

ISSN 2221-3198
e-ISSN 2686-7486

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

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

**GEOLOGY AND
GEOPHYSICS
OF RUSSIAN SOUTH**

**Том 11
№ 1 / 2021**

Владикавказ 2021

**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**, Высокотемпературный геофизический институт, г. Нальчик
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. 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
член-корр. РАН **А. А. Соловьев**, Геофизический центр РАН, г. Москва
член-корр. РАН **П. Н. Шебалин**, Институт теории прогноза землетрясