. *Seismic Technologies*. 2011. No 2. Pp. 40-48 (in Russ).
10. Tischenko I. V., Tischenko A. I., Zhukov A. A. Quality control of seismic data – challenges and solutions. *Seismic Technologies*. 2008. No. 3. Pp. 68-77 (in Russ).
11. Aouad A., Taylor R., Millar N. Seismic on the edge – a 3D transition zone seismic survey from concept to final volume. 22-nd International Geophysical Conference and Exhibition, 26-29 February 2012, Brisbane, Australia.
12. Chen, H. L., et al., 2008, The review of air-gun source theory and technique: *Geophysical Equipment*, 18, No. 4, Pp. 211-217 (in Chinese).
13. Gaoming C., et al. BGP, CNPC Real-time quality control technology of transitional zone seismic acquisition. SPG/SEG Beijing 2016 International Geophysical Conference.
14. Fan, H. W., Xia P. L., Zhao Z. X. Application of muddy gun source in seismic exploration: *Geophysical Equipment*, 19. – 2009. No. 3, Pp. 141-144 (in Chinese).
15. Giles, B. F., and R. C. Johnston, 1973, System approach to airgun array design: *Geophysical Prospecting*, 21, No. 1, Pp. 77-101,
16. Johnston, R. C., 1980, Performance of 2000 and 6000 PSI air guns: Theory and experiment: *Geophysical Prospecting*, 28, No. 5, Pp. 700-715.
17. Keller, J. B., and I. I. Kolodner, 1956, Damping of underwater explosion bubble oscillations: *Journal of Applied Physics*, 27, No. 10, Pp. 1152-1161.
18. Liu Lei, Liang Baojun, Tong Liqing, Ding guandong, Niu jinfu, Shi Xu, Zhang Xiaoming, Yu yaoping. BGP Inc., CNPC Key Technology and Application of OBC Acquisition in Bohai Bay (in Russ).

19. Mougenot D. Transit zone, the last frontier of seismic prospecting: instruments and systems of exploration geophysics. *Journal of Devices and Systems of Exploration Geophysics*. 2005. No. 1. Pp. 10-13.

20. Nooteboom, J. J., 1978, Signature and amplitude of linear airgun arrays: *Geophysical Prospecting*, 26, no. 1, P. – 194-201.

21. Porter T. R., Archer J. Command & Control of Seismic Operations. SEG Annual Meeting 1999 October. 1999.

22. Vaage, S., K. Haugland, and T. Uthheim, 1983, Signature from single airguns: *Geophysical Prospecting*, 31, No. 1. Pp. 87-97.

23. Yaoping Yu, Haolin Chen, Hongjun Zhang, Xiaodong Li, and Chengzhou Ni, BGP CNPC / The experimental research of air-gun source in muddy conditions. SEG New Orleans Annual Meeting. 2015.

УДК 550.34.016

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792

Анализ динамических характеристик здания комплексной конструкции с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения

Дж. К. Карапетян, к. геол. н., О. Ю. Айрапетян, Д. А. Мхитарян, к. т. н.

Институт геофизики и инженерной сейсмологии им А. Назарова НАН РА,
Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5
e-mail: jon_iges@mail. ru; hhmy39@gmail. com;
dolores. mhitaryan@yandex. ru

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы изучения поведения зданий и сооружений в натурных условиях. Статья посвящена теме исследования динамических характеристик жилого здания с неполным каркасом. Авторы предложили осуществлять изучение поведения зданий с помощью мобильной сейсмостанции нового поколения, состоящей из трех сейсмоприемников – типа модернизированных сейсмоточечников СМ-3, логгер, производства ИГИС НАН РА, оснащённых беспроводной сетью, что обеспечивает связь с ноутбуком.

Приводятся результаты исследований динамических характеристик жилого здания комплексной конструкции с помощью специальной мобильной сейсмостанции, разработанной в ИГИС НАН РА. В процессе эксплуатации зданий их техническое состояние изменяется. Это выражается изменением количественных характеристик работоспособности (надёжности), в частности, динамических характеристик зданий. Нами была поставлена задача: исследование динамических характеристик жилого здания комплексной конструкции и проверка его технического состояния, сравнение динамических характеристик с данными, полученными в ранее проведённых работах, а также сопоставление динамических характеристик грунтов их оснований. Замер колебаний осуществлён с помощью микросейсм. При таких измерениях необходимо избегать влияния движения транспортных средств и других постоянных источников генерации колебаний грунтов и зданий. Поэтому измерения были произведены в ночное время для того, чтобы колебания грунтов и здания были вызваны только естественными микросейсмами. Одним из важнейших преимуществ микросейсмических исследований является то, что количество микроимпульсов, регистрируемых на поверхности Земли и на зданиях и сооружениях, чрезвычайно велико, поэтому имеется возможность за короткие сроки без особых затрат получать большое количество информации для спектрального анализа. Эта информация позволяет решать ряд важных задач научного и практического характера.

Проведён сравнительный анализ полученных путем инструментальных наблюдений динамических характеристик здания и имевшихся ранее аналогичных данных. Выявлены закономерности изменения динамических характеристик в зависимости от длительности эксплуатации здания, в результате чего произведена оценка его фактического технического состояния.

Ключевые слова: микросейсмы, динамические характеристики, спектр Фурье, спектральный анализ, микросейсмическое исследование.

Для цитирования: Карапетян Дж. К., Айрапетян О. Ю., Мхитарян Д. А. Анализ динамических характеристик здания комплексной конструкции // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 110-121. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792.

Введение

Изучение поведения зданий и сооружений в натуральных условиях является важной научно-прикладной задачей. Исследование зданий в натуральных условиях является актуальным, особенно на территории Армении, учитывая ее высокую сейсмичность, и с точки зрения их безопасной эксплуатации, поскольку разрушение этих зданий может привести к большим материальным потерям и к человеческим жертвам.

В процессе эксплуатации зданий их техническое состояние изменяется. Это выражается в изменении количественных характеристик работоспособности (надёжности), в частности, динамических характеристик зданий. Нами была поставлена задача: исследование динамических характеристик жилого здания комплексной конструкции и проверка его технического состояния, сравнение динамических характеристик с данными, полученными в ранее проведённых работах [Хачиян, 1973], а также сопоставление динамических характеристик грунтов их оснований.

Изучение поведения зданий осуществлялось с помощью мобильной сеймостанции нового поколения, состоящей из трех сейсмоприемников – типа модернизированных сейсмодатчиков СМ-3 (рис. 1а) (два горизонтальных (Н) – X, Y, один вертикальный (V) – Z), общего блока (логгер) преобразования (рис. 1б), управления и регистрации производства ИГИС НАН РА, оснащённых беспроводной сетью, что обеспечивает связь с ноутбуком [Карапетян и др., 2017, Karapetyan et al., 2018]. С помощью этого блока можно следить за записями (частота записи – 200 отсчетов в секунду) в реальном режиме, которые представляются на мониторе ноутбука с помощью специально разработанной программы.

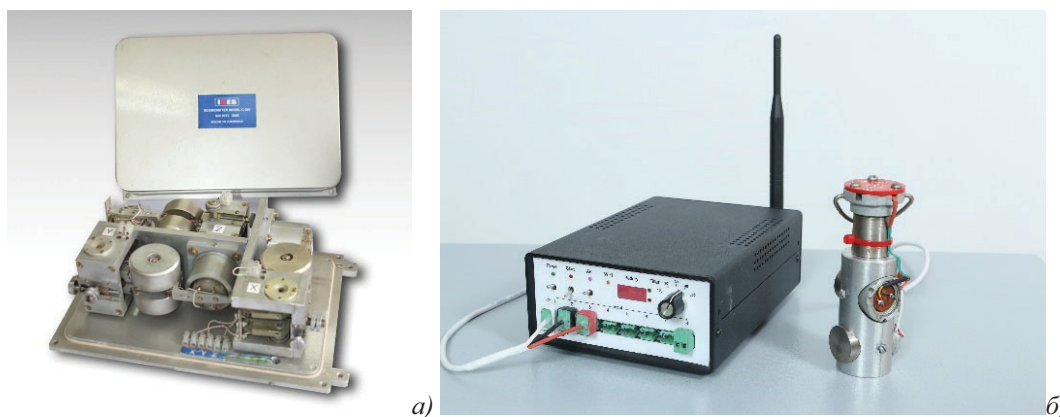


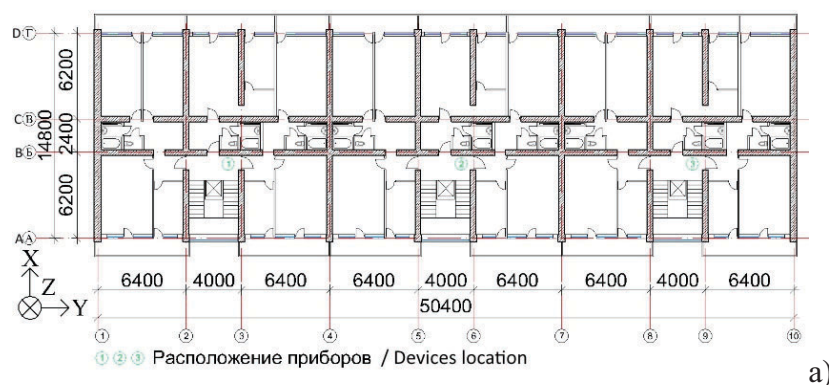
Рис. 1. а) трехкомпонентный velocimeter, б) логгер /
Fig. 1. a) three-component velocimeter, b) logger

Замер колебаний осуществлен с помощью микросейсм. При таких измерениях необходимо избегать влияния движения транспортных средств и других постоянных источников генерации колебаний грунтов и зданий. Поэтому измерения были произведены в ночное время для того, чтобы колебания грунта и здания были вызваны только естественными микросейсм.

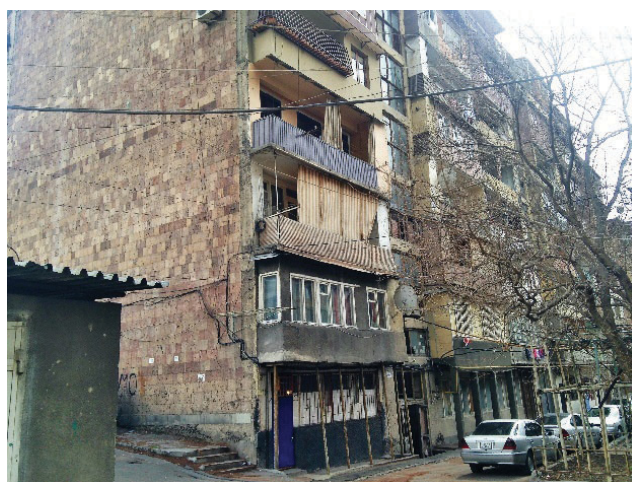
Одним из важнейших преимуществ микросейсмических исследований является то, что количество микроимпульсов, регистрируемых на поверхности Земли и на зданиях и сооружениях, чрезвычайно велико, поэтому имеется возможность за короткие сроки без особых затрат получать большое количество информации для спектрального анализа. Эта информация позволяет решать ряд важных задач науч-

ного и практического характера [Kawase et al., 2014; Okada, 2003; Zaalishvili et al., 2016]. Этот способ исключительно прост, и поэтому может быть использован для массовых испытаний в различные периоды эксплуатации сооружения [Карапетян, 1967; Карапетян и др., 2017; Савин и др., 2008, 2011; Хачиян, 1973, 2015; Ditommaso et al., 2012]. Натурные испытания по изучению поведения зданий и сооружений проводились Ю. Накамурай, Н. К. Капустяном, С. Савиным, Г. И. Аносовым и другими учеными [Аносов и др., 2010; Капустян и др., 2013; Савин и др., 2008; Karustian et al., 2013; Nakamura et al., 1997, 2000, 2008]. В Армении исследования жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений с помощью натурных испытаний были проведены Б. К. Карапетяном, Э. Е. Хачияном и другими учеными [Карапетян, 1967; Хачиян, 1973, 2015, Kobayashi et al., 1989, Karapetyan et al., 2013].

Особенно хотим отметить, что в начале 1970-х гг. в городе Ереване были проведены серии натурных экспериментальных исследований по определению периодов и форм колебаний ряда зданий повышенной этажности с различными конструктивными схемами под руководством Э. Е. Хачияна, с участием В. А. Закаряна [Хачиян, 1973]. В результате этих экспериментов были определены периоды 41 каркасного жилого здания, 20 каркасных общественных зданий и 17 комплексных и блочнокаркасных жилых зданий с различными конструктивными схемами. Периоды колебаний определялись как в поперечном, так и в продольном направлениях. По одной из конструктивных схем были проведены испытания 8-ми зданий. В конструктивном



a)



б)

Рис. 2. а) схематический план и б) общий вид здания /
Fig. 2. a) a schematic plan and b) a general view of the building



Рис. 3. Размещение измерительных приборов: а) внутри здания и б) на грунте /

Fig. 3. Placement of measuring devices: a) inside the building and b) on the ground

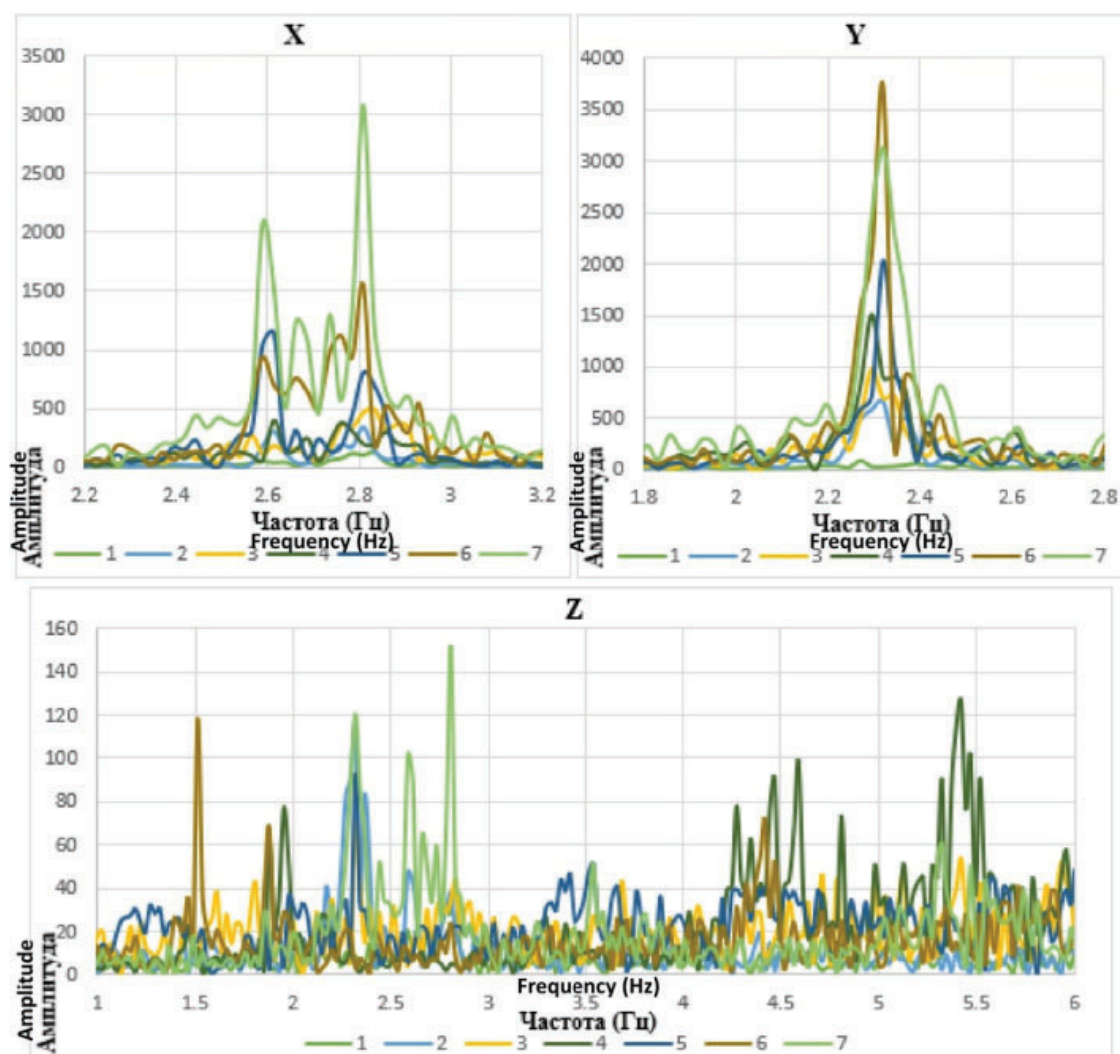


Рис. 4. Спектры Фурье, полученные для здания на всех этажах в X, Y и Z направлениях /

Fig. 4. Fourier spectra obtained for the building on all floors in the X, Y and Z directions

отношении эти здания каменные с частично армированной кладкой и железобетонными стойками, скрытыми в теле кладки, то есть имеют комплексную конструкцию [Хачиян, 1973].

Экспериментальные исследования

Схема зданий в плане имеет прямоугольную форму с размерами $50,4 \times 14,8$ м (рис. 2а), с подвальным и 7 надземными этажами – высотой 21,1 м, а высота этажей составляет 3 м. Полученные значения периодов основного тона свободных колебаний для этих 8 зданий в поперечном направлении находятся в пределах 0,32–0,36 с; в продольном направлении – в пределах 0,35–0,45 с [Хачиян, 1973].

Нами было проведено натурное исследование одного из вышеотмеченных зданий. Здание было построено в 1969 году, расположено по адресу Гераци, 22 (рис. 2б). Основанием здания служат валунно-гравийные грунты с песчаным заполнением.

Измерения проводились на каждом этаже, а также на грунте основания здания (рис. 3). Определялись периоды колебаний здания и грунта основания как в поперечном T_x , так и в продольном T_y и вертикальном T_z направлениях. Был выполнен спектральный анализ по измерениям инструментальной записи (рис. 4 и 5).

Определены динамические характеристики (частота, период, амплитуда, декремент затуханий) здания и грунта. Эти значения в обоих перпендикулярных горизонтальных направлениях и в вертикальном направлении приведены в таблице 1 для первой секции здания, таблице 2 – для 2-й секции и таблице 3 – для 3-й секции.

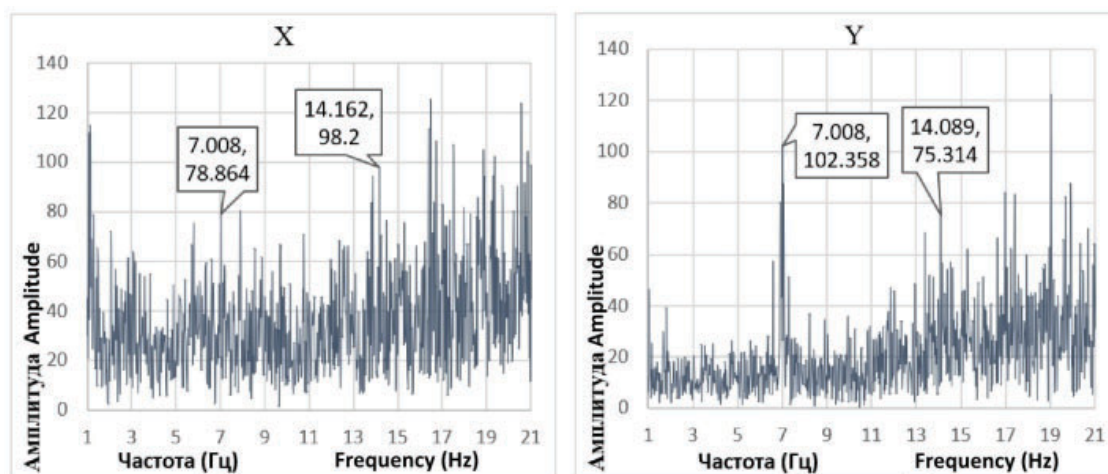


Рис. 5. Спектры Фурье, полученные для грунта основания здания в X, Y направлениях /
Fig. 5. Fourier spectra obtained for the foundation soils of the building in X, Y directions

Анализ данных измерений здания показывает, что значения собственных колебаний здания для 1-й секции в направлении X: среднее значение составляет 0,363 с (частота: 2,759 Гц), но в общем спектре Фурье от всех этажей проявляются несколько преобладающих пиков в диапазоне 2,61–2,83 Гц, среднее значение в направлении Y составляет 0,434 с (частота: 2,306 Гц), а среднее значение в направлении Z составляет 0,435 с (частота: 2,348 Гц).

Для 2-й секции в направлении X: среднее значение составляет 0,36 с (частота: 2,777 Гц), среднее значение в направлении Y составляет 0,431 с (частота: 2,32 Гц), а среднее значение в направлении Z составляет 0,412 с (частота: 2,445 Гц).

Для 3-й секции в направлении X: среднее значение составляет 0,36 с (частота: 2,777 Гц), среднее значение в направлении Y составляет 0,432 с (частота: 2,316 Гц), а среднее значение в направлении Z составляет 0,417 с (частота: 2,41 Гц).

Таблица 1 / Table 1.

**Динамические характеристики 1-й секции здания и грунтов основания /
Dynamic characteristics of the 1st section of the building and the foundation soils**

Компон. / Compon.	1-я секция здания / 1st section of the building								
	X			Y			Z		
Этаж / Floor	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)
Грунт / Soil	7,008	78,65	0,143	7,008	102,36	0,143	7,594	32,5	0,132
1	2,832	133,97	0,353	2,271	88,11	0,440	2,832	42,68	0,353
2	2,808	346,97	0,356	2,32	652,74	0,431	2,32	113,96	0,431
3	2,832	503,4	0,353	2,295	984,45	0,436	2,32	69,58	0,431
4	2,613	409,86	0,383	2,295	1504	0,436	1,953	77,245	0,512
5	2,613	1139	0,383	2,32	2035	0,431	2,32	92,98	0,431
6	2,808	1545	0,356	2,32	3728	0,431	1,88	68,3	0,532
7	2,808	3080	0,356	2,32	3121	0,431	2,808	151,35	0,356
Среднее / Mean	2,759	-	0,363	2,306	-	0,434	2,348	-	0,435

Таблица 2 / Table 2.

**Динамические характеристики 2-й секции здания /
Dynamic characteristics of the 2nd section of the building**

Компон. / Compon.	2-я секция здания / 2nd section of the building								
	X			Y			Z		
Этаж / Floor	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)
1	2,784	167	0,359	2,344	79,34	0,427	2,784	51,01	0,359
2	2,832	305,54	0,353	2,295	298,77	0,436	2,295	53,76	0,436
3	2,784	780,58	0,359	2,32	852,11	0,431	2,32	56,63	0,431
4	2,808	1133	0,356	2,32	1043	0,431	2,32	195,85	0,431
5	2,613	1106	0,383	2,295	1253	0,436	2,295	59,04	0,436
6	2,808	1756	0,356	2,32	2909	0,431	2,295	104,34	0,436
7	2,808	3822	0,356	2,344	1685	0,427	2,808	152,95	0,356
Среднее / Mean	2,777	-	0,360	2,320	-	0,431	2,445	-	0,412

Таблица 3 / Table 3.

**Динамические характеристики 3-й секции здания /
Dynamic characteristics of the 3rd section of the building**

Компон. / Compon.	3-я секция здания / 3rd section of the building								
	X			Y			Z		
Этаж / Floor	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)	Част. (Гц) / Freq. (Hz)	Амплит. / Amplit.	Период (с) / Period (s)
1	2,784	199,79	0,359	2,32	203,28	0,431	2,784	56,48	0,359
2	2,808	255,85	0,356	2,32	773,6	0,431	2,32	129,44	0,431
3	2,808	488,67	0,356	2,32	1305	0,431	2,246	25,17	0,445
4	2,808	1087	0,356	2,32	1565	0,431	2,32	88,45	0,431
5	2,832	1111	0,353	2,32	1356	0,431	2,32	62,57	0,431
6	2,808	2996	0,356	2,295	2516	0,436	2,295	79,06	0,436
7	2,588	1479	0,386	2,32	1083	0,431	2,588	88,77	0,386
Среднее / Mean	2,777	-	0,360	2,316	-	0,432	2,410	-	0,417

Обсуждение и анализ результатов

Расчетное значение периода T_1 первой формы горизонтальных колебаний в нормативных документах [СНРА, 2006] для каменных и кирпичных зданий равно:

$$T_1 = 0,055n = 0,055 \times 7 = 0,385 \text{ (с)}. \quad (1)$$

Полученные в работе [Хачиян, 1973], проведенной 1970-х гг. экспериментальные значения периодов основного тона свободных колебаний для этого здания были равны: в поперечном направлении 0,34 с; в продольном направлении 0,39 с.

Среднее значение логарифмического декремента затуханий основного тона колебаний здания для 1-й секции в направлении X составляет 0,093; в направлении Y – 0,098; в направлении Z – 0,076; для 2-й секции в направлении X равно 0,049; в направлении Y – 0,106; в направлении Z – 0,07, а для 3-й секции в направлении X равно 0,054; в направлении Y – 0,081; в направлении Z – 0,079.

По результатам записанных данных микроколебаний на грунте были построены спектры Фурье по всем направлениям компонентов. И в полученных спектрах нет ярко выраженных пиков, но есть много пиков с небольшими амплитудами. В направлении X колебания грунта происходили с частотой 7,008 Гц (период: 0,143 с), на которую накладывается частота 14,162 Гц (период: 0,07 с); в направлении Y – также с частотой 7,008 Гц (период: 0,143 с), с наложением частоты 14,089 Гц (период: 0,07 с), в направлении Z – с частотой 7,594 Гц (период: 0,132 с), с наложением частоты 14,162 Гц (период: 0,07 с). Логарифмический декремент затуханий для грунта составил: в направлении X – 0,016; в направлении Y – 0,017; в направлении Z – 0,022.

Выводы

По полученным результатам для исследуемого здания фактические значения периодов собственных колебаний здания в продольном направлении (Y) почти на 20% больше, чем в поперечном направлении (X). В поперечном направлении (X) получен сравнительно большой диапазон преобладающих частот по сравнению с продольным направлением (Y), где на всех этажах получились почти равные значения преобладающих частот. Это может быть связано с изменением уязвимости здания и особенностями конструктивных решений.

В спектре Фурье от микроколебаний грунта есть много пиков с небольшими амплитудами. И, как видно, преобладающий период грунтов значительно отличается (более чем в 1,5 раз меньше) от периода первого тона собственных колебаний здания.

Значения периодов колебания здания в поперечном направлении (X) не превышают нормативное значение (по уравнению (1)), меньше на 6-6,5%, а в продольном направлении (Y) превышают нормативное значение – на 12-13%.

Фактические значения периодов собственных колебаний здания по сравнению со старыми значениям [Хачиян, 1973] возросли в поперечном направлении (X) на 6-7%; в продольном направлении (Y) – на 10,5-11%. Поскольку значение периодов превышает более чем на 10% значение старого измерения, следовательно, по условиям пункта 6.2.5 «ГОСТ 31937-2011 Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния», техническое состояние такого здания подлежит обязательному внеплановому обследованию [ГОСТ 31937-2011, 2014].

Литература

1. Аносов Г.И. и др. Оценка сейсмической устойчивости учебного корпуса №3 Российского государственного университета им. И. Канта с применением методики Накамуры // Вестник Краунц. Науки о Земле. – 2010. – № 1. Вып. № 15. – С. 223-231.
2. ГОСТ 31937-2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014. – 59 с.
3. Капустян Н.К., Климов А.Н., Антоновская Г.Н. Высотные здания: опыт мониторинга и пути его использования при проектировании // Жилищное строительство. – 2013. – № 11. – С. 6-12.
4. Карапетян Б.К. Колебание сооружений возведенных в Армении. – Ереван: Изд. «Айастан», 1967. – 170 с.
5. Карапетян Дж.К., Мхитарян Д.А., Айрапетян О.Ю. Инструментальное обследование зданий и сооружений в натуральных условиях и оценка их технического состояния // Геолого-геофизические исследования глубинного строения Кавказа: геология и геофизика Кавказа: современные вызовы и методы исследований. Материалы Международной научно-практической конференции. 22-24 сентября 2017 г. / Под ред. Заалишвили В.Б. – Владикавказ: ГФИ ВНЦ РАН, 2017. – С. 442-452.
6. Савин С.Н., Демишин С.В., Ситников И.В. Мониторинг уникальных объектов с использованием динамических параметров по ГОСТ Р 53778-2010 // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – № 7. – С. 33-39.
7. Савин С.Н., Ситников И.В., Данилов И.Л. Современные методы технической диагностики и мониторинга как средство безопасности строительных кон-

струкций // В мире неразрушающего контроля. – СПб.: Изд. ООО «Свен», 2008. – С. 14-18.

8. СНРА II-6.02.2006. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. – Ереван. – 2006. – 64 с.

9. Хачиян Э.Е. Сейсмические воздействия и прогноз поведения сооружений. – Ереван: Изд. «Гитутюн» НАН РА, 2015. – 555 с.

10. Хачиян Э.Е. Сейсмические воздействия на высотные здания и сооружения. – Ереван: Изд. «Айастан», 1973. – 327 с.

11. Ditommaso R., Mucciarelli M., Parolai S., Picozzi M. Monitoring the structural dynamic response of a masonry tower: comparing classical and timefrequency analyses // *Bulletin of Earthquake Engineering*. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x. – 2012. – 23 p.

12. Kapustian N., Antonovskaya G., Agafonov V., Neumoin K., Safonov M. Seismic monitoring of linear and rotational oscillations of the multistory buildings in Moscow // *Seismic Behavior of Irregular and Complex Structures. Geotechnical, geological and Earthquake Engineering*. – 2013. – vol. 24. – Pp. 353-363.

13. Karapetyan J., Hayrapetyan H., Mkhitarian D. Studying The Behavior of The Framed Residential Buildings Located in The City of Yerevan // *Bulletin of National Agrarian University of Armenia*. – 2018. – 4 (64). – Pp. 43-48.

14. Karapetyan J.K., Hovhanesyan M.S., Geodakyan E.E., Geodakyan E.N. Determination of vulnerability functions of old buildings and constructions during the Spitak earthquake, 07.12.1988 // *International Conference on Earthquake Engineering*. 29 to 31 May. Conference on earthquake engineering “50 Years Skopje Earthquake – 50 Years of European Earthquake Engineering”. – Skopje: 2013. – Pp. 115-119.

15. Kawase H., Nagashima F., Matsushima S., Sanchez-Sesma F.J. Application of Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectral ratios for Both Microtremors and Earthquake Motions Based on The Diffuse Field Theory // *10th U.S. National Conference in Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering*, Anchorage: 2014.

16. Kobayashi H. Ohtani K. Dynamic Properties of Ground and Buildings in Armenia Based on Measurements of Microtremors // *Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake / Sponsored by UNESCO*. May 23-26. – Yerevan: 1989. – Pp. 141-153.

17. Nakamura, Y., Gurler E.D., Saita J., Rovelli A., Donati S. Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor // *Prepared for 12th WCEE 2000 in Auckland, NZ 2660/6/A*. – Auckland: 2000. – Pp. 1-8.

18. Nakamura, Y. On The H/V Spectrum // *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17. – Beijing: 2008.

19. Nakamura, Y. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor // *World Congress on Railway Research*. – Florence: 1997. – Pp. 1-7.

20. Okada H. The Microtremor Survey Method: SEG, TULSA // *Geophysical monography*. – 2003. – S. № 12. – 135 p.

21. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kanukov A.S., Dzeranov B.V., Shepelev V.D. Application of microseismic and calculational techniques in engineering-geological zonation // *International Journal of Geomate*. – 2016. – 10, № 19. – Pp. 1670-1674.

GEOPHYSICAL METHODS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792

Analysis of the dynamic characteristics of the mixed structure building using mobile seismic station of new generation

J. K. Karapetyan, Cand. Sci. (Geol.), H. Yu. Hayrapetyan,
D. A. Mkhitarian, Cand. Sci. (Tech.)

Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA, 5V.
Sarksyian Str., Gyumri 3115, Republic of Armenia
e-mail: jon_iges@mail.ru; hhmy39@gmail.com; dolores.mhitarian@yandex.ru

Abstract: The article deals with the study of the behavior of buildings and structures in natural conditions. The article is devoted to the study of the dynamic characteristics of a residential building with an incomplete frame. The authors proposed to study the behavior of buildings using a mobile seismic station of a new generation consisting of three seismic receivers, such as the upgraded SM-3 seismic sensors, a logger, produced by IGES NAS RA, equipped with a wireless network that provides communication with a laptop.

The article presents the results of studies of the dynamic characteristics of a residential building of a composite structure with the help of a special mobile seismic station developed at IGES NAS RA. During the operation of buildings, their technical condition changes. This is expressed by a change in the quantitative characteristics of performance (reliability), in particular, the dynamic characteristics of buildings. We set the task: to study the dynamic characteristics of a residential building with a complex structure and to check its technical condition, to compare the dynamic characteristics with data obtained in earlier works, and also to compare the dynamic characteristics of the grounds of their bases. Measurement of vibrations were carried out with the help of microseisms. In such measurements it is necessary to avoid the influence of the movement of vehicles and other permanent sources of generation of vibrations of soils and buildings. Therefore, measurements were made at night to ensure that the vibrations of the soil and buildings were caused only by natural microseisms. One of the most important advantages of microseismic research is that the number of micropulses recorded on the surface of the Earth and on buildings and structures is extremely large, so it is possible to obtain a large amount of information for spectral analysis in a short time without much expense. This information allows you solving a number of important tasks of a scientific and practical nature.

A comparative analysis of the dynamic characteristics of the building obtained by instrumental observations and previously available similar data was carried out. The regularities of changes in the dynamic characteristics depending on the duration of the building's operation were revealed, as a result of which an assessment of its actual technical condition was made.

Keywords: microseisms, dynamic characteristics, Fourier spectrum, spectral analysis, microseismic research.

For citation: Karapetyan J. K., Hayrapetyan H. Yu., Mkhitarian D. A. Analysis of the dynamic characteristics of the mixed structure building. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 110-121. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26792.

References

1. Anosov G.I. et al. Evaluation of seismic stability of the educational building №3 of the Russian State University named after I. Kant using the Nakamura technique. Bulletin of Kamchatka regional association "Educational-Scientific center". Earth Sciences. 2010. No. 1. Issue No. 15. pp. 223-231. (in Russ.)

2. GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. M. Standartinform, 2014. 59 p. (in Russ.)
3. Kapustyan N.K., Klimov A.N., Antonovskaya G.N. High-rise buildings: monitoring experience and ways of its use in the design. Housing construction. 2013. No. 11. Pp. 6-12. (in Russ.)
4. Karapetyan B.K. Vibration of structures erected in Armenia. Erevan: Publisher "Aiastan", 1967. 170 p. (in Russ.)
5. Karapetyan Dzh.K., Mkhitarian D.A., Airapetyan O.Yu. Instrumental examination of buildings and structures in natural conditions and evaluation of their technical condition. Geological-geophysical Studies of the Deep Structure of the Caucasus: Geology and Geophysics of Caucasus: Contemporary Challenges and Research. Materials of the International Scientific and Practical Conference. On 22-24 September 2017. Edited by Zaalishvili V.B. Vladikavkaz. GPI VSC RAS. pp. 442-452. (in Russ.)
6. Savin S.N., Demishin S.V., Sitnikov I.V. Monitoring unikal'nykh ob'yektov s ispol'zovaniyem dinamicheskikh parametrov po GOST R 53778-2010. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal, 2011. № 7. pp. 33-39.
7. Savin S.N., Sitnikov I.V., Danilov I.L. Modern methods of technical diagnostics and monitoring as a means of safety of building structures. V mire nerazrushayushchego kontrolya. SPb. Publisher ООО "Sven", 2008. pp. 14-18. (in Russ.)
8. SNRA II-6.02.2006. SNRA II-6.02.2006. Earthquake engineering. Design standards. Erevan. 2006. 64 p. (in Russ.)
9. Khachiyani E.E. Seismic effects and prediction of the behavior of structures. Erevan, Publisher "Gitutyun" NAN RA, 2015. 555 p. (in Russ.)
10. Khachiyani E.E. Seismic effects on high-rise buildings and structures. Erevan, Publisher "Aiastan", 1973. 327 p. (in Russ.)
11. Ditommaso R., Mucciarelli M., Parolai S., Picozzi M. Monitoring the structural dynamic response of a masonry tower: comparing classical and timefrequency analyses. Bulletin of Earthquake Engineering. DOI: 10.1007/s10518-012-9347-x. 2012. 23 p.
12. Kapustian N., Antonovskaya G., Agafonov V., Neumoin K., Safonov M. Seismic monitoring of linear and rotational oscillations of the multistory buildings in Moscow. Seismic Behavior of Irregular and Complex Structures. Geotechnical, geological and Earthquake Engineering, 2013. vol. 24. pp. 353-363.
13. Karapetyan J., Hayrapetyan H., Mkhitarian D. Studying The Behavior of The Framed Residential Buildings Located in The City of Yerevan. Bulletin of National Agrarian University of Armenia, 2018. 4 (64). pp. 43-48.
14. Karapetyan J.K., Hovhanesyan M.S., Geodakyan E.E., Geodakyan E.N. Determination of vulnerability functions of old buildings and constructions during the Spitak earthquake, 07.12.1988. International Conference on Earthquake Engineering. 29 to 31 May. Conference on earthquake engineering "50 Years Skopje Earthquake – 50 Years of European Earthquake Engineering", Skopje. 2013. Pp. 115-119.
15. Kawase H., Nagashima F., Matsushima S., Sanchez-Sesma F.J. Application of Horizontal-to-Vertical (H/V) Spectral ratios for Both Microtremors and Earthquake Motions Based on The Diffuse Field Theory. 10th U.S. National Conference in Earthquake Engineering: Frontiers of Earthquake Engineering, Anchorage. 2014.
16. Kobayashi H., Ohtani K. Dynamic Properties of Ground and Buildings in Armenia Based on Measurements of Microtremors. Proceeding of International Seminar on Spitak-88 Earthquake / Sponsored by UNESCO. May 23-26. Yerevan. 1989. Pp. 141-153.
17. Nakamura, Y., Gurler E.D., Saita J., Rovelli A., Donati S. Vulnerability Investigation of Roman Colosseum Using Microtremor. Prepared for 12th WCEE 2000 in Auckland, NZ 2660/6/A. Auckland. 2000. Pp. 1-8.
18. Nakamura, Y. On The H/V Spectrum. The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17. Beijing. 2008.

19. Nakamura, Y. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Microtremor. World Congress on Railway Research. Florence: 1997. Pp. 1-7.

20. Okada H. The Microtremor Survey Method: SEG, TULSA. Geophysical monography. 2003. S. № 12. 135 p.

21. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Kanukov A. S., Dzeranov B. V., Shepelev V. D. Application of microseismic and calculational techniques in engineering-geological zonation. International Journal of Geomate. 2016. 10, № 19. Pp. 1670-1674.

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

УДК 550.83

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793

Палеогидрогеологические и геофизические исследования в связи с реконструкцией палеоклимата бассейна озера Севан (Армения)

Р. С. Минасян¹, д. г.-м. н., проф., Дж. К. Карапетян¹, к. геол. н., Р. А. Карамян¹,
А. А. Игитян¹, к. геол. н., А. А. Геворгян¹, Д. К. Нургалиев², д. г.-м. н., проф.,
П. С. Крылов², А. Н. Даутов², П. Г. Ясонов², к. г.-м. н., Д. М. Кузина²

¹Институт геофизики и инженерной сейсмологии им А. Назарова НАН РА,
Республика Армения, 3115, г. Гюмри, ул. В. Саргсяна, 5
e-mail: hydroscope2006@yahoo.com

²ФГАОУВО Казанский федеральный университет, Россия, 420008, Республика
Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, 18
e-mail: danis.nourgaliev@kpfu.ru

Аннотация: В целях определения природных условий для восстановления палеоклимата бассейна оз. Севан (Армения) проанализированы и обобщены материалы, относящиеся к геоморфолого-тектоническому и палеогидрогеологическому строению прибрежной и акваториальной частей озера. Проведены специальные геофизические исследования палеогидрогеологической направленности: выполнено палеогидрогеологическое районирование водосборного бассейна, получены данные о строении его палеорельефа, установлен ряд палеорусел, определены основные пути сосредоточенного движения и места разгрузки подземных вод, в том числе и в пределах акватории озера. По палеомагнитным исследованиям получены данные о датировке разреза терригенных отложений прибрежных частей озера. Выполненные в акваториальной части Малого Севана сейсмоакустические исследования позволили составить геофизические разрезы, характеризующие особенности строения донных отложений озера. В целом полученные данные будут использованы при уточнении возраста лимнологических отложений прибрежных и донных частей озера, для установления палеогидрогеологических, геоэкологических и палеогеографических особенностей его развития в голоцене в связи с попыткой реконструкции палеоклимата изучаемого региона.

Ключевые слова: озеро Севан, палеоклимат, Армения, палеогидрогеология, геофизические методы, районирование, водосборный бассейн, палеомагнитизм, сейсмоакустика, голоцен.

Благодарности: Представленная работа выполнена при поддержке Государственного комитета по науке МОН РА в рамках научного Проекта N 18RF-033.

Для цитирования: Минасян Р. С., Карапетян Дж. К., Карамян Р. А., Игитян А. А., Геворгян А. А., Нургалиев Д. К., Крылов П. С., Даутов А. Н., Ясонов П. Г., Кузина Д. М. Палеогидрогеологические и геофизические исследования в связи с реконструкцией палеоклимата бассейна озера Севан (Армения) // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 № 1. С. 122-134. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793.

Введение

Данные о палеоклимате отдельных территорий можно получить, в частности, из материалов палеогеологических и палеогидрогеологических исследований. Во многих случаях поверхностные и, в особенности, подземные воды из береговых ча-

стей озёр переносят терригенные отложения в их акваториальные части. Изучение этих пород, а также пород донного залегания позволяет получить объективные данные о климатических условиях времени их образования. Исследования такого характера выполнены, в частности, в пределах водосборного бассейна озера Севан (Армения). Рассматриваемое высокогорное озеро находится в пределах крупной межгорной котловины, расположенной на стыке системы складчато-глыбовых горных сооружений Малого Кавказа и Армянского вулканического нагорья. Котловина с востока ограничена Севанским и Арегунским хребтами, сложенными, главным образом, меловыми туфоконгломератами, туфобрекчиями, порфиритами, известняками и породами неогена – туфами, туфопесчаниками, туфобрекчиями, перемежающимися с покровами порфиритов. Большая часть Севанской котловины входит в зону Центрального вулканического нагорья Армении и ограничивается с запада, юго-запада и юга Гегамским и Варденисским нагорьями.

В связи с проводимыми комплексными исследованиями в пределах прибрежных и акваториальных частей озера Севан в целях палеоклиматических прогнозов, определенный интерес представляют геоморфологические, литолого-тектонические и палеогидрогеологические характеристики изучаемой территории [Геология Армянской ССР, 1962; Геология Севана, 1994; Милановский, 1968].

Важными являются также опубликованные материалы последних лет, связанные с изучением сейсмогенных конволюций в четвертичных отложениях озера Севан [Корженков и др., 2014; Korjenkov, 2000]. Определены палеогеографические условия и возраст сильного землетрясения по данным изучения голоценовых отложений рассматриваемого озера [Варданян и др., 2018]. Исследования аналогичных озерных отложений встречаются также в работах зарубежных специалистов [Bowman et al., 2004; Chunga et al., 2007; Jones, Omoto, 2000; Rossetti, 1999].

Ниже подробно рассмотрены результаты комплексных исследований, которые выполнены для решения задач, связанных с реконструкцией палеоклимата бассейна озера Севан.

Методы исследований и обсуждение полученных данных Геоморфолого-тектонические исследования

а) Прибрежная территория оз. Севан. Рассматриваемая территория в начале палеогена представляла крупный прогиб, в который проник сарматский морской бассейн, приводя ее к опреснению и превращая в озерный водоем [Бальян, 1969; Геология Армянской ССР, 1962; Милановский, 1968]. В нижнем и среднем плиоцене тектонически прогибавшийся озерный бассейн Севана заполняется пролювиальным материалом, сносившимся в основном с Гегамского нагорья. В верхнем плиоцене юго-восточная часть впадины заполняется лавами, а на остальной – отлагаются озерно-аллювиально-пролювиальные осадки. В последующем тектонические движения создают здесь ряд синклинальных впадин. После осушения озера по дну Большого Севана, в нижнем плейстоцене, предполагается существование реки, врезающей в Артаниш-Норатузскую перемычку. В среднем-верхнем плейстоцене происходит активизация тектонических движений, сопровождавшихся поднятием Гегамского и Варденисского хребтов. В дальнейшем, в связи с относительным прогибанием прибрежных частей впадины, возникает ряд разломов, в том числе в пределах Малого Севана и в Цовагюхском заливе. Крупные меридиональные разломы образуются также на юго-западном склоне впадины Большого Севана

[Karakhanianetal., 2001, 2002]. В голоценовый и верхнечетвертичный периоды происходит окончательное излияние лав на юго-западных берегах озера и в пределах дна Малого Севана.

б) Акваториальная территория озера. В геоморфологическом отношении рельеф поверхности дна озера Севан делится на три части: Большой, Малый Севан и подводный порог между ними – мысы Норатуз – Артаниш.

Дно Большого Севана по батиметрическим данным (Киреев И. А.) представляет плоскую равнину с колебаниями глубин в среднем $40 \div 51,5$ м. В юго-западной части территории, к северу от с. Геташен, прослеживаются эрозионные ложбины, которые связываются с древней долиной р. Аргичи. Существование последней подтверждается также данными геофизических исследований. Со сбросами голоценового возраста связываются резкие перепады в строении склона юго-западной части озера. Западный склон дна Большого Севана, между изобатами $5 \div 20$ м, в целом имеет крутой уклон. Здесь предполагаются сбросы, параллельные береговой линии озера. С ними связаны также уступы против Норадузского шлакового конуса. На остальных прибрежных частях Большого Севана рельеф дна, до глубин 40 м, пологий и существующие здесь неровности считаются тектонического происхождения, скрытые под чехлом, скорее всего, плейстоцен-голоценовых прибрежно-озерных отложений.

Строение рельефа **дна Малого Севана**, в частности, крутизна его в северо-восточной части, считается обусловленной тектоническим перемещением сбросового характера. Так, например, близ устья р. Арцатахберг (юго-восточная часть озера) по батиметрическим данным выявлены несколько затопленных озерных террас (на отметках -6, -12 и -22 м), которые считаются более низкими уровнями водоема. Дно Цовагюхского залива, на северо-западе озера, имеет юго-восточную полого наклонную поверхность. Предполагается, что это погружение вдоль сбросов является продолжением древней долины р. Дзкнагет, перекрытой озерными и аллювиальными отложениями голоценового возраста. Юго-западный склон дна Малого Севана, в основном до глубин изобат $30 \div 50$ м, отличается большой сложностью рельефа. В голоцене до указанных глубин дно озера было перекрыто, спустившимися с юго-запада потоками Ератумберских андезитовых лав. Предполагается, что морфология глубокой части дна Малого Севана отражает наличие здесь значительных тектонических опусканий. В то же время на юго-западном и западном склонах в образовании современного рельефа дна озера главную роль сыграли излияния лав голоценового возраста. В северо-восточной береговой части Малого Севана, до глубин $70 \div 99$ м, установлены замкнутые котловины, происхождение которых объясняется локальными тектоническими опусканиями. В целом рельеф дна Малого Севана значительно отличается от Большого, как сложностью строения, так и особенностями образования.

в) В истории формирования и развития оз. Севан определенная роль принадлежит **подводному порогу между мысами Норатуз-Артаниш**. В структурно-геоморфологическом отношении это тектоническая валообразная возвышенность северо-восточного простирания, склоны которой спускаются по дну Большого и Малого Севана. По батиметрическим данным центральная часть рассматриваемого порога, глубиной до 20 м, прорезана узкой долиной эрозионного происхождения. Поскольку она до сих пор не заполнена (или заполнена частично) озерными осадками, то считается, что ее затопление озерными водами происходило относительно недавно.

Палеогидрогеологические и палеогеофизические исследования водосборного бассейна оз. Севан

При решении задачи по палеогидрогеологическому районированию водосборного бассейна оз. Севан, в связи с изучением его палеоклиматических условий, важным является выяснение источников и условий формирования подземных вод, часть которых по отдельным палеоруслам разгружается в пределах акватории озера. На основании проведенных комплексных исследований установлено, что основными источниками питания подземных вод региона являются атмосферные осадки, а в пределах зоны аэрации, в зависимости от климатических условий, определенную роль играют также процессы конденсации водяных паров воздуха (т. н. конденсационные воды). Считается, что в истории формирования подземных вод региона существовал ряд палеогидролого-гидрогеологических циклов: периоды седиментации, в течение которых формировались седиментационные воды (которые обычно по составу и минерализации близки к водам моря) и периоды инфильтрации, когда происходит опреснение этих вод.

В пределах водосборного бассейна оз. Севан в результате тектонических движений и активной вулканической деятельности неогенового времени (которая широко проявилась, в особенности, в пределах Гегамского и Варденисского нагорий) произошло заложение гидрографической сети региона. В период нижнего плиоцена влияние тектонических движений предопределило существование в регионе континентального режима. В результате этого исследуемая территория, вновь освободившаяся от моря, подверглась процессам замещения седиментационных вод пресными инфильтрационными водами. После кратковременного ослабления вулканических процессов в среднем-верхнем плиоцене они вновь усилились, и мощные потоки лавовых образований бронировали и нивелировали рельеф прилегающих вулканических нагорий. В конце периода интенсивного вулканизма имело место новая инверсия: происходит поднятие Гегамского и Варденисского нагорий в результате чего в их периферийных частях (охватывающих и Севанский бассейн), происходит процесс накопления пресноводных озерных отложений. В конце плиоцена и в нижнем постплиоцене изучаемая территория испытывает окончательное поднятие под влиянием тектонических движений и древние доплиоценовые подземные воды замещаются инфильтрационными.

В последнее время, в связи с исследованиями мипалеоклимата Севанского бассейна, достаточно подробно изучены отложения голоцена (Саркисян С. Г., Сатян М. А., Саядян Ю. В., Саакян Л. Г.). Они расчленены на древний, средний и поздний голоцен и выделены 12 крупных этапов изменений ландшафтно-природной обстановки и климата (климатолиты) со специфическими особенностями развития каждого этапа. Считается, что озеро Севан и Каспийское море расположены в единой аридной зоне. Колебания уровней этих водоемов в голоцене происходили относительно синхронно и зависели, в первую очередь, от изменений климата. Существует прямая зависимость палеогидрогеологических циклов Севанской впадины от изменений главного базиса эрозии-уровня Каспийского моря: трансгрессиям моря во впадине соответствуют эпохи похолоданий и увлажнений, а регрессиям – потеплений и аридизаций.

Для изучения естественных ресурсов и подсчета эксплуатационных запасов подземных вод сотрудниками Армгеологии было выполнено гидрогеологическое районирование водосборного бассейна оз. Севан. Согласно этой схеме территория бассейна была разделена на **9 гидрогеологических участков**. Анализ данных исследований, и в первую очередь, геофизических, показывает, что при такой схе-

ме районирования не всегда правомерно условие совпадения современных и погребенных водоразделов отдельных участков, что естественно, приводит к иному пространственному распределению подземного стока [Минасян, 2014]. Это обстоятельство, а также необходимость уточнения палеогидрогеологических условий и размеров отдельных участков, необходимых и для прогнозных оценок палеоклиматических условий территории, явились основными причинами корректировки схемы. На новой уточненной схеме районирования вновь выделенные гидрогеологические участки, для различия их от ранее принятых, названы **гидрогеологическими районами**. При этом, если границы **районов** (новая схема) совпадают с ранее принятыми гидрогеологическими **участками**, то их наименования оставлены прежними (см. рис. 1). В пределах бассейна оз. Севан, согласно новому районированию выделены следующие гидрогеологические районы (участки): Цовагюхский (I), Лчашенский (II), Саруханский (III), Дзорагюхский (IV), Мартуни-Геташенский (V), Варденик-Арцванистский (VI), Акунк-Карчахбюрский (VII), Масрикский (VIII) и Северо-восточное побережье озера (IX). Для выделенных районов составлены специальные палеогидрогеологические карты и гелого-геофизические разрезы, в частности, проходящие по прибрежным частям озера. Пример приведен на рисунке 2. В целом выделенные палеогидрогеологические районы Севанского бассейна охарактеризованы: особенностями палеорельефов, положением региональных и локальных погребенных водоразделов, путями сосредоточенного движения подземного стока и местами их разгрузки, в том числе в пределах акватории озера.

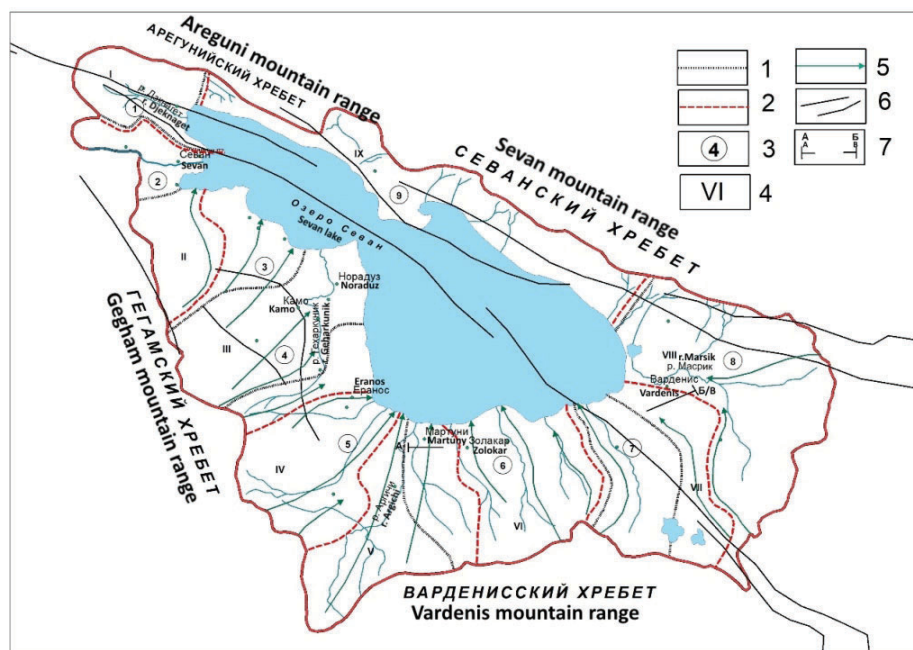


Рис. 1. Схема палеогидрогеологического районирования бассейна оз. Севан. 1 – границы гидрогеологических участков по ранее составленной схеме районирования; 2 – те же по уточненному районированию; 3; 4 – номера территорий по существующей и уточненной схеме районирования, 5 – пути сосредоточенного движения подземных вод, 6 – основные разломы, 7 – профиль А-Б /

Fig. 1. Scheme of paleohydrogeological zoning of the lake Sevan basin. 1-borders of hydrogeological sites according to the earlier made scheme of zoning; 2-the same on the specified zoning; 3; 4-numbers of territories according to the existing and specified scheme of zoning, 5-ways of the concentrated movement of underground waters, 6-the main faults, 7-A-B profile



Рис. 2. Геолого-геофизический разрез по профилю А-В. 1 – современные рыхлообломочные и полусвязные образования (супеси, суглинки и т. п.); 2 – вулканические породы плотные, относительно сухие; 3 – те же породы трещиноватые, водоносные; 4 – рельеф регионального водоупора: а) глинистые отложения; б) туфопесчаники, порфириды и их аналоги; 5 – точки электрозондирования; 6 – буровые скважины; 7 – геоэлектрические контакты; 8 – удельное электросопротивление пород (Ом. м)/

Fig. 2. Geological-geophysical section along the profile A-B. 1 – modern coarse-clastic and semi-cohesive formations (sandy loam, loam, etc.); 2 – dense volcanic rock, relatively dry; 3 – those rocks fractured, water-bearing; 4 – the landscape of regional seal: a) clay deposits; b) tufosandstone, porphyrites and their analogs; 5 – electroconducting point; 6 – boreholes; 7 – geo-electrical contacts; 8 – specific electrical resistivity of rocks (Om. m)

Палеомагнитные исследования терригенных отложений озера Севан

В целях реконструкции палеоклиматических условий территории оз. Севан важными являются данные палеомагнитных исследований, выполненных КФУ с участием сотрудников ИГИС для датировки терригенного материала поступающего в озеро [Варданян и др., 1983; Петрова и др., 1995]. Наибольшее количество указанных образований поставляют такие крупные реки бассейна, как Дзкнагет, Гаварагет, Аргичи и Масрик. Ниже в качестве примера рассмотрены результаты исследований терригенных пород рек Дзкнагет, Аргичи и разрез с. Норашен.

Разрез реки Дзкнагет. Изученный разрез расположен на левом берегу реки при впадении ее в озеро. Общая мощность разреза около пяти метров. Самая верхняя часть, мощностью ~ 0,5 м, образовалась после спуска воды озера при понижении его уровня в 1958 году. Из интервала 3,6÷0,5 м разреза отобраны образцы с 72 уровней, из них 37 – из интервала 2,0÷0,5 м, т.е. между слоем, для которого установлено абсолютное определение возраста и границей на глубине 0,5 м, связанной с понижением уровня воды в Севане. Средняя часть разреза, мощностью около 2-х метров, состоит из горизонтально залегающих слоев, сложенных суглинками, песками и супесями с раковинами моллюсков и остатками древесины. Для датировки образцы взяты на глубине около 2 м, где встречается слой песка с большим количеством раковин моллюсков и древесиной хорошей сохранности. По результатам радиоуглеродного метода ^{14}C для данной глубины получены возрасты 940 ± 220 (по раковинам) и 1010 ± 250 лет (по древесине).

На основании выполненных лабораторных исследований установлено изменение палеомагнитных (J , D , I_n , Q , $R_{ns}=I_n/I_{rs}$) и магнитных (c , I_{rs}) параметров вдоль разреза. В частности для J нижней части разреза получено $\sim 75^\circ$; по мировым археомагнитным данным для первого тысячелетия до н. э. наклонение геомагнитного поля на широте $40^\circ \div 50^\circ \text{N}$ было иным. В начале первого тысячелетия до н. э. в

ряде районов, в том числе и на Кавказе, зарегистрировано резкое понижение наклонения вплоть до отрицательных значений. Среднее значение J для остальной части разреза равно $\sim 50^\circ$. По археомагнитным данным оно на Кавказе для этого времени $\sim 56^\circ$. Среднее значение D меняется от $\sim 60W$ до $\sim 40E$. В верхней части разреза D после чистки колеблется в пределах 30° при среднем значении монотонно меняющемся от $\sim 10^\circ$ до 0° . В нижней части разреза наблюдаются также высокие s и I_n примерно в 3 раза превышающие значения этих параметров для остальной части разреза. При этом Q для всего разреза остается равным $0,4 \pm 0,1$. Поведение магнитных параметров позволяет считать, что ферромагнитная фракция в осадках всего разреза не меняется – об этом свидетельствует сходство кривых $I_{rs}(T^\circ)$, $I_s(T^\circ)$. Предполагается, что резкое отличие средних значений J и D для нижней части разреза связано с тектонической историей территории. В конце первого тысячелетия до н. э. в прилегающих к озеру Севан районах происходили вертикальные перемещения, вызванные изменениями оледенения и достигающие по амплитуде 1000 м [Саядян, 2009]. Установленная величина средних значений J для низа разреза и небольшая амплитуда вариаций ($\sim 5^\circ$) позволяют предположить, что эта часть разреза сместилась как единое целое и, соответственно, при приведении уровня средних значений в соответствие с остальным разрезом, ее можно использовать для изучения вековых вариаций. Сделано заключение о возможном наличии компоненты с $T_c - 150 \div 220^\circ$. О ее реальности свидетельствуют максимумы на дифференциальных кривых. О том, что эта компонента присутствует по всему разрезу свидетельствует, в частности, совпадение положения максимумов для верхней, средней и нижней частей разреза. Для компоненты T_c получено значение $180^\circ \pm 30^\circ C$.

Графики Зийдervельда, снятые с 2/3 образцов коллекции, показали присутствие трех компонент, которые выделяются при температурах $1-250^\circ C$, $2-350^\circ C$, $3-500^\circ C$. Они связываются с титаномагнетитом, титаномаггемитом и магнетитом. Установлено что, намагниченность титаномагнетита не природного, а лабораторного происхождения.

Титаномаггемитовая компонента имеет среднее направление $D=340^\circ \pm 20^\circ$, $J=55^\circ \pm 10^\circ$, а магнетитовая $D=360^\circ \pm 40^\circ$, $J=50^\circ \pm 10^\circ$. Естественно, что только эти компоненты могут быть использованы при изучении вековых вариаций.

При скорости осадконакопления с точностью 26 лет/уровень выделенные вариации имеют периоды 169 ± 26 , 230 ± 26 , 380 ± 26 , 660 ± 26 , 910 ± 26 лет.

Разрез реки Аргичи. Данный разрез, мощностью 4 метра, расположен в устье р. Аргичи, близ юго-западного берега оз. Севан. Здесь озерные отложения представлены наиболее тонкими разностями терригенного и пирокластического материала. Отобраны по два образца из 92 прослоев, а из нескольких горизонтов – органические остатки, возраст которых был определен радиоуглеродным методом. Получены следующие значения сверху вниз – 1313 ± 200 , 4940 ± 100 , 5080 ± 80 и 8010 ± 100 лет. Величина естественной остаточной намагниченности изученных пород составляла $14 \times 10^{-3} CI$ с интервалом от $7 \div 25 \times 10^{-3} CI$, магнитная восприимчивость варьирует в пределах от 12 до $100 \times 10^{-3} CI$. Средняя величина $I_n = 31 \times 10^{-3} CI$, а величины Q варьируют в пределах $0,5 \div 1,6$. Для верхней части разреза получены следующие значения – $D=347^\circ$, $J=54^\circ$, а для нижней части – $D=20^\circ$, $J=68^\circ$. Минералогический и термомагнитный анализы показали, что основными носителями намагниченности пород данного разреза являются ферромагнетики магнетитового ряда, содержащиеся, главным образом, в обломочных частицах вулканогенных пород, из которых и

образовались осадки. В целом изменения направления намагниченности осадков разреза Аргичи отражают изменения направления геомагнитного поля в период образования этих осадков.

Разрез с. Норашен. Комплексные магнитостратиграфические и магнитохронологические исследования голоценовых отложений проведены также в устье р. Аргичи близ юго-западного берега оз. Севан – у с. Норашен. Озерные осадки здесь прислонены к молодым андезито-базальтам. Видимая их мощность – 4,5 м.

Строение разреза этих отложений свидетельствует о двукратном подъеме уровня озера Севан [Саядян, 2009]. Первая, наиболее древняя, трансгрессия зафиксирована в отложениях интервала $4,50 \div 3,00$ м. Она была разделена очень кратковременной регрессией или временным отступлением вод озера, выраженная болотной почвой интервала $3,60 \div 3,70$ м. Время завершения этой трансгрессии было определено по раковинам моллюсков с глубины 3 м и по радиоуглеродному методу получена величина 6270 ± 110 (МГУ-215). Вторая трансгрессия отражена в осадках интервала $0,50 \div 1,50$. По раковинам моллюсков с глубины ~ 1 м по ^{14}C получен возраст 2090 ± 70 лет (МГУ-244).

В исследованном разрезе выделены два участка с повышенными значениями I_n : верхний и нижний. В верхней части разреза изменения I_n носят циклический характер, со средними значениями 50 и 80×10^{-3} А/м. В нижней части разреза I_n находится в пределах от 15 до 55×10^{-3} А/м. Величина Q колеблется от 0,02 до 0,05. Минералогический и термомагнитный анализы показали, что основным носителем намагниченности пород этого разреза являются ферромагнетики магнетитового ряда, содержащиеся главным образом в обломочных частицах вулканогенных пород, из которых и образовались осадки.

Анализ кривых ДТМА позволил заключить, что изначально в породах всего разреза присутствовали два ферромагнетика: с $T_c \sim 300 \div 400^\circ$ и магнетит, но в разных отношениях. После магнитных чисток температурой $100 \div 200^\circ\text{C}$ и переменным полем $100 \div 300^\circ\text{C}$ образцы пригодны для выделения палеовековых вариаций геомагнитного поля.

Сделано заключение, что радиоуглеродные данные предоставляют возможность определить возраст Норашенского разреза, что дает право считать его вполне благоприятным для изучения палеовековых вариаций на голоценовых осадках.

В целом сопоставление результатов, полученных при изучении осадков рек Дзкнагет, Аргичи и разрез с. Норашен с результатами археомагнитных исследований показало, что палеомагнитная запись дает более обоснованное представление об изменении геомагнитного поля района и, следовательно, при изучении вековых вариаций палеомагнитные исследования имеют определенное преимущество по сравнению с археомагнитными, в частности, в отношении непрерывности изучаемого ряда.

Исследование донных отложений озера

Для восстановления палеоклимата бассейна озера Севан особый интерес представляют результаты исследований его донных отложений, возраст которых относят к голоцену. Согласно данным ранее выполненным работ в донных отложениях озера зафиксированы и вулканические извержения, и землетрясения, и климатические вариации [Корженков и др., 2014; Саядян и др., 1991; Leroyer et al., 2016]. Исследование этих событий, их возраст и интенсивность представляют практиче-

скую важность, так как это позволяет оценить разрушительные процессы, которые происходили в прошлом и могут произойти в будущем. К настоящему времени сведения о донных отложениях озера в основном относятся к береговым обнаженным осадкам. Для оценки мощности и характера залегания донных отложений сотрудниками КФУ с участием специалистов ИГИС проведены сейсмоакустические исследования в северо-западной части акватории Малого Севана [Крылов, 2018]. На полученных сейсмоакустических разрезах наблюдается сложная морфология дна озера: неравномерное распределение осадков, выходы коренных пород в водную толщу, зоны локальных размывов. Сделаны выводы, что установленные сейсмогеологические границы свидетельствуют об изменении условий осадконакопления в озере, они могут быть обусловлены, как долговременными и постепенными изменениями климата, так и быстрыми процессами активной тектоники и вулканизма. Установленные небольшие мощности отложений отражают короткий период формирования осадков, и скорее всего, они связаны с образованиями голоцена. Отобранные образцы керн донных отложений озера и их всесторонний лабораторный анализ позволит получить необходимые данные о палеоклимате исследуемой территории.

Заключение

В работе рассмотрены результаты комплексных исследований, выполненных в пределах бассейна озера Севан – геоморфологических, тектонических, палеогидрогеологических, и в особенности палеогеофизических, в том числе сейсмоакустических, относящихся к вопросам палеоклиматологии исследований территории:

- Охарактеризованы геоморфолого-тектонические условия прибрежных и акваториальных частей озера.
- Прогнозировано существование в пределах водосборного бассейна озера ряда палеогидрогеологических циклов, связанных с ранее существующими седиментационными и инфильтрационными водами.
- По результатам геофизических исследований уточнено палеогидрогеологическое районирование бассейна озера, выделены палеодолины, установлены основные пути движения подземных вод, часть которых разгружается в пределах его акватории.
- По палеомагнитным исследованиям установлено, что:
 - основными носителями намагниченности голоценовых пород бассейна являются ферромагнетики магнетитового ряда;
 - первичную намагниченность изученных пород представляет сформировавшаяся во время осадконакопления ориентационная намагниченность;
 - сделан вывод, что установленные по геомагнитным и археомагнитным данным вариации, скорее всего, связаны с климатическими изменениями территории.
- По сейсмоакустическим исследованиям, выполненным в пределах северо-западной части акватории озера, получены данные о строении его донных отложений (их мощности, последовательности залегания и изменений по площади), которые по возрасту относятся, скорее всего, к голоцену.

Всесторонний анализ отобранных длинных кернов донных отложений, с учётом результатов выполненных комплексных исследований, позволит решить задачу по реконструкции истории развития палеоклимата озера за последние десятки тысяч лет.

Литература

1. Бальян С.П. Структурная геоморфология Армянского нагорья и окаймляющих областей. – Ереван: Изд-во ЕГУ, 1969. – С. 390.
2. Варданян А.А., Нечаева Т.Б., Минасян Дж. О. Опыт изучения палеовековых вариаций по голоценовым озерным осадкам озера Севан // Изв. Науки о Земле АН Арм. ССР. – 1983. – №4. – С. 66-69.
3. Варданян А.А., Корженков А.М., Сорокин А.А., Стаховская Р.Ю. Палеогеографические условия и возраст сильного землетрясения по данным изучения голоценовых отложений оз. Севан, Армения // Геофизические процессы и биосфера. – 2018. – Т. 17. №1. – С. 125-136.
4. Геология Армянской ССР. Том I. Геоморфология. – Ереван: Изд-во АН Арм. ССР, 1962. – С. 431.
5. Геология Севана // Под ред. Сатиана М.А. и Чилингаряна Г.В. – Ереван: Изд-во НАН РА, 1994. – С. 181.
6. Корженков А.М., Аванесян М.А., Вирджино А., Караханян А.С. Сейсмогенные конволюции в четвертичных отложениях озера Севан (Армения) // Геология и геофизика. – 2014. – Т. 55. №1. – С. 56-65.
7. Крылов П.С. Сейсмоакустика донных отложений современных озер, как основа палеогеофизических и палеоклиматических реконструкций // Дис. канд. геол.-мин. наук. Казань. – 2018. – 155 с.
8. Милановский Е.Е. Новейшая тектоника Кавказа. – М.: Недра, 1968. – С. 483.
9. Минасян Р.С. Гидрогеофизические исследования подземных вод вулканических регионов. – Саарбрюккен: Palmarium Academic Publishing, 2014. – С. 70.
10. Петрова Г.Н., Диденко Е.Ю., Варданян А.А. Вариации геомагнитного поля, записанные в осадках разреза Дзкнагет // Физика Земли. – 1995. – №5. – С. 80-87.
11. Саядян Ю.В., Милановский Е.Е., Асланян А.Т. и др. История озер Севан, Иссык-Куль, Балхаш, Зайсан и Арал. – Л.: Наука. Ленингр. отделение, 1991. – С. 301.
12. Саядян Ю.В. Новейшая геологическая история Армении. – Ереван: Изд-во «Гитутюн», 2009. – С. 375.
13. Bowman D., Korjenkov A.M., Porat N. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-kul, the Tien Shan range, Kyrghyzstan // Sedimentary Geology. – 2004. – Vol. 163. – Pp. 211-228.
14. Chunga K., Livio F. et al. Synsedimentary deformation of Pleistocene glaciolacustrine deposits in the Albese con Cassano area (Southern Alps, Northern Italy), and possible implications for paleoseismicity // Sedimentary Geology. – 2007. – Vol. 196. – Pp. 59-80.
15. Karakhanian A., Tozalakyan P., Grillot J.-C., Philip H., Melkonyan D., Paronyan R., Arakelyan S. Tectonica impact on the Lake Sevan environment (Armenia) // Environmental Geology. – January 2001. – Vol. 40 (3). – Pp. 279-288.
16. Karakhanian A., Djr bashian R., Trifonov V. et al. Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries // J. Volcanol. Geotherm. Res. – 2002. – Vol. 113. – Pp. 319-344.
17. Korjenkov A.M. Seismogenic convolutions in the lacustrine deposits of the Issyk-Kul Lake, the Tien Shan // J. Earthq. Pred. Res. – 2000. – Vol. 8 – Pp. 514-519.
18. Leroyer C. et al. Mid Holocene vegetation reconstruction from Vanevan peat (south-eastern shore of Lake Sevan, Armenia), Quaternary International. – 2016. – No. 395. – Pp. 5-18.

19. Rossetti D. F. Soft sediment deformation structures in late Albian to Cenomanian deposits, São Luis Basin, Northern Brazil: Evidence for palaeoseismicity // *Sedimentology*. – 1999. – Vol. 46. – Pp. 1065-1081.

20. Jones A., Omoto K. Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft-sediment deformation: a case study of Late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira Basins, northeastern Japan // *Sedimentology*. – 2000. – Vol. 47. – Pp. 1211-1226.

GEOPHYSICAL METHODS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793

Paleohydrogeological and geophysical research aimed at reconstruction of paleoclimate in lake Sevan basin, Armenia

R. S. Minasyan¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., J. K. Karapetyan¹, Cand. Sci. (Geol.), R. A. Karamyan¹, A. A. Igityan¹, Cand. Sci. (Geol.), A. A. Gevorgyan¹, D. K. Nurgaliev², Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., P. S. Krilov², A. N. Dautov², P. G. Yasonov², Cand. Sci. (Geol.-Min.), D. M. Kuzina²

¹Institute of Geophysics and Engineering Seismology after A. Nazarov of NAS RA, 5V. Sarksyian Str., Gyumri 3115, Republic of Armenia
e-mail: hydroscope2006@yahoo.com

²Kazan Federal University, 18 Kremlevskaya Str., Kazan 420008, Russia
e-mail: danis.nourgaliev@kpfu.ru

Abstract. In order to determine the natural conditions for the restoration of the paleoclimate of the lake Sevan basin (Armenia) the materials related to the geomorphological-tectonic and paleohydrogeological structure of the inshore and aquatic parts of the lake were analyzed and summarized. Special geophysical studies of the paleohydrogeological orientation have been carried out: the paleohydrogeological zoning of the catchment area has been carried out, data on the structure of its paleorelief have been obtained, a number of paleochannels have been identified, the main routes of concentrated movement and the groundwater discharge area have been determined, including within the lake waters. Data on the section of terrigenous deposits dating of the lake coastal parts were obtained according to paleomagnetic studies. The seismic-acoustic wave studies carried out in the water area of the Small Sevan made it possible to draw up geophysical sections characterizing the structural features of the lake's bottom sediments. In general, the obtained data will be used to determine the age of the limnological deposits of the inshore and bottom parts of the lake, to establish the paleohydrogeological, geoecological, and paleogeographic features of its development in the Holocene in connection with an attempt to reconstruct the paleoclimate of the studied region. According to the bathymetric data, the bottom of the Greater Sevan represents a flat plain with fluctuations of depths on average $40 \div 51.5$ m. In the south-western part of the territory, north of the village of Getashen, erosion troughs that are associated with the ancient valley of the river of Argichi are traced. The existence of the latter is also confirmed by geophysical data. It is assumed that the morphology of the deep part of the Small Sevan bottom reflects the presence of significant tectonic subsidence here. At the same time, on the south-western and western slopes, in the formation of the present-day relief of the bottom of the lake, the main role was played by outpourings of Holocene-age lavas. In the northeastern coastal

part of the Small Sevan, to a depth of 70 ÷ 99 m, closed depressions have been established, the origin of which is explained by local tectonic subsidence. In general, the bottom relief of the Small Sevan differs significantly from the Greater Sevan, both in terms of complexity and origin.

Keywords: the lake Sevan, paleoclimate, Armenia, paleohydrogeology, geophysical methods, zoning, catchment area, paleomagnetism, seismoacoustics, Holocene.

Acknowledgements: The presented work was supported by the State Committee on Science of the Ministry of Education and Science of the Republic of Armenia within the framework of the scientific Project N 18RF-033.

For citation: Minasyan R. S., Karapetyan J. K., Karamyan R. A., Igityan A. A., Gevorgyan A. A., Nurgaliev D. K., Krilov P. S., Dautov A. N., Yasonov P. G., Kuzina D. M. Paleohydrogeological and geophysical research aimed at reconstruction of paleoclimate in lake Sevan basin, Armenia. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 122-134. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793.

References

1. Bal'yan S. P. Structural geomorphology of the Armenian highlands and bordering areas. Erevan: EGU, 1969. pp. 390. (in Russ.)
2. Vardanyan A. A., Nechaeva T. B., Minasyan Dzh. O. Experience in the study of paleo-variations on the Holocene lacustrine sediments of Lake Sevan. *News of Earth Sciences of the Academy of Sciences of the Armenian SSR*. 1983. No. 4. pp. 66-69. (in Russ.)
3. Vardanyan A. A., Korzhenkov A. M., Sorokin A. A., Stakhovskaya R. Yu. Paleogeographic conditions and age of a strong earthquake according to a study of the Holocene sediments of Lake Sevan, Armenia. *Geophysical processes and Biosphere*. 2018. Vol. 17. No. 1. pp. 125-136. (in Russ.)
4. *Geology of the Armenian SSR. Vol I. Geomorphology*. Erevan: Academy of Sciences of the Armenian SSR, 1962. 431 p. (in Russ.)
5. *Geology of Sevan*. Ed. Satiana M. A. and Chilingaryan G. V. Erevan: National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, 1994. 181 p. (in Russ.)
6. Korzhenkov A. M., Avanesyan M. A., Virdzhino A., Karakhanyan A. S. Seismogenic convolutions in the Quaternary sediments of Lake Sevan (Armenia). *Geology and Geophysics*. 2014. Vol. 55. No. 1. pp. 56-65. (in Russ.)
7. Krylov P. S. Seismic acoustics of bottom sediments of modern lakes, as the basis of paleogeophysical and paleoclimatic reconstructions. Dissertation of the candidate of geological-mineralogical sciences. Kazan. 2018. 155 p. (in Russ.)
8. Milanovskii E. E. The newest tectonics of the Caucasus. M. Nedra, 1968. pp. 483. (in Russ.)
9. Minasyan R. S. Hydro-geophysical studies of groundwater in volcanic regions. Saarbrücken: Palmarium Academic Publishing, 2014. pp. 70. (in Russ.)
10. Petrova G. N., Didenko E. Yu., Vardanyan A. A. Variations of the geomagnetic field recorded in the sediments of the Dzknaget section. *Physics of the Earth*. 1995. No. 5. pp. 80-87. (in Russ.)
11. Sayadyan Yu. V., Milanovskii E. E., Aslanyan A. T. et al. History of lakes Sevan, Issyk-Kul, Balkhash, Zaisan and Aral. L. Nauka. 1991. pp. 301. (in Russ.)
12. Sayadyan Yu. V. Latest geological history of Armenia. Erevan, publisher "Gitutyun", 2009. pp. 375. (in Russ.)
13. Bowman D., Korjenkov A. M., Porat N. Late-Pleistocene seismites from Lake Issyk-kul, the Tien Shan range, Kyrgyzstan. *Sedimentary Geology*. – 2004. – Vol. 163. – pp. 211-228.
14. Chunga K., Livio F. et al. Synsedimentary deformation of Pleistocene glaciolacustrine deposits in the Albese con Cassano area (Southern Alps, Northern Italy), and possible implications for paleoseismicity. *Sedimentary Geology*. – 2007. – Vol. 196. – pp. 59-80.
15. Karakhanian A., Tozalakyan P., Grillot J.-C., Philip H., Melkonyan D., Paronyan R., Arakelyan S. Tectonica impact on the Lake Sevan environment (Armenia). *Environmental Geology*. – January 2001. – Vol. 40 (3). – pp. 279-288.

16. Karakhanian A., Djrbashian R., Trifonov V. et al. Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 2002. Vol. 113. pp. 319-344.
17. Korjenkov A.M. Seismogenic convolutions in the lacustrine deposits of the Issyk-Kul Lake, the Tien Shan. *J. Earthq. Pred. Res.* 2000. Vol. 8 pp. 514-519.
18. Leroyer C. et al. Mid Holocene vegetation reconstruction from Vanevan peat (south-eastern shore of Lake Sevan, Armenia), *Quaternary International*. 2016. No. 395. pp. 5-18.
19. Rossetti D.F. Soft sediment deformation structures in late Albian to Cenomanian deposits, São Luis Basin, Northern Brazil: Evidence for palaeoseismicity. *Sedimentology*. 1999. Vol. 46. pp. 1065-1081.
20. Jones A., Omoto K. Towards establishing criteria for identifying trigger mechanisms for soft-sediment deformation: a case study of Late Pleistocene lacustrine sands and clays, Onikobe and Nakayamadaira Basins, northeastern Japan. *Sedimentology*. 2000. Vol. 47. pp. 1211-1226.

УДК 550.34:902/904

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26794

Комплекс деформаций строительных конструкций в греческом археологическом памятнике «Госпиталь», г. Керчь, Крым

А. М. Корженков¹, д. г.-м. н., А. Н. Овсяченко¹, к. г.-м. н., Н. Ф. Федосеев²,
к. и. н., А. С. Ларьков¹

¹ФГБУН Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995,
г. Москва, ул. Б. Грузинская, д. 10, стр. 1, e-mail: korzhenkov@ifz.ru.

²ФГБУН Институт археологии Крыма РАН, Россия, 295007, Республика Крым,
г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, д. 2.

Аннотация: Поселение «Госпиталь» было обнаружено в 1989 году и в 1989-90, 1992 гг. проводились археологические работы. Поселение «Госпиталь» занимало вершину и склоны небольшого пологого холма, расположенного на правом берегу р. Джарджавы. Раскопками в 2017 году было исследовано 1815 квадратных метров, на остальной части практически уничтоженного памятника продолжались вести археологические наблюдения. В результате были открыты как наземные жилые каменные конструкции, так и заглубленные в землю – землянки. Наличие поселения вблизи погребального комплекса – Госпитального кургана, нонсенс для эллинского мира. В античности никогда греки не устраивали поселение рядом с погребением. Да и во всей округе Пантикапея, нет ни одного сельского поселения. Разгадка кроется в комплексе Госпитального кургана – он полностью синхронен поселению. Следовательно, поселение «Госпиталь» не сельская усадьба, а поселение строителей курганов. Это подтверждают выявленные остеологами следы использования лошадей и крупного рогатого скота на тяжелых работах. Нами был выявлен комплекс деформаций строительных конструкций, имеющийся в археологическом памятнике «Госпиталь», современный город Керчь, Крым. Наряду с обнаруженными скелетами человека и коровы, заваленными обломками, упомянутые разрушения и повреждения свидетельствуют о сейсмическом источнике разрушений. Местная интенсивность сейсмических колебаний, судя по очень сильной степени разрушений и значительному отбросу каменных обломков, была не менее I ≥ IX баллов по Шкале MSK-64. Эпицентр (очаг) сейсмических колебаний, судя по степени разрушений и отсутствию систематики в их проявлении в стенах определенных ориентировок, располагался поблизости от археологического памятника. Однако общая картина разрушений осложнена катастрофическими грязе-вулканическими деформациями земной поверхности. Возраст сейсмических деформаций последнего сильного сейсмического события, приведшего к полному разрушению археологического памятника и его оставлению древними насельниками, судя по анализу археологических находок – IV-III вв. до н. э.

Ключевые слова: сейсмические деформации, археологические памятники, древние землетрясения, кинематические индикаторы, Боспорское Царство, Керчь, Крым.

Благодарности: Приведенные в статье исследования проведены при финансовой поддержке грантов РФФИ 18-05-01004 и 18-35-00521, а также Государственной поддержки научных программ ИФЗ РАН. Благодарим археологов Алексеева А. В., Двуреченскую Н. Д., Двуреченского О. В., Рукавишникову И. В. (ИА РАН) за полевые дискуссии и обсуждение результатов.

Для цитирования: А. М. Корженков, А. Н. Овсяченко, Н. Ф. Федосеев, А. С. Ларьков. Комплекс деформаций строительных конструкций в греческом археологическом памятнике «Госпиталь», г. Керчь, Крым // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 № 1. С. 135-149. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26794.

Введение

За последние 250 лет, охватывающих исторический и инструментальный периоды сейсмической истории, Керченский полуостров не подвергался сильным землетрясениям. Однако, следы сейсмического воздействия не раз фиксировались при раскопках античных памятников. Для античного периода из письменных источников известно о землетрясении 64/63 гг. до н. э. По сообщению Диона Кассия [Cassius, 1914] землетрясение было столь сильным, что разрушенными оказались несколько городов. Большая часть приморских сооружений и отдельные участки многих городов в районе современного Керченского пролива оказались затопленными [Блаватский, Кошеленко, 1963; Никонов, 1998]. Весьма возможно, что в их числе оказались Акра, Кызаульское поселение, частично Китей [Корженков и др., 2016; Овсяченко и др., 2017; Molev et al., 2018 и др.].

О каком-то землетрясении сообщает Феопомп Синопский: «В Киммерийском Боспоре при внезапном землетрясении расселся один холм и выбросил кости огромных размеров... окрестные варвары бросили эти кости в Меотическое болото». А.А. Никонов и Э.А. Вангейгейм [Никонов, Вангейгейм, 1991] предполагают, что это землетрясение произошло в IV-II вв. до н. э. на азовском побережье Таманского п-ова.

В.П. Толстик [1999] неоднократно при раскопках античного Пантикапея (г. Керчь) фиксировал различные следы сейсмического воздействия. Так, в 1996 году при исследовании башни II западного фронта обороны акрополя Пантикапея В.П. Толстик зафиксировал разрушения и пожар около середины III в. до н. э., причиной которых по его предположению могло стать землетрясение. В.П. Толстик также пишет, что причиной разрушения ряда монументальных построек на акрополе Пантикапея, включая и здания, входившие в ансамбль базилики, стало землетрясение во 2-ой четверти III в. до н. э.

Уточнить сведения об этом землетрясении позволяют последние раскопки на Керченском п-ове. В 2017 году археологическая экспедиция под руководством И.В. Рукавишниковой (Институт археологии РАН, г. Москва) проводила охраняемые раскопки поселения «Госпиталь» (полевые исследования под руководством Нигоры и Олега Двуреченских) (рис. 1). Поселение «Госпиталь» было обнаружено в 1989 году Н.Ф. Федосеевым и им же в 1989-90, 1992 гг. проводились археологические работы. Поселение занимало вершину и склоны небольшого пологого холма, расположенного на правом берегу р. Джарджавы при вхождении в ее долину небольшой балки. Общая площадь памятника составляла около 9000 кв. м. Раскопками в 2017 году было исследовано 1815 квадратных метров, на остальной части практически уничтоженного памятника велись археологические наблюдения [Рукавишникова и др., 2018]. В результате были открыты как наземные жилые каменные конструкции, так и заглубленные в землю – землянки. Наличие поселения вблизи погребального комплекса – Госпитального кургана, нонсенс для эллинского мира. В античности никогда греки не устраивали поселение рядом с погребением. Да и во всей округе Пантикапея, нет ни одного сельского поселения. Разгадка кроется в комплексе Госпитального кургана (раскопан в 2017 году экспедицией И.В. Рукавишниковой) – он полностью синхронен поселению. Следовательно, поселение Госпиталь не сельская усадьба, а поселение строителей курганов. Это подтверждают выявленные остеологами следы использования лошадей и крупного рогатого скота на тяжелых работах.



Рис. 1. Схема расположения поселения «Госпиталь»
на восточном окончании Керченского полуострова /

Fig. 1. Location map of the "Gospital" settlement at the eastern end of the Kerch Peninsula

Предполагается, что в Госпитальном кургане был захоронен Сатир II, погибший в 309 году до н. э. Именно этим временем датируются последние клейма на синопских транспортных амфорах, которые поступали на поселение. Правда известно одно клеймо магистрата Пасихара 1, которое датируется чуть поздним временем – 302 г. до н. э. Весьма возможно, что рубежом IV/III вв. до н. э. датируются еще несколько артефактов. Вероятно, что с захоронением царя основные постройки на поселении были заброшены, но кто-то еще заполнял котлованы землянок мусором. То есть жизнь затухала на поселении постепенно. Рубежом IV/III вв. до н. э. датируется завал землянки (строительный комплекс № 3), где под камнями найден скелет коровы и человека. Антропологи (д. и. н. М. В. Добровольская и к. и. н. И. К. Решетова – оба из Института археологии РАН) отметили наличие травмы на черепе мужчины 25-35 лет, которую он мог получить в результате обрушения здания или других обстоятельств. На правой теменной кости обнаружены следы сильного удара, который привел к образованию трещин по всей теменной кости, а также сформировал сквозное отверстие основными размерами 32 мм на 29 мм. Следов заживления не было обнаружено, а характер удара не находит соответствия ни с каким оружием [Рукавишников и др., 2018].

В процессе полевых работ нами использовался «стандартный» комплекс исследований, применяемых в археологии, археосейсмологии и палеосейсмологии. Этот комплексный подход неоднократно описывался и применялся нами при изучении древних памятников Ближнего Востока, Средней Азии и Кавказа [Korzhnikov, Mazor, 1999; Корженков, Мазор, 2001; Korjenkov, Schmidt, 2009 и многие др.]. В последние годы упомянутый комплекс исследований успешно использовался при изучении древних памятников Крыма [Винокуров и др., 2015; Корженков и др., 2016, 2018; Овсяченко и др., 2017; Хапаев и др., 2016; Molev et al., 2018 и многие др.].

Чтобы не повторять неоднократно одно и то же, мы отсылаем читателей к нашим ранним работам.

Результаты археосейсмологических исследований и их обсуждение

Наиболее очевидными свидетельствами сейсмических деформаций в пораженных землетрясениями археологических памятниках являются систематические – **однаправленные наклоны, выдвигания и обрушения древних стен** [Korzhhenkov, Mazor, 1999; Корженков, Мазор, 2001]. Сейсмические колебания очень быстро распространяются от их источника – очага / разрыва сильного землетрясения, вовлекая в свое движение грунты, а также нижние части строительных сооружений. Верхние же части строительных конструкций из-за силы инерции отстают от этих движений и наклоняются, выдвигаются и обрушаются (обычно) в сторону источника колебаний – сейсмического разрыва.

Подобным образом повели себя субширотные стены строительного комплекса 3 (рис. 2). Только, по-видимому, при очень сильных сейсмических колебаниях мог произойти подобный сильный отброс обломков стен в северном направлении: отдельные обломки северной стены отлетели на расстояние до 8 м, а с южной стены – до 3 м в том же направлении. Следует отметить, что дальнейшему отлету обломков с южной стены помешала, по-видимому, смежная – северная стена: она оказалась преградой. Заметно, что стены сильно «расселись» при сотрясениях. Видимая высота обеих стен над днищем раскопа 27 мая 2017 г. была 1,00 м, толщина в нижней – сохранившейся части – 0,70 м.

Другой пример деформаций, возникающих при воздействии сейсмических колебаний перпендикулярно простирацию вытянутых стен – это их выгибания в плане. Подобные строительные повреждения возникают при относительной свободе



Рис. 2. Общий план городища «Нижний госпиталь». Снимок ориентирован на запад (из Отчета археологических раскопок памятника «Поселение Госпиталь-1») /

Fig. 2. The general plan of the settlement “Nizhnyi Gosptal”. The picture is oriented to the west (from the Report of the archaeological excavations of the monument Settlement “Gosptal-1”)

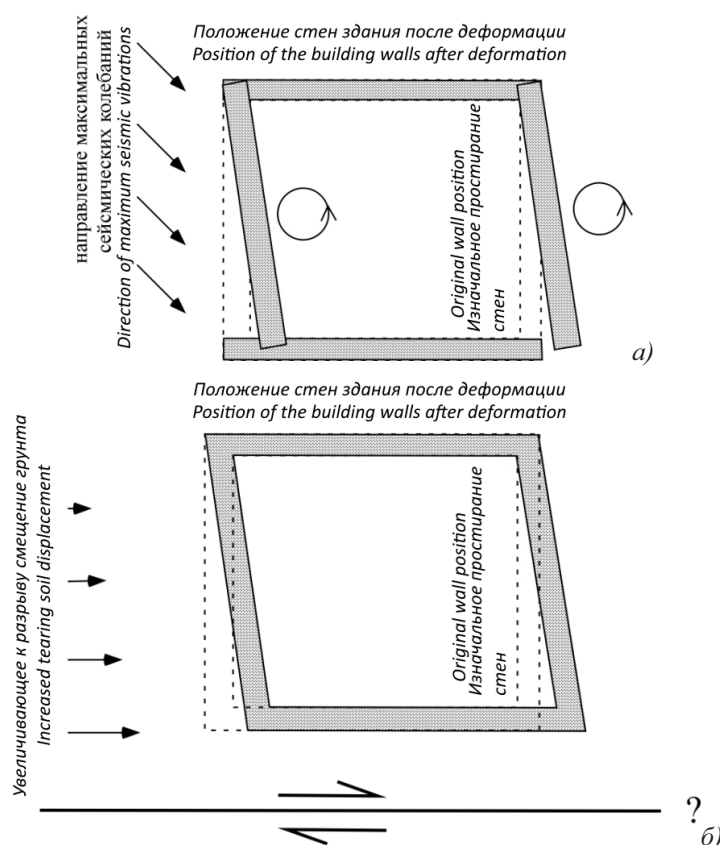


Рис. 3. Схематическая модель образования трапецевидной в плане формы изначально прямоугольного здания вследствие: а) систематических разворотов параллельных стен, б) увеличивающегося однонаправленного смещения грунта /

Fig. 3. A schematic model of the trapezoid shape formation in plan of an initially rectangular building in consequence of: a) systematic reversals of parallel walls, b) increasing unidirectional displacement of soil



Рис. 4. Непрямоугольное положение стен в строительном комплексе 3: Острый угол между северной и западной стенами – 60° , тупой угол между западной и южной стенами – 125° . Южная стена изломана и повернута против часовой стрелки на 75° , по-видимому, в связи с сильным течением грунта в восточной части комплекса. Фотография 26 мая 2017 г. Вид на запад /

Fig. 4. The non-rectangular position of the walls in the building complex 3: The acute angle between the north and west walls – 60° , the obtuse angle between the western and southern walls – 125° . The southern wall is warped and turned anticlockwise by 75° , apparently due to the strong flow of soil in the eastern part of the complex. Photo May 26, 2017 View to the west

колебаний в центральной части стены, в то время как ее крайние части закреплены смежными – перпендикулярными стенами [Korjenkov, Schmidt, 2009]. Так, перпендикулярная – западная стена строительного комплекса №3 имеет подобный тип деформации: она латерально выгнута в плане на запад до 80 см.

Вращения отдельных строительных блоков, кирпичей, камней или постаментов колонн, а также значительных фрагментов стен или всей стены целиком часто наблюдаются в сейсмически пораженной области. Вращение вызывается сдвиговой парой сил, приложенной к плоскому элементу конструкции. Максимальное суммарное сейсмическое воздействие, направленное параллельно к простиранию стен или перпендикулярно к его стенам, приведет к обрушению, смещению или наклону без вращения. Вращение будет иметь место в случаях, где главные напряжения приложены под углом к элементу конструкции и результирующие сдвиговые напряжения высоки. Таким образом, развернутые элементы, находящиеся на перпендикулярно ориентированных стенах, должны иметь противоположное направление вращения, если сейсмический толчок прошел вдоль биссектрисы между двумя стенами.

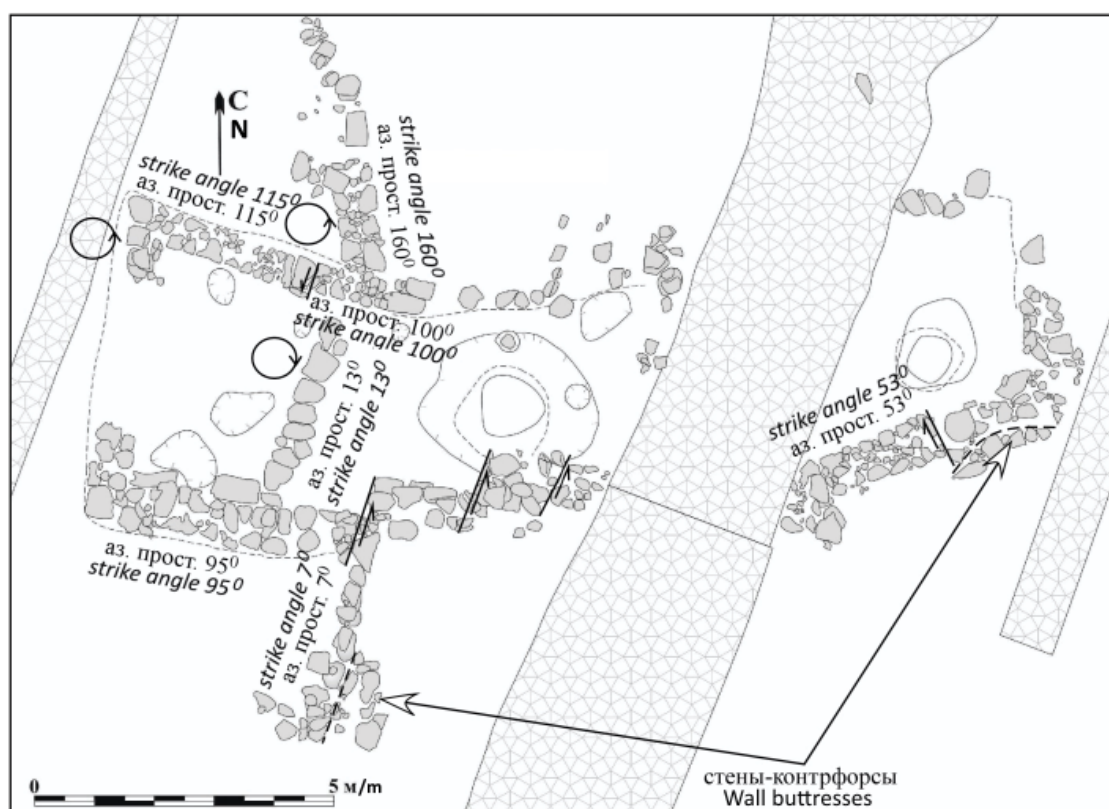


Рис. 5. Археологический план строительного комплекса 1. Показаны сколы и латеральные смещения частей стен, повороты строительных элементов, а также стены-контрфорсы. Прямоугольное изначально здание в своей восточной части испытало смещение на север – восточная часть комплекса повернулось целиком против часовой стрелки. (По дополненным материалам из Отчета археологических раскопок памятника «Поселение Госпиталь-1») /

Fig. 5. Archaeological plan of the building complex 1. Chipped and lateral displacements of parts of the walls, turns of the building elements, and also buttress walls are shown. The rectangular building initially in its eastern part experienced a shift to the north – the eastern part of the complex turned completely counterclockwise. (According to the amended materials from the Report of the archaeological excavations of the monument Settlement "Hospital-1")

Трапецивидная форма в плане стен изначально прямоугольного сооружения (в простейшем случае – одной комнаты) может быть следствием сейсмических деформаций. Трапецивидная форма появится вследствие: либо систематических однонаправленных разворотов параллельных стен, либо при перемещении грунта, увеличивающемся в одном направлении (рис. 3а, б), часто – по направлению к плоскости сейсмогенерирующего разлома [Karakhanyan et al., 2008]. В случае с западной частью строительного комплекса № 1, по-видимому, имеет место второй случай.

Очень впечатляющим является значительный поворот (на 75°) восточного фрагмента южной стены строительного комплекса № 3 (рис. 4). Поворачиваются не только части стен, но и строительные конструкции целиком. Так вся восточная часть строительного комплекса № 1 целиком развернулась против часовой стрелки. Простираание стен этого комплекса в его западной части субширотное – $100-115^\circ$, в восточной же части простираание стен меняется до азимута $53-65^\circ$ (рис. 5). Понятно, что изначально оба здания были прямоугольными.

Развороты стен и других строительных конструкций или их частей вокруг вертикальной оси вращения часто связаны с сильными сейсмическими колебаниями. Систематические развороты строительных элементов по или против часовой стрелки в стенах одной ориентировки – важнейшее доказательство сейсмической природы деформации [Korzhnikov, Mazar, 1999; Корженков, Мазор, 2001]. Так, в восточной части строительного комплекса № 1 во внешней стене с азимутом простираания 65° произошел поворот ее ЮЗ части против часовой стрелки на 12° (рис. 6) и ее выдвижение к западу на 10 см. Сравнительная стабильность СВ части этой стены при сильных сейсмических колебаниях, по-видимому, объясняется ее закреплением стеной-крепидой.

Важным примером хрупких сейсмических деформаций в древних сооружениях являются **сопряженные косые сколы** – разрывы стен со смещением. Они возникают при сильных сжимающих напряжениях, направленных субпараллельно простираанию стен. Длина стены при этом уменьшается, уменьшающийся её объем выбрасывается наружу – по латерали в сторону в виде сопряженных разворотов по системе сколов [Хапаев и др., 2016; Корженков и др., 2018]. Такие сколы наблюдались нами в субширотной стене в СЗ части строительного комплекса № 1 (рис. 7). При сильных колебаниях на месте осталась лишь центральная часть этой стены, закрепленная с севера перпендикулярной, в то время как её западное и восточное окончания оторвались по сколам и развернулись по (западная часть) и против (восточная часть) часовой стрелки. Незакрепленные – оторванные части стены при этом сместились к югу на расстояние до 10 см. Описываемая стена сохранилась до уровня 2-3 каменных ряда, её ширина 55 см.

Стены-контрфорсы и крепиды сами по себе свидетельствуют лишь о повреждении неустойчивости первоначальных стен – обычно их наклонов. Однако систематическое строительство вдоль первичных стен одного простираания может свидетельствовать либо об уклоне местности, либо об однонаправленных сейсмических деформациях – особенно если поверхность перед строительством была плоская или строительная площадка была выровнена. В эпицентральных зонах сильных землетрясений – в районе преимущественно вертикальных сейсмических колебаний картина распространения крепид может быть хаотической. Подобное случайное распространение стен-контрфорсов также может быть в районах неу-



Рис. 6. Разворот против часовой стрелки западной части одной из стен в строительном комплексе 1. Восточная часть осталась на месте, в связи с её поддержкой стеной-контрфорсом. Фотография 26 мая 2017 г. /

Fig. 6. Turning counterclockwise of the western part of one of the walls in the construction complex 1. The eastern part remained in place, due to its support by the buttress. Photo May 26, 2017

стойчивых просадочных грунтов. Таким образом, наличие крепид может служить лишь дополнительным признаком сейсмических деформаций.

Подобная стена-контрфорс имеется в ЮВ углу строительного комплекса №2 (квадрат 28 ИК). Здесь к длинной стене с простираением 160° с востока прислонена другая – более короткая стена (рис. 8). Её простираение 165° . Между этими стенами имеется зазор. Сейчас трудно определить: какая из стен была изначальной – они сохранились лишь в один ряд каменной кладки. Ширина стен: западная – 70 см, восточная – 80 см.

Вероятно, контрфорсная подпорка с юга была пристроена к длинной стене с простираением 65° в ЮВ части строительного комплекса №1 в квадрате М 30. Стена сохранилась лишь на высоту в два каменных ряда, её ширина 65 см. От стены-крепиды сохранилось лишь пять камней с южной стороны (см. рис. 6). По-видимому,



Рис. 7. Выбивание и развороты частей субширотной стены по сопряженным сколам в СЗ части строительного комплекса № 1. Фотография 26 мая 2017 г. /

Fig. 7. Knocking out and reversals of parts of the sub-latitudinal wall along conjugate chips in the NW part of the construction complex No. 1. Photo May 26, 2017

после сильного землетрясения первоначальная стена сильно наклонилась в южном направлении и, поэтому, древним строителям пришлось провести укрепительные мероприятия.

Геологическое положение памятника

Описанные выше деформации стен поселения важно рассмотреть в геологическом контексте. В геологическом отношении археологический памятник «Госпиталь» расположен в своде Восходовской антиклинальной складки. В рельефе эта структура представлена обращенной формой – широкой, открытой к морю долиной, которая с севера и юга окаймлена довольно высокими, но пологими гребнями, сложенными известняками мэотиса позднего миоцена. Вдоль оси этой долины наблюдаются пологие увалы, сложенные глинистыми отложениями нижне-го-среднего миоцена с отдельными выходами майкопских глин в ядрах локальных



Рис. 8. Остатки стен строительного комплекса № 2. Первичная западная стена наклонилась на восток и для её укрепления была пристроена крепида с восточной же стороны.

Фотография 26 мая 2017 г. /

Fig. 8. Remains of the walls of the construction complex No. 2. The primary western wall leaned to the east and for its underpinning, a crepidoma was attached on the eastern side. Photo May 26, 2017

брахиантиклиналей к которым приурочены грязевые вулканы. Предполагается, что в районе Солдатско-Слободских грязевых вулканов развита вдавленная синклиналь, выполненная неогеновыми известняками и грязе-вулканической брекчией [Шнюков и др., 1981]. В районе памятника находится несколько грязевых вулканов, расположенных в пределах обширного грязе-вулканического очага (рис. 9). В настоящее время здесь наблюдается два действующих центра: сопка Никитского и Солдатско-Слободской-II. Бурные извержения этих грязевых вулканов не известны – на протяжении периода изучения (последние 150 лет) они демонстрируют вялый режим деятельности выделяя жидкую грязь, воду и газы в небольших количествах [Шнюков и др., 2006].

Расположение поселения в пределах обширного грязе-вулканического очага, несомненно, оказало влияние на характер разрушений. Видимо, именно этим можно объяснить сильное течение грунта, в результате которого были изломаны и повернуты стены строительного комплекса 3. Катастрофические извержения грязевых вулканов сопровождаются взрывами, воспламенением газов, выбросами



Рис. 9. Схема расположения поселения «Госпиталь» на основе космоснимка (<http://ecn.t0.tiles.virtualearth.net/tiles/a>). Белые линии – контуры подошвы мезотических известняков выраженных в рельефе грядой на крыльях Восходовской антиклинальной складки /

Fig. 9. Location of the hospital settlement "Hospital" on the basis of a satellite image (<http://ecn.t0.tiles.virtualearth.net/tiles/a>). White lines – contours of the base of Meotian limestones expressed in a relief by a ridge on the wings of the Voskhodovo anticlinal fold

крупных кусков шлака и грязи, излияниями грязевых потоков, образованием трещин и изгибными деформациями обширных участков земной поверхности. Такие явления в Керченско-Таманском регионе – не редкость. На поверхности при таких извержениях образуются разрывы протяженностью в десятки метров – первые километры, обнаруживающие большое сходство с сеймотектоническими. Сходство заключается, прежде всего, в импульсном характере подвижки и смещения земной поверхности с устойчивой кинематикой вдоль всего разрыва [Овсяченко, Сысолин, 2016].

Можно предполагать, что на территории поселения «Госпиталь» происходили подобные, грязе-вулканические деформации земной поверхности. В то же время, специфический комплекс деформаций строительных конструкций свидетельствует о сейсмическом источнике разрушений. По всей видимости, в результате сильного землетрясения были активизированы и грязе-вулканические процессы в очаге, расположенном в районе поселения «Госпиталь». Хорошо известно, что миграция газов и грязе-вулканические извержения могут быть инициированы землетрясениями в результате сейсмических колебаний, резких изменений напряженного состояния

и флюидопроницаемости земной коры [Mazzini, Etiope, 2017]. По всей видимости, в случае Солдатско-Слободских грязевых вулканов, имела место сейсмогенная инициация катастрофического извержения, т. к. в периоды сейсмического затишья (продолжающегося поныне) они демонстрируют вялый режим деятельности.

Заключение

Таким образом, комплекс деформаций строительных конструкций, имеющийся в археологическом памятнике «Госпиталь», наряду с обнаруженными заваленными обломками скелетами человека и коровы, свидетельствуют о сейсмическом источнике разрушений. Местная интенсивность сейсмических колебаний, судя по очень сильной степени разрушений и значительному отбросу каменных обломков, была не менее $I \geq IX$ баллов по Шкале MSK-64. Эпицентр (очаг) сейсмических колебаний, судя по степени разрушений и отсутствию систематики в их проявлении в стенах определенных ориентировок, располагался поблизости от археологического памятника. Однако, общая картина разрушений осложнена катастрофическими грязе-вулканическими деформациями земной поверхности. Возраст сейсмических деформаций последнего сильного сейсмического события, приведшего к полному разрушению археологического памятника и его оставлению древними населенниками, судя по анализу археологических находок – IV-III вв. до н. э. Наличие стен-контрфорсов, возможно, свидетельствует о еще одном значительном землетрясении, произошедшем ранее.

Уточнение времени землетрясения имеет большое значение для истории Боспора – государства, существовавшего на Керченском и Таманском п-овах в античное время. Со второй трети III в. до н. э. на Боспоре фиксируется кризис: разрушаются многие сельские поселения, в чеканке монеты происходят множественные изменения, практически со второй трети III в. до н. э. об истории Боспора нам известна лишь весьма скудная информация. Не являются ли изменения в политической жизни Боспора следствием природных катаклизмов?

Литература

1. Блаватский В. Д., Кошеленко Г. А. Открытие затонувшего мира. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 108 с.
2. Винокуров Н. И., Корженков А. М., Родкин М. В. К оценке сейсмической опасности района Керченского пролива по данным археосейсмологии // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42. № 2. – С. 51-66.
3. Корженков А. М., Мазор Э. Структурная реконструкция сейсмических событий: руины древних городов как окаменевшие сейсмографы // Изв. МОН РК, НАН РК. Серия общественных наук. – 2001. – № 1. – С. 108-125.
4. Корженков А. М., Ларьков А. С., Мараханов А. В., Молев Е. А., Овсяченко А. Н., Рогожин Е. А., Хршановский В. А. Следы сильных землетрясений в крепостных стенах античного города Китей, Керченский полуостров // Элита Боспора и боспорская элитарная культура. Материалы международного круглого стола. – СПб.: ПАЛЛАЦО, 2016. – С. 372-381.
5. Корженков А. М., Овсяченко А. Н., Ларьков А. С., Мараханов А. В., Рогожин Е. А., Сударев Н. И. Следы сильных землетрясений на Михайловском городище (Керченский полуостров, Крым) // Древности Боспора. – 2018. – № 22. – С. 115-132.

6. Никонов А.А. Затопленные остатки античных сооружений по берегам Боспора Киммерийского (в связи с проблемой изменений уровня Черного моря) // Российская археология. – 1998. – № 3. – С. 57-66.

7. Никонов А.А., Вангейгейм Э.А. Землетрясение «Синяя балка» // Природа. – 1991. – № 4. – С. 66-69.

8. Овсяченко А.Н., Сысолин А.И. Геологические исследования эндогенных природных опасностей Таманского полуострова. // Геология и геофизика юга России. – 2016. – № 1. – С. 91-101.

9. Овсяченко А.Н., Корженков А.М., Ларьков А.С., Рогожин Е.А., Мараханов А.В. Оценка сейсмической опасности низкоактивных областей на примере Керченско-Таманского региона // Наука и технологические разработки. – 2017. – Т. 96. № 1. – С. 15-28.

10. Толстиков В.П. К проблеме землетрясения III в. до н. э. на Боспоре (по материалам раскопок Пантикапея и Нимфея) // Боспорский город Нимфей: новые исследования и материалы и вопросы изучения античных городов Северного Причерноморья. – СПб. – 1999. – С. 72-75.

11. Рукавишникова И.В., Двуреченская Н.Д., Двуреченский О.В., Алексеев А.В., Федосеев Н.Ф. Поселение «Госпиталь» (Республика Крым, Ленинский район) // Города, селища, могильники. Раскопки 2017. Материалы спасательных археологических исследований. Т. 25. – М.: ИА РАН, 2018. – С. 302-309.

12. Хапаев В.В., Корженков А.М., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С., Мараханов А.В. Археосейсмологические исследования в древнем городе Херсонесе (Севастополь, Крым) // Геология и геофизика юга России. – 2016. – № 3. – С. 119-128.

13. Шнюков Е.Ф., Аленкин В.М., Путь А.Л., Наumenко П.И., Иноземцев Ю.И., Скиба С.И. Геология шельфа УССР. Керченский пролив. – К.: Наукова думка, 1981. – 160 с.

14. Шнюков Е.Ф., Шереметьев В.М., Маслаков Н.А. и др. Грязевые вулканы Керченско-Таманского региона. – Краснодар: ГлавМедиа, 2006. – 176 с.

15. Cassius Dio. Roman History. Book XXXVII. Loeb Classical Library edition. – 1914. – Vol. III.

16. Karakhanian A.S., Trifinov V.G., Ivanova T.P., Avagyan A., Rukieh M., Mimini H., Dodonov A.E., Bachmanov D.M. Seismic deformation in the St. Simeon Monasteries (Qal'at Sim'an), Northwestern Syria // Tectonophysics. – 2008. – Vol. 453. – Pp. 122-147

17. Korzhenkov A.M., Mazar E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs // Science and New Technologies. – 1999. – No. 1. – Pp. 62-74.

18. Korjenkov A.M., Schmidt K. An Archaeoseismological Study at Tall Hujayrāt al-Ghuzlān: Seismic Destruction of Chalcolithic and Early Bronze Age Structures. In: Prehistoric cAqaba I. Deutsches Archäologisches Institut. Orient-Abteilung. Orient-Archäologie. Band 23. Rahden/Westf.: Verlag Marie Leidorf GmbH. – 2009. – Pp. 79-97.

19. Mazzini A., Etiope G. Mud volcanism: An updated review // Earth-Science Reviews. – 2017. – Vol. 168. – Pp. 81-112.

20. Molev E.A., Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Larkov A.S. Potential traces of earthquakes in the ancient city of Kytaia, Kerch Peninsula, Crimea. // Geodesy and Geodynamics. – 2018. – (in press). – <https://doi.org/10.1016/j.geog.2018.03.006>.

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26794

Complex of building constructions' deformations in the Greek archeological settlement «Hospital», Kerch city, Crimea

A. M. Korzhenkov¹, Dr. Sci. (Geol.-Min.), A. N. Ovsyuchenko¹, Cand. Sci.
(Geol.-Min.), N. F. Fedoseev², Cand. Sci. (Hist.), A. S. Larkov¹

¹Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences,
10/1B. Gruzinskaya Str., Moscow 123995, Russia
e-mail: korzhenkov@ifz.ru;

² Institute of Crimean Archeology of the Russian Academy of Sciences, 2 Acad.
Vernadskoho Ave., Simferopol 295007, Russia

Abstract: The settlement "Hospital" was discovered in 1989 and in 1989-90, 1992 archaeological excavations were carried out. The settlement occupied the top and slopes of a small flat hill located on the right bank of the river Dzhardzhavy. In 2017, 1815 square meters were investigated by means of excavations and on the rest of the practically destroyed monument, the archaeological observations continued. As a result, both land residential stone structures and dugouts buried in the ground were discovered. The presence of a settlement near the burial complex (Hospital Barrow) is nonsense for the Hellenic world. The Greeks never construct a settlement near the burial in antiquity. And in the whole district of Panticapaeum, there is not a single rural settlement. The solution lies in the complex of the Hospital Barrow – it is completely synchronized with the settlement. Consequently, the settlement "Hospital" is not a rural homestead, but a settlement of the builders of barrows. It is confirmed by the identified by osteologists traces of the use of horses and cattle in hard work. We have revealed a complex of the building constructions' deformations at archaeological monument "Hospital" (the modern town of Kerch, Crimea). Together with man and cow skeletons covered by debris, the mentioned deformations give evidence of a seismic source of destructions. Judging by strong damage level of destructions and significant distance of thrown rock debris, local intensity of the seismic vibrations was $I \geq IX$ according to MSK-64 scale. Judging by a degree of destructions and by the absence of deformation patterns' systematics, the epicenter (seismic focus) of seismic vibrations was near the archaeological monument. However, the overall picture of destructions is complicated by catastrophic mud-volcanic deformations of the earth surface. According to the analysis of archaeological evidence, the age of seismic deformations of the last strong earthquake which led to the total destruction of the archaeological monument and the following abandonment of the territory is IV-III centuries BC.

Keywords: seismic deformations, archaeological monuments, ancient earthquakes, kinematic indicators, Bosporan Kingdom, Kerch, Crimea.

Acknowledgements: The studies were carried out with the financial support of grants from the Russian Foundation for Basic Research 18-05-01004 and 18-35-00521, as well as the State support of research programs of the Institute of Physics of Russian Academy of Sciences. We thank the archaeologists A.V. Alekseev, N.D. Dvurechenskuyu, O.V. Dvurechenskogo, I.V. Rukavishnikova (Institute of Archaeology of RAS) for field discussions and discussion of the results.

For citation: Korzhenkov A.M., Ovsyuchenko A.N., Fedoseev N.F., Larkov A.S. Complex of building constructions' deformations in the Greek archeological settlement «Hospital», Kerch city, Crimea. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 135-149. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26794.

References

1. Blavatskii V.D., Koshelenko G.A. Discovery of the sunken world. M. AN SSSR, 1963. 108 p. (in Russ.)

2. Vinokurov N. I., Korzhenkov A. M., Rodkin M. V. Seismic hazard assessment of the Kerch Strait area according to archaeoseismology. *Problems of Engineering Seismology*. 2015. Vol. 42. No. 2. pp. 51-66. (in Russ.)
3. Korzhenkov A. M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: the ruins of ancient cities as petrified seismographs. *Izv. MON RK, NAN RK. Seriya obshchestvennykh nauk*. 2001. No. 1. pp. 108-125. (in Russ.)
4. Korzhenkov A. M., Lar'kov A. S., Marakhanov A. V., Molev E. A., Ovsyuchenko A. N., Rogozhin E. A., Khrshanovskii V. A. Traces of strong earthquakes in the fortress walls of the ancient city of Kitey, Kerch Peninsula. *Bosporan elite and its culture. Materials of the international round table*. SPb. PALLACO, 2016. pp. 372-381. (in Russ.)
5. Korzhenkov A. M., Ovsyuchenko A. N., Lar'kov A. S., Marakhanov A. V., Rogozhin E. A., Sudarev N. I. Traces of strong earthquakes on the Mikhailovsky Settlement (Kerch Peninsula, Crimea). *Drevnosti Bospora*. 2018. No. 22. pp. 115-132. (in Russ.)
6. Nikonov A. A. Flooded remains of ancient structures along the shores of the Cimmerian Bosphorus (in connection with the problem of changes in the level of the Black Sea). *Russian archaeology*. 1998. No. 3. pp. 57-66. (in Russ.)
7. Nikonov A. A., Vangejgejm E. A. Earthquake "Blue Beam". *Nature*. 1991. No. 4. pp. 66-69. (in Russ.)
8. Ovsyuchenko A. N., Sysolin A. I. Geological studies of endogenous natural hazards of the Taman Peninsula. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2016. No. 1. Pp. 91-101. (in Russ.)
9. Ovsyuchenko A. N., Korzhenkov A. M., Lar'kov A. S., Rogozhin E. A., Marakhanov A. V. Seismic hazard assessment of low-level regions using the example of the Kerch-Taman region. *Science and technological developments*. 2017. Vol. 96. No. 1. Pp. 15-28. (in Russ.)
10. Tolstikov V. P. To the problem of earthquake III. BC. on the Bosphorus (based on the excavations of Panticapaeum and Nymphaea). *Bosporskij gorod Nimfej: novye issledovaniya i materialy i voprosy izucheniya antichnykh gorodov Severnogo Prichernomor'ya*. SPb. 1999. pp. 72-75. (in Russ.)
11. Rukavishnikova I. V., Dvurechenskaya N. D., Dvurechenskii O. V., Alekseev A. V., Fedoseev N. F. Settlement "Hospital" (Republic of Crimea, Leninsky district). *Cities, settlements, burial grounds. Excavations 2017. Materials rescue archaeological research*. Vol. 25. M. IAN RAN, 2018. pp. 302-309. (in Russ.)
12. Khapaev V. V., Korzhenkov A. M., Ovsyuchenko A. N., Lar'kov A. S., Marakhanov A. V. Archaeoseismological studies in the ancient city of Chersonese (Sevastopol, Crimea). *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2016. No. 3. pp. 119-128. (in Russ.)
13. Shnyukov E. F., Alenkin V. M., Put' A. L., Naumenko P. I., Inozemcev Yu. I., Skiba S. I. *Geology of the shelf of the Ukrainian SSR. Kerch Strait*. K. Naukova dumka, 1981. 160 p. (in Russ.)
14. Shnyukov E. F., Sheremet'ev V. M., Maslakov N. A. et al. *Mud volcanoes of the Kerch-Taman region*. Krasnodar: GlavMedia, 2006. 176 p. (in Russ.)
15. Cassius Dio. *Roman History*. Book XXXVII. Loeb Classical Library edition. – 1914. – Vol. III.
16. Karakhanian A. S., Trifinov V. G., Ivanova T. P., Avagyan A., Rukieh M., Mimini H., Dodonov A. E., Bachmanov D. M. Seismic deformation in the St. Simeon Monasteries (Qal'at Sim'an), Northwestern Syria. *Tectonophysics*. – 2008. – Vol. 453. – pp. 122-147
17. Korzhenkov A. M., Mazor E. Structural reconstruction of seismic events: Ruins of ancient buildings as fossil seismographs. *Science and New Technologies*. – 1999. – No. 1. – pp. 62-74.
18. Korjenkov A. M., Schmidt K. An Archaeoseismological Study at Tall Hujayrāt al-Ghuzlān: Seismic Destruction of Chalcolithic and Early Bronze Age Structures. In: *Prehistoric cAqaba I*. Deutsches Archäologisches Institut. Orient-Abteilung. Orient-Archäologie. Band 23. Rahden/Westf.: Verlag Marie Leidorf GmbH. – 2009. – pp. 79-97.
19. Mazzini A., Etiope G. Mud volcanism: An updated review. *Earth-Science Reviews*. – 2017. – Vol. 168. – pp. 81-112.
20. Molev E. A., Korzhenkov A. M., Ovsyuchenko A. N., Larkov A. S. Potential traces of earthquakes in the ancient city of Kytaia, Kerch Peninsula, Crimea. *Geodesy and Geodynamics*. – 2018. – (in press). – <https://doi.org/10.1016/j.geog.2018.03.006>.

УДК 624.13+556.3

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26795

Численное моделирование геофильтрации правобережья реки Дон для обоснования инженерной защиты от подтопления в г. Ростове-на-Дону

А. В. Гридневский, к. г.-м. н.

ФГБОУВО Донской государственный технический университет, Россия,
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, д. 1, e-mail: a328@ya.ru

Аннотация: Строительство на правобережье реки Дон в г. Ростове-на-Дону сопряжено с риском подтопления и высачивания подземных вод. Для обеспечения гидрогеологических прогнозов разработана численная гидрогеологическая модель склона речной долины. Она характеризует геологическую структуру, граничные условия подземного потока и параметры водопроницаемости грунтов. Идентификация гидрогеологических параметров и интенсивности влияния граничных условий выполнены методом многовариантного численного моделирования. Оценены притоки воды к дренажным сооружениям их зависимость от техногенной инфильтрации. Определены параметры неглубоко залегающих скифских глин, при которых они способствуют локальному подъему уровня подземных вод. В статье анализируются гидродинамические процессы в приустьевой части реки Темерник правобережья Дона с целью детализации представлений о гидрогеологической структуре массива грунтов, оценки параметров фильтрации и граничных условий. Полученные результаты использованы для определения водопритока в зоне высачивания к дренажным сооружениям, сопровождающим строительство. Применяемый подход основан на численном гидрогеологическом моделировании, системно учитывающем параметры геофильтрации в их взаимосвязи. Он позволяет учесть факторы геоэкологического риска для разработки эффективных решений в борьбе с подтоплением. Самыми древними отложениями, определяющими инженерно-геологические условия города, являются морские глины ниже-сарматского яруса (N_1s_1) мощностью 10-15 м, служащие региональным водоупором. Глины перекрыты комплексом (15-20 м) водопроницаемых трещиноватых известняков сарматского яруса (N_1s_2), переслаивающихся известняков и песков мезотического (N_1m) и понтического ярусов (N_1p). Завершается толща красно-бурыми плотными отложениями (5-15 м) скифских глин (Q_{esk}). Строительство в зоне высачивания создает подпор подземных вод и порождает риск ухудшения геотехнических условий эксплуатации зданий и сооружений: подтопление заглубленных конструкций, смещение по склону водонасыщенного песчано-глинистого грунта.

Ключевые слова: численное моделирование геофильтрации, планирование эксперимента, идентификация гидрогеологических параметров, высачивание подземных вод, подтопление.

Для цитирования: А. В. Гридневский Численное моделирование геофильтрации правобережья реки Дон для обоснования инженерной защиты от подтопления в г. Ростове-на-Дону // *Геология и геофизика Юга России*. 2019. Том 9 №1. С. 150-163. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26795.

Введение

Территория города Ростова-на-Дону, расположенная на правобережье реки Дон, подтоплена в районах исторического центра, плотной жилой застройки и крупных промышленных предприятий. Причинами подъема уровня грунтовых вод (УГВ) являются как геологические предпосылки (неглубокое залегание водоупорных

глин), так и потери из водонесущих коммуникаций. Устройство свайных фундаментов вдоль правого берега Дона создает барражный эффект, трансформирующий разгрузку подземных вод на склоне речной долины. Необходимо отметить, что в городской застройке на рубеже XIX-XX веков учитывался эффект разгрузки подземных вод в реку Дон. С этой целью возводились фундаменты с проемами для пропуска подземных вод [Меркулова, 2006].

Последние пятнадцать лет в городе застраивается набережная реки Дон. Многоэтажные здания расположены в зоне разгрузки неоген-четвертичных водоносных горизонтов. Строительство ведется с применением инженерных защит. Однако при эксплуатации возведенных объектов проявляется высачивание подземных вод, которое провоцирует деформации склона и зданий (рис. 1). Для повышения качества проектирования необходима разработка более эффективных прогнозов УГВ в прибрежной зоне реки Дон. Расчеты динамики УГВ с учетом техногенного режима выполняются для относительно простых схем методом аналитических расчетов [Прогнозы..., 1991]. Для сложных условий геофильтрации прогнозы разрабатываются на основе более эффективного подхода – численного моделирования [Громов, Пашковский, 2009; Colombo et al., 2017; Dawoud et al., 2006].

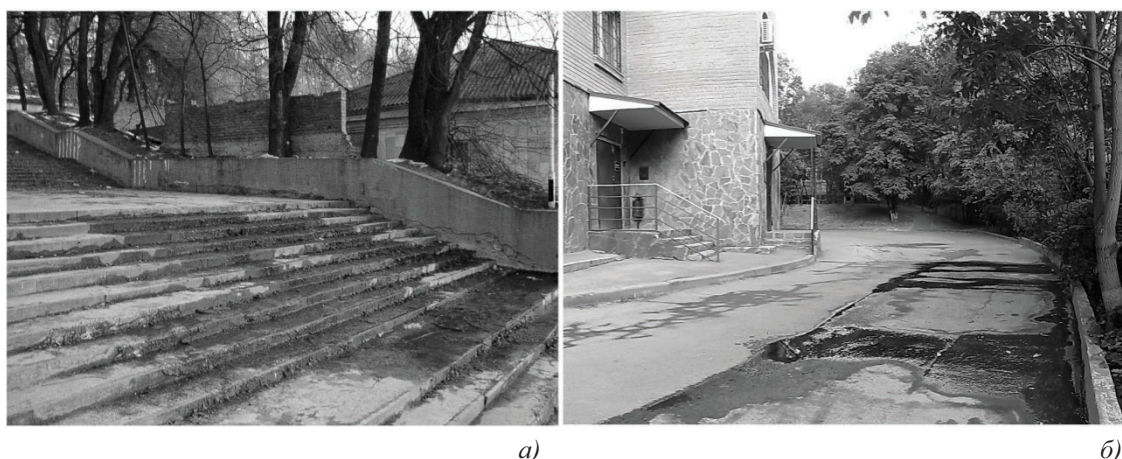


Рис. 1. Набережная реки Дон. Высачивание подземных вод: а) на Казанской лестнице, б) из-под фундамента жилого дома /

Fig. 1. Embankment of the Don river: Groundwater seepage: a) on the Kazan staircase, b) from under the foundation of a residential building

В статье анализируются гидродинамические процессы в приустьевой части реки Темерник правобережья Дона с целью детализации представлений о гидрогеологической структуре массива грунтов, оценки параметров фильтрации и граничных условий. Полученные результаты использованы для определения водопритока в зоне высачивания к дренажным сооружениям, сопровождающим строительство. Применяемый подход основан на численном гидрогеологическом моделировании, системно учитывающем параметры геофильтрации в их взаимосвязи. Он позволяет учесть факторы геоэкологического риска для разработки эффективных решений в борьбе с подтоплением.

Анализ изученности

Гидрогеологические условия рассматриваемой территории изучались Волго-Донским территориальным геологическим управлением (Петров П.М.,

Родзянко Г. Н., Водяницкая Е. И., 1940-1946 гг., Липацкова Е. Н., 1965 г.), Трестом РостовДонТИСИЗ в 1973 [Гидрогеология СССР, 1968, 1970]. Многолетние материалы инженерно-геологических изысканий обобщены Меркуловой К. А. (2006 г.) [Меркулова, 2006]. Силами РостовДонТИСИЗа в 1980-х годах создана сеть гидрогеологических наблюдательных скважин и выполнены режимные наблюдения, разработаны гидрогеологические карты четвертичных и неогеновых отложений. Эти материалы применены для гидрогеологической схематизации.

Физико-географические условия

Центральная часть г. Ростова-на-Дону ($8 \times 10^3 \text{ км}^2$), расположена на плиоценовой террасе реки Дон и ограничена глубокими речными врезами Темерника, Дона, балок: Безымянной и Кизитериновской. Абсолютные отметки поверхности земли составляют $+1,0 \div +80,0 \text{ м}$. Долина реки асимметричная – правый склон ее крутой (15°), высотой 50-80 м, левый – пологий, высотой 10-30 м. Для природного рельефа характерна развитая овражно-балочная сеть, большая часть которой была засыпана с развитием города. Климат умеренно-континентальный, среднемноголетнее количество осадков – 570 мм. Самый теплый месяц июль ($+23,6^\circ\text{C}$), наиболее холодный – январь ($-4,2^\circ\text{C}$). Центральная часть города плотно застроена и заасфальтирована, что значительно уменьшает инфильтрацию атмосферных осадков.

Гидрография

Постоянными водотоками являются реки Дон и Темерник, ручьи балок Безымянной и Кизитериновской. Уровень воды в реке Дон испытывает сезонные колебания (от $-0,5$ до $+1,0 \text{ м}$), и более масштабные – сгонно-нагонные (от $-2,0$ до $+4,0 \text{ м}$), возникающие из-за ветров ($12 \div 19 \text{ м/с}$) восточного и западного направлений. Основным источником питания р. Дон и других рек является таяние снега (70%), преобладающее над поступлением подземных вод и атмосферных осадков. Большая часть города расположена на высоком правом берегу и нечувствительна к колебаниям уровня воды в р. Дон.

Геологическое строение

Рассматриваемая территория располагается в пределах Ростовского выступа Восточно-Европейской платформы. Докембрийский фундамент залегает на глубине 550 метров под морскими горными породами меловой системы и кайнозойской группы. Самыми древними отложениями, определяющими инженерно-геологические условия города, являются морские глины ниже-сарматского яруса (N_{1s_1}) мощностью 10-15 м, служащие региональным водоупором (рис. 1). Глины перекрыты комплексом ($15 \div 20 \text{ м}$) водопроницаемых трещиноватых известняков сарматского яруса (N_{1s_2}), переслаивающихся известняков и песков мэотического (N_{1m}) и понтического ярусов (N_{1p}). Завершается толща красно-бурыми плотными отложениями ($5 \div 15 \text{ м}$) скифских глин (Q_{esk}). В неогене они покрывали обширные пространства, но в четвертичном периоде частично размыты овражно-балочной системой и реками. Наиболее молодые плейстоцен-голоценовые отложения повсеместно представлены эолово-делювиальными лессовидными суглинками, делювиальными суглинками и песчано-глинистым аллювием в долинах рек. Общая мощность четвертичных грунтов на водораздельных пространствах города достигает 25-30 м. В устье реки Темерник, на протяжении четвертичной истории, геологическое стро-

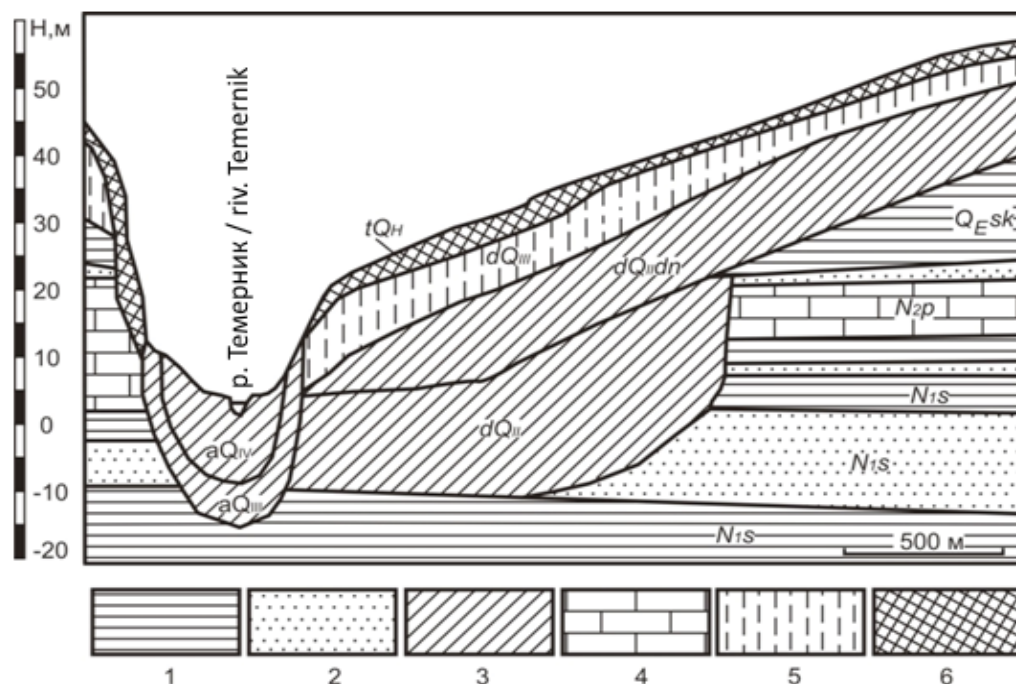


Рис. 2. Геологическое строение правобережья Дона в приустьевой части реки Темерник:
 1 – глины, 2 – пески, 3 – суглинки, 4 – известняки, 5 – лессовые грунты, 6 – техногенные грунты /
 Fig. 2. The geological structure of the right bank of the Don in the mouth part of the Temernik river:
 1 – clay, 2 – sand, 3 – loam, 4 – limestone, 5 – loess soil, 6 – man-made soil

ение правобережья Дона претерпело изменения: горизонтально залегающие морские горные породы были разрушены Темерником, перекрыты аллювием и делювиальными суглинками, слагающими надпойменную террасу (рис. 2).

В этой области мощность четвертичных отложений достигает 40 м. В рельефе склона отсутствуют характерные перегибы, связанные с наличием горизонтально залегающих прочных известняков и плотных глин.

Гидрогеологические условия

Подземные воды встречаются в четвертичных лессовидных суглинках, аллювиальных отложениях, неогеновых известняках и песках. Водоносный горизонт грунтовых вод в лёссовидных грунтах подстилается скифскими глинами (Q_{esk}). Его баланс определяется атмосферными осадками и техногенной инфильтрацией. Четвертичные тяжелые суглинки и погребенные почвы играют роль локальных водоупоров для верховодки. Разгрузка грунтовых вод происходит в неогеновые известняки и пески в гидрогеологических окнах. Абсолютные отметки УГВ меняются от 80 м на водоразделах до 1 м в долинах рек. Интенсивность дренирования грунтовых вод ограничена низкой водопроницаемостью, фильтрационной анизотропией и малыми гидравлическими уклонами.

Неогеновый водоносный комплекс объединяет гидравлически связанные ханжовские (N_{2hp}), понтийские (N_{2p}), мэотические (N_{2m}), сарматские (N_{1s}) песчаники, известняки и пески. Кровля водоупорных сарматских глин располагается на абсолютных отметках 16÷25 м. Свободная поверхность воды достигает отметок 33 м над уровнем моря. Водонасыщенными оказываются трещиноватые и ноздреватые сарматские известняки, остальные неогеновые отложения безводны.

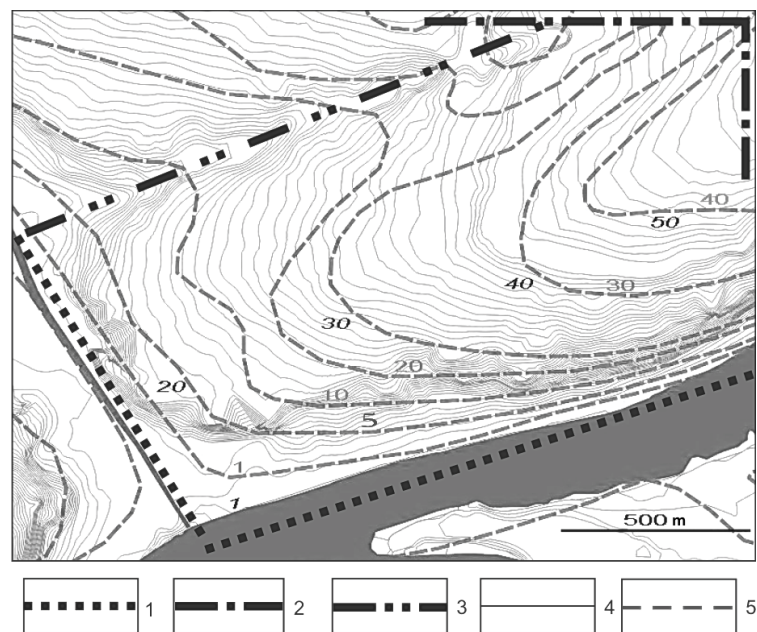


Рис. 3. Гидрогеологические условия четвертичной толщи правобережья р. Дон в приустьевой зоне р. Темерник: 1, 2 – граничные условия I и II рода соответственно; 3 – дрена; 4 – горизонталы; 5 – гидроизогипсы (май 2000 г.) /

Fig. 3. Hydrogeological conditions of the Quaternary stratum of the right bank of Don river in the estuary area of the Temernik river: 1, 2 – boundary conditions of the I and II type, respectively; 3 – drain; 4 – horizontals; 5 – hydroisohypses (May 2000)

На пологом восточном склоне долины реки Темерник грунтовые воды залегают в виде единого комплекса, насыщая делювий и террасовые глинистые отложения реки, что отражается в структуре гидроизогипс (рис. 3).

По результатам откачек, выполненных РостовДонТИСИЗ в разные годы, значения коэффициента фильтрации верхнечетвертичных суглинков составляют $0,5 \div 0,6$ м/сут., среднечетвертичных суглинков – $0,2 \div 0,3$ м/сут., нижнечетвертичных – $0,01 \div 0,05$ м/сут., четвертичного аллювия – $0,8 \div 0,9$ м/сут. Коэффициент вариации параметров ($V=0,4 \div 0,7$) рассчитан для 55 определений и указывает на высокую фильтрационную неоднородность толщи. Водопроницаемость песчаников и известняков миоцена меняется от $2 \div 7$ до 100 м/сут. из-за их неравномерной трещиноватости и кавернозности [Меркулова, 2006].

В ходе анализа установлено, что гидрогеологические условия сформировались под действием ряда изменчивых факторов, относительную роль которых предстоит выяснить. Для идентификации фильтрационных параметров водоносной толщи в пределах рассматриваемого участка города и выяснения относительной роли граничных условий в балансе подземных вод азработана численная гидрогеологическая модель. Она описывает фильтрацию воды в пористой среде и реализуется дифференциальным уравнением в частных производных второго порядка [Гавич, 1988]. Его решение выполнялось методом конечных разностей по алгоритму, реализованному в программах *Processing Modflow*, *Visual modflow* [Chiang, Kinzelbach, 2000].

Параметры гидрогеологической модели

Структура геофильтрации осложняется неоднородностями толщи и влиянием граничных условий. При построении модели избран путь ее поэтапного усложне-

ния. Вначале водопроницаемая толща представляется моделью однородного водоносного горизонта, далее – усложняется деталями фильтрационной неоднородности и граничных условий.

Область исследования площадью $0,5 \times 0,8 \text{ км}^2$ расположена к востоку от устья реки Темерник на правом берегу реки Дон. Ее структура существенно отличается от остальной части правобережья Дона в городе. Благодаря эрозионно-аккумулятивной деятельности Темерника отложения неогена разрушены и замещены глинистыми грунтами. В области фильтрации выделен безнапорный водоносный горизонт аллювиально-делювиальных четвертичных отложений мощностью $10 \div 55 \text{ м}$. Водоупором служат нижне-сарматские глины (N_{1s1}). Значения коэффициентов фильтрации ($K_f = 0,6 \div 0,9 \text{ м/сут.}$) оценены по опытным откачкам, выполненным в ходе изысканий для строительства. Большие перепады гидростатических напоров по площади, а также их изменения при расчетах приводят к переменному осушению-увлажнению блоков модели, что учитывается вертикальной дискретизацией толщи с шагом 1-3 м и моделированием эффекта подъема уровня воды в ненасыщенные (сухие) блоки [Меркулова, 2006; HongzeGao, 2011]. Коэффициент водоотдачи принят равным 0,2. Западная и южная границы модели заданы граничным условием I-рода по руслам рек Дон и Темерник (рис. 3). Абсолютные отметки поверхности воды и параметры русел рек заданы на основании топографической карты. Фильтрационные сопротивления ложа рек ($K_{\phi} = 0,05 \div 0,2 \text{ м/сут.}$) приняты на основании откачек, выполненных в непосредственной близости от русла, и подлежат уточнению в ходе моделирования. Северная граница модели задана водонепроницаемой по водоразделу между балками (рис. 3). Балка Генеральная (север участка) дренирует поток грунтовых вод. Вдоль нее задано граничное условие III-рода. Абсолютные отметки уровней дренирования определены на три метра ниже гипсометрических отметок тальвега балки, где расположен дренажный коллектор. Коэффициент фильтрации дрены оценивается в интервале $K_{\phi} = 0,3 \div 0,9 \text{ м/сут.}$ и подлежит уточнению в ходе моделирования. Через северо-восточную границу участка направлен поток, подземных вод, который разгружается в речную систему. На модели он реализован «наливом» в граничных узлах модели. Интенсивность потока зависит от техногенного питания и определяется решением обратных задач на основе планирования эксперимента и оценивается предварительно в интервале $Q = 900 \div 1300 \text{ м}^3/\text{сут.}$ Инфильтрация воды в грунт зависит от интенсивности атмосферных осадков (570 мм/год для г. Ростова-на-Дону), водопроницаемости техногенного поверхностного слоя грунтовой толщи и потерь из водонесущих коммуникаций. Сложность в оценке величины инфильтрации в городской среде определяется слабой водопроницаемостью поверхностного техногенного слоя и техногенными потерями воды. Предварительно объем инфильтрации оценивается в интервале $200 \div 600 \text{ мм/год}$.

Дальнейшие исследования включали калибровку модели, оценку объема потока воды через северо-восточную границу модели, объема техногенных потерь воды, прогнозных расчетов УГВ и притоков воды к дренажным системам. Оценка погрешности получаемых результатов определена по среднеквадратическим отклонениям фактических значений УГВ относительно соответствующих точек карты гидроизогипс, генерализующей их значения. Согласно выполненным расчетам величина принимаемой погрешности составляет 1,8 м.

Калибровка модели. Первый этап

Идентификация параметров модели выполнена подбором значений, при которых обеспечивается наилучшее сходство модельной и фактической поверхностей УГВ. С этой целью выбрано многовариантное решение ряда имитационных задач. Сходство расчетных и фактических значений УГВ оценивалось по карте гидроизогипс 1975 года. Их сравнение выполнялось по средним отклонениям в 21 точке наблюдения (рис. 4). Калибровка модели выполнялась в стационарном режиме фильтрации. Влияние факторов анализировалось методом планирования эксперимента [Адлер и др., 1976]. В таблице 1 приведена матрица экспериментов для 4-х факторов, представляющая собой полуреплику полного факторного ортогонального, ротatable-плана 2^{4-1} . На модели проанализированы ключевые факторы сложившихся гидрогеологических условий: водопроницаемость грунтов, дренирующая роль рек и крупного эрозионного вреза (балка Генеральная), объема инфильтрации воды. При этом считалось, что потери техногенных вод оставались до 1975 года стабильными. Области определения (диапазоны значений) факторов (x_i) указаны выше и приведены в таблице 1.

Таблица 1 / Table 1.

Матрица планирования эксперимента / Experiment planning matrix

N	x_0	x_1		x_2		x_3		x_4		x_1x_2	x_2x_3	x_1x_3	y, м
		код	м/сут	код	м/сут	код	м/сут	код	м ³ /сут	код	код	код	
1	1	-1	0,5	-1	0,3	1	0,2	1	600	1	-1	-1	35,7
2	1	1	0,9	-1	0,3	-1	0,05	1	600	-1	1	-1	53
3	1	-1	0,5	1	0,9	-1	0,05	1	600	-1	-1	1	2,7
4	1	1	0,9	1	0,9	1	0,2	1	600	1	1	1	1,3
5	1	-1	0,5	-1	0,3	-1	0,05	-1	200	1	1	1	21,1
6	1	1	0,9	-1	0,3	1	0,2	-1	200	-1	-1	1	11,6
7	1	-1	0,5	1	0,9	1	0,2	-1	200	-1	1	-1	1,3
8	1	1	0,9	1	0,9	-1	0,05	-1	200	1	-1	-1	4,6
b_j	16,4	1,05		13,9		3,94		6,76		0,74	2,76	7,24	

Значения параметров в таблице: y – среднее отклонение фактических и расчетных значений гидростатических напоров в точках наблюдения, м; x_1 – коэффициент фильтрации грунтов водоносного горизонта, м/сут.; x_2 – коэффициент фильтрации дрены (балка), м/сут.; x_3 – коэффициент фильтрации русла реки, м/сут.; x_4 – величина инфильтрации воды в грунт, мм/год; b_j – коэффициенты уравнения регрессии; ± 1 – кодовые значения факторов планирования эксперимента.

В ходе численных экспериментов рассчитаны параметры регрессионного уравнения (1), выражающего зависимость средней невязки фактических и расчетных гидростатических напоров от вариации параметров гидрогеологической модели:

$$y = 16,4 + 1,05x_1 - 13,9x_2 - 3,94x_3 + 6,76x_4 - 0,741x_1x_2 + 2,76x_2x_3 - 7,24x_1x_3, \quad (1)$$

где параметры y, x_i соответствуют обозначениям таблицы 1.

Величина коэффициентов уравнения интерпретируется, как сила влияния факторов, в пределах их области определения, на сходство модельных и фактических УГВ. Анализ уравнения показывает, что наибольшее влияние на формирование потока оказывает дренирующая роль эрозионных врезов балки ($b_2=-13,9$) и рек ($b_3=-3,94$), а также инфильтрационное питание ($b_4=6,76$). Следует отметить, что дрена (балка Генеральная) существенно деформирует поток. В 1898 году вдоль балки проложен первый центральный коллектор ливневой канализации, который до сих пор отводит поверхностные и грунтовые воды в реку Темерник. Существенным оказывается совместное влияние водопроницаемостей русел рек и водоносного горизонта ($b_{13}=7,24$).

Воспользуемся полученной в ходе серии экспериментов, зависимостью и выберем оптимальные по заданному критерию параметры геофильтрации: $x_1=0,6$ м/сут., $x_2=1,0$ м/сут.; $x_3=0,05$ м/сут.; $x_4=400$ мм/год. Анализ полученного решения показывает, что повышение достоверности модели может быть достигнуто режимными наблюдениями в непосредственной близости от дрен.

Второй этап. Уточнение расхода потока подземных вод с северо-восточной границы. Приток воды через границу рассматриваемой модели влияет на водный баланс, поэтому необходимо оценить его объем. Интенсивность притока определена методом решения серии обратных задач. Критерием достижения лучшего результата считалось максимальное сходство фактических и модельных напоров. Результаты моделирования при стационарном режиме фильтрации показаны на рисунке 4. Расчетная величина потока через северо-восточную границу ($Q=1000$ м³/сут.) распределена на модели в 40 узлах (рис. 3).

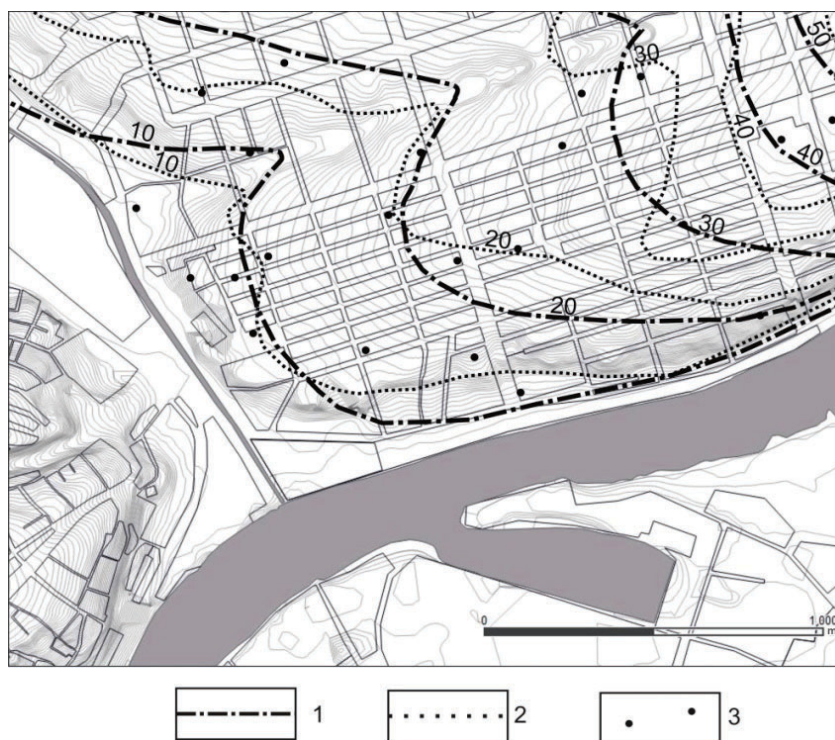


Рис. 4. Карта гидроизогипс по данным на 01.05.1975 г.: 1 – гидроизогипсы на расчетной модели, 2 – фактические данные, 3 – наблюдательные скважины /

Fig. 4. Map of hydroisohypses according to data of 01/05/1975: 1 – hydroisohypses on the computational model, 2 – actual data, 3 – observation wells

Полученное распределение гидростатических напоров послужило основой для более детальной идентификации параметров модели, а также определения начальных условий в исследованиях нестационарного режима фильтрации.

Анализ динамики процесса по фактическим данным за 1975-2000 годы указывает на колебания УГВ с тенденцией роста на большей части рассматриваемой территории (рис. 5). Так, за период 1988-2000 гг. гидроизогипса с отметкой +20,0 м переместилась на 300-400 м к руслам рек. Гидроизогипса с отметками +40,0 м распространилась к реке Темерник вдоль водораздела. Гидроизогипса +30,0 м оставалась стабильной. Необходимо заметить, что уровень воды с отметкой +10,0 м удалился от природных дрена и указывает на локальное понижение УГВ. Сегодня отсутствуют свидетельства о предпринятых усилиях по водопонижению в этой части рассматриваемого района, поэтому необходимы уточняющие натурные исследования для выяснения причин этого феномена.

Третий этап. Оценка влияния скифских глин на формирование УГВ. Обращает внимание стабильное и высокое положение уровня подземных вод (+30 ÷ +45 м) в северо-восточной части рассматриваемой территории с 1975 по 2000 годы (рис. 5). Анализ геологического строения указывает на присутствие здесь эродированных отложений скифских глин (Q_{Esk}). Они имеют максимальную мощность 12 м и размыты в крупных балках и речных долинах. В местах выклинивания глин гидравлические уклоны потока увеличиваются, а далее – в центральной части территории – вновь снижаются. Глины являются локальным водоупором с кровлей на глубине 12-15 метров (рис. 2 и 5). Грунтовые воды над ними быстро пополняются и долго удерживают уровень. На периферии глин уровень понижается из-за разгрузки в более глубокий плиоценовый водоносный горизонт.

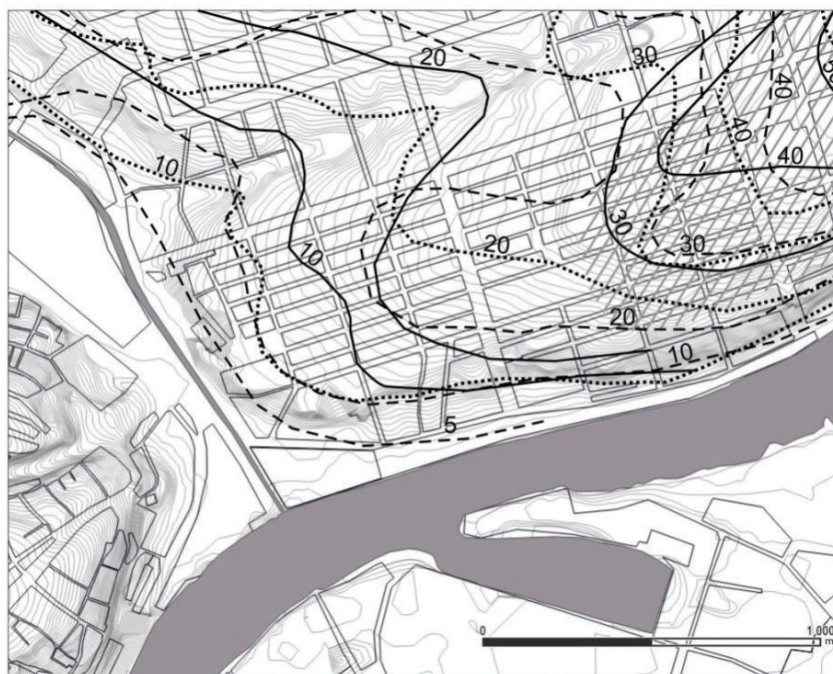


Рис. 5. Динамика уровней грунтовых вод за период 1975-2000 гг.; гидроизогипсы: 01.01.1975 г. – пунктирная линия; 30.12.1988 г. – штриховая линия; 01.05.2000 г. – сплошная линия, диагональная штриховка – скифские глины (Q_{Esk}) /

Fig. 5. Dynamics of groundwater levels for the period 1975-2000; hydroisohypses: 01.01.1975 – dotted line; 30.12.1988 – dashed line; 01.05.2000 – solid line, diagonal hatching – Scythian clay (Q_{Esk})

Методом планирования многофакторного эксперимента на разработанной модели исследована зависимость положения УГВ от водопроницаемости скифских глин (в интервале 0,002-0,6 м/сут.) и интенсивности инфильтрационного питания (в интервале 300-600 мм/год). Важно было оценить относительное влияние этих двух факторов на образование купола подземных вод. В качестве критерия адекватности модели принято сходство фактических и расчетных УГВ. Результаты моделирования отображаются уравнением (2):

$$y = -0,2 - 0,15x_1 + 2,25x_2 + 0,002x_1x_2, \quad (2)$$

где y – среднее значение разницы фактических и расчетных значений гидростатических напоров в точках наблюдения; x_1 – коэффициент фильтрации скифских глин, м/сут.; x_2 – величина инфильтрации воды, мм/год.

Коэффициенты регрессии уравнения показывают, что эффект образования купола подземных вод в большей степени зависит от инфильтрации воды, чем от водопроницаемости глин. Объясняется это близким расположением водонепроницаемой толщи к поверхности земли. Однако при увеличении на модели объема инфильтрации происходит общий подъем УГВ и существенное рассогласование расчетных значений гидростатических напоров с фактическими наблюдениями. Согласно расчетам, стабильное возвышение УГВ над скифскими глинами формируется, если их коэффициенты фильтрации составляют 0,005-0,003 м/сут. при сохранении фоновой величины инфильтрации 400 мм/год. На основании моделирования можно сделать вывод о влиянии скифских глин на локальное повышение УГВ в зоне аэрации.

Таким образом, численные эксперименты позволили шаг за шагом уточнить параметры граничных условий и особенности влияния геологического строения на формирование потока подземных вод. Теперь модель отражает динамику УГВ за период с 1975 по 2000 годы.

Оценка интенсивности высачивания в дренажных сооружениях

На следующем этапе оценивался приток воды к дренажным сооружениям на уровне набережной реки Дон. По опыту застройки большинство возводимых объектов располагаются здесь на абсолютных отметках +6,0 ÷ +10,0 м. Из-за устройства в зданиях подземных помещений перехват воды осуществляется на отметках +2,0 ÷ +3,0 м.

Притоки воды к дренам на набережной зависят от двух причин: локальных гидрогеологических условий и эволюции УГВ на водораздельном склоне. Важной составляющей баланса подземных вод являются техногенные потери воды. По данным РостовДонТИСИЗа, в 1988 году отбор воды наиболее крупными потребителями рассматриваемого района составил 2775000 м³/год. При площади застроенной территории 700х2000 м²=1400000 м² и проникновении всей воды в грунт указанный объем соответствует инфильтрации 1000*2775000/1400000 = 1980 мм/год. Износ труб водопроводных сетей коммуникаций приводит к утечкам 10-15% воды. Следовательно, максимальное дополнительное питание от техногенных вод может достигать 200-300 мм/год. Можно полагать, что наиболее вероятной причиной колебаний УГВ, отображенных на картах 1975-2000 гг., является потеря воды из водонесущих коммуникаций.

Для оценки объемов подземных вод, разгружающихся на набережной, рассмотрено два режима геофильтрации: при минимальных и наиболее высоких значениях УГВ на водораздельном склоне, сложившихся в 1975 и 2000 годах соответственно. Исследование на модели вариантов питания водоносного горизонта показало, что эволюции УГВ за период 1975-2000 гг. лучше всего соответствует нарастание инфильтрации от 400 до 600 мм/год. Изменения расчетных и фактических значений гидроизогипс показаны на рисунке 6. Расчетный водный баланс к 2000 году сформировался следующим образом: притоки в реки 4140 м³/сут., в балку и дрена – 3000 м³/сут., инфильтрация – 6150 м³/сут., приток через северо-восточную границу – 1025 м³/сут.

Определение объемов разгрузки подземных вод выполнено для схемы заложения дрена с длиной 60 м, с абсолютной отметкой дна +2,0 м, фильтрационным сопротивлением, равным водопроницаемости водоносного горизонта. Для гидрогеологических условий, сложившихся к 1975 году, расчетный приток воды, составил 130 м³/сут.



Рис. 6. Сравнение уровней грунтовых вод: а – 01.01.1975 г., б – 01.05.2000 г.; гидроизогипсы: расчетные – штрих-пунктирные линии, фактические – пунктирные линии /

Fig. 6. Comparison of groundwater levels: а – 01.01.1975, б – 01.05.2000; hydroisohypses: calculated – dash-dotted lines, actual – dotted lines

С увеличением инфильтрационного питания на 100 мм/год каждые 12-13 лет поступление воды возросло на 18-20% и достигло через 25 лет 190 м³/сут. или 3,2 м³/сут. на погонный метр. При этом величина инфильтрационного питания, с учетом техногенных потерь, составила 600 мм/год.

Таким образом, имитация на модели крайних вариантов инфильтрационного питания позволила оценить наибольший и наименьший объемы воды, поступающей в дренажные сооружения на рассматриваемом участке.

Обсуждение

Четвертичная история водосборного бассейна реки Дон в рассматриваемом районе существенно изменила морфологию фильтрационного потока подземных вод. Вместо структурно упорядоченных в ходе морского осадконакопления осадков сформировалась толща неоднократно эродированных и замещенных аллювиальных, эолово-делювиальных и морских грунтов. Это обстоятельство значительно повысило фильтрационную неоднородность массива, которая обнаружилась в ходе опытно-фильтрационных работ.

Большое количество факторов, определяющих динамику подземных вод, осложняет идентификацию параметров геофильтрации, поэтому она выполнена поэтапно с использованием многовариантного моделирования. Расчеты оптимизированы методом планирования эксперимента. Модель верифицирована по критерию минимального расхождения фактических и модельных значений УГВ. С помощью имитационного моделирования обоснованы морфологические особенности потока подземных вод и уточнены фильтрационные параметры, обусловленные залеганием локального водоупора и рядом граничных условий. Исследованиями на модели установлена интенсивность нарастания техногенного инфильтрационного питания, что послужило основой для расчетов его влияния на величину разгрузки подземных вод в дренажные сооружения на набережной реки.

Для калибровки модели и идентификации локальных фильтрационных неоднородностей водоносного горизонта необходимо формирование структуры наблюдательных скважин, достаточно чувствительной к локальным изменениям потока подземных вод. В таком случае моделирование является инструментом, эффективного планирования опытно-фильтрационных работ и формирования схемы размещения наблюдательных скважин.

Необходимо отметить, что геологическое строение и фильтрационная структура правобережья Дона существенно меняются. Поэтому использование модели для других районов города должно сопровождаться уточнением ее параметров.

Строительство в зоне высачивания создает подпор подземных вод и порождает риск ухудшения геотехнических условий эксплуатации зданий и сооружений: подтопление заглубленных конструкций, смещение по склону водонасыщенного песчано-глинистого грунта. Для повышения достоверности гидрогеологических прогнозов необходимы мероприятия по организации эффективного систематического мониторинга УГВ и разработке численных моделей геофильтрации.

Заключение

Разработанная модель повышает достоверность информации о параметрах геофильтрации, так как описывает гидродинамику на большой территории, учитывая взаимовлияние ряда граничных условий: рек, балки, техногенных потерь воды и локальных водоупоров. Моделирование позволило уточнить фильтрационную структуру толщи и значительно сузить разброс параметров, определяемых в ходе изысканий. Объемы водопотоков к дрене рассчитаны для широкого диапазона изменений режима УГВ и могут корректироваться в зависимости от складывающегося баланса подземных вод.

Разгрузка воды на набережной реки несет риск переувлажнения или подтопления заглубленных помещений зданий. В каждом проекте необходимо оценивать геологический риск для инженерных сооружений в зависимости от типа фундамента, геологического строения, и прогноза УГВ. Разработанная модель применима для планирования застройки территории с эффективными системами инженерной защиты.

Литература

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Гавич И.К. Гидрогеодинамика. – М. – 1988. – 347 с.

3. Гидрогеология СССР. Том IX. Северный Кавказ / Сидоренко А. В. (гл. ред.) и др. – М.: Недра, 1968. – 488 с.
4. Гидрогеология СССР. Т. XXVIII. Нижний Дон и Северо-Восточное Предкавказье. – М.: Недра, 1970. – 224 с.
5. Громов В. Е., Пашковский И. С. Геофильтрационная модель Имеретинской низменности для проектирования инженерной защиты территории и олимпийских объектов // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2009. – №3. – С. 214-227.
6. Меркулова К. А. Инженерно-геологические условия г. Ростова-на-Дону. – Ростов-н/Д: Изд-во РГПУ, 2006. – 132 с.
7. Прогнозы подтопления и расчет дренажных систем на застраиваемых и застроенных территориях: справочное пособие к СНиП 2.06.15-85. – М.: Стройиздат, 1991. – 182 с.
8. Chiang, W.-H. and Kinzelbach W. 3D-Groundwater Modeling with PMWIN A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution. – Berlin: Springer, 2000. – 342 p.
9. Colombo, L., Gattinon P. and Scesi L. Influence of underground structures and infrastructures on the groundwater level in the urban area of Milan, Italy // Int. J. of Sustainable Development and Planning. – 2017. – Vol. 12. No. 1. – Pp. 176-184.
10. Dawoud, M. A., van Wonderen J., Nahed E. El Arabi and A. R. Khater. Impact of rehabilitation of Assiut barrage, Nile River, on groundwater rise in urban areas // Journal of African Earth Sciences, August 2006, 45 (4-5). – Pp. 395-407.
11. Hongze Gao. Groundwater Modeling for Flow Systems with Complex Geological and Hydrogeological Conditions // Procedia Earth and Planetary Science 3 (2011). – Pp. 23-28.

GEOINFORMATICS

DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26795

Numerical simulation of the filtration process in the right-bank of the river Don for protection the buildings against rise of groundwater in the city of Rostov-on-Don

A. V. Gridnevskiy, Cand. Sci. (Geol.-Min.)

Don State Technical University, 1 Gagarin Sqr., Rostov-on-Don 344000, Russia
e-mail: a328@ya. ru

Abstract. Construction on the right bank of the river of Don in Rostov-on-Don is associated with a risk of flooding and seepage. To provide hydrogeological forecasts, a numerical hydrogeological model of the river valley slope has been developed. It characterizes the geological structure, the boundary conditions of the underground

flow, and the parameters of the permeability of the soils. The identification of hydrogeological parameters and the intensity of the influence of boundary conditions are performed by the method of multivariate numerical simulation. Inflows of water to drainage structures are estimated, their dependence on man-caused infiltration. According to calculations, shallow-lying Scythian clays provide a local rise of the groundwater level. The article analyzes the hydrodynamic processes in the mouth of the Temernik river on the right bank of the Don with the aim of detailing the hydrogeological structure of the soil mass and estimating filtration parameters and boundary conditions. The obtained results were used to determine the water inflow in the seepage area to the drainage facilities accompanying the construction. The mentioned approach is based on numerical hydrogeological modeling, systematically taking into account the parameters of geological filtration in their relationship. It allows taking into account the factors of geoeological risk for the development of effective solutions to protect against flooding. The oldest sediments that determine the engineering and geological conditions of the city are the sea clays of the Lower Sarmatian layer (N_1s_1) with a thickness of 10-15 m, serving as a regional aquifer. Clays are covered with a complex (15-20 m) of permeable fractured limestones of the Sarmatian layer (N_1s_2), interbedded limestones and sands of the Meotian (N_1m) and Pontian layers (N_1p). The stratum ends with red-brown dense sediments (5-15 m) of Scythian clays (Q_{esk}). Construction in the outflow zone creates a groundwater ascent and generates the risk of deterioration of the geotechnical conditions for the operation of buildings and structures: flooding of buried structures, displacement along the slope of water-saturated sandy-clay soil.

Keywords: numerical modeling of geological filtration, experimental design, identification of hydrogeological parameters, seepage of groundwater, flooding.

For citation: A. V. Gridnevskiy Numerical simulation of the filtration process in the right-bank of the river don for protection the buildings against rise of groundwater in the city of Rostov-on-Don. *Geology and Geophysics of the South of Russia*. 2019;9 (1): 150-163. (In Russ.) DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26795.

References

1. Adler Yu. P., Markova E. V., Granovskii Yu. V. Planning an experiment when searching for optimal conditions. M. Nauka, 1976. 280 p. (in Russ.)
2. Gavich I. K. Hydrogeodynamics. M. 1988. 347 p. (in Russ.)
3. Hydrogeology of the USSR. Vol. IX. North Ciscaucasia. Sidorenko A. V. (Chief Editor) i dr. M. Nedra, 1968. 488 p. (in Russ.)
4. Hydrogeology of the USSR. Vol. XXVIII. Lower Don and North-Eastern Ciscaucasia. M. Nedra, 1970. 224 p. (in Russ.)
5. Gromov V. E., Pashkovskij I. S. Geofiltration model of the Imereti lowland for the design of engineering protection of the territory and the Olympic facilities. Geocology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology. 2009. No. 3. pp. 214-227. (in Russ.)
6. Merkulova K. A. Engineering geological conditions of the Rostov-on-Don city. Rostov-on-Don. Izd-vo RGPU, 2006. 132 p. (in Russ.)
7. Groundwater level growth forecasts and calculation of drainage systems in built-up and being built areas: a reference guide to SNiP 2.06.15-85. M. Stroiizdat, 1991. 182 p. (in Russ.)
8. Chiang, W.-H. and Kinzelbach W.. 3D-Groundwater Modeling with PMWIN A Simulation System for Modeling Groundwater Flow and Pollution. – Berlin: Springer, 2000. – 342 p.
9. Colombo, L., Gattinon P. and Scesi L. Influence of underground structures and infrastructures on the groundwater level in the urban area of Milan, Italy. Int. J. of Sustainable Development and Planning. 2017. Vol. 12. No. 1. pp. 176-184.
10. Dawoud, M. A., van Wonderen J., Nahed E. El Arabi and A. R. Khater. Impact of rehabilitation of Assiut barrage, Nile River, on groundwater rise in urban areas. Journal of African Earth Sciences, August 2006, 45 (4-5). pp. 395-407.
11. Hongze Gao. Groundwater Modeling for Flow Systems with Complex Geological and Hydrogeological Conditions. ProcediaEarthandPlanetaryScience 3 (2011).pp. 23-28.

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: 25.00.00 Науки о Земле (вся отрасль наук о Земле с 01.12.2015).

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 России» 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 e-mail для переписки 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_2O) и единицах измерений (МВт/см^2) – прямым (обычным) шрифтом. Не следует смешивать одинаковые по написанию буквы латинского, греческого и русского алфавитов, использовать собственные макросы. Буквы I и J, v и u, e 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 соблюдать 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 the South of Russia” 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: 25.00.00 Earth sciences (all branches of Earth sciences from 01.12.2015).

For works of a regional nature, preference is given to articles that reveal the various issues of the geological structure of the South of Russia 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 the South of Russia” are accepted by the following branches and groups of Sciences:

1. Earth and Planetary Sciences;
2. Environmental Science.

The journal “Geology and Geophysics of the South of Russia” 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 the South of Russia 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 the South of Russia».

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 the South of Russia».

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 υ , 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 the South of Russia». Phone +7 (8672) 76-19-28; fax: +7 (8672) 76-40-56, e-mail: southgeo@mail. ru

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА
ЮГА РОССИИ
(№ 1. 2019 г. Том 9)**

Подписано в печать 26.03.2019 г. Формат 60×84 1/8.

Дата фактического выхода 29.03.2019 г.

Усл. печ. лист 19,6. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ № 51.

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 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

e-mail: southgeo@mail.ru

<http://geosouth.ru>

Отпечатано ИП Цопановой А.Ю.

362000, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3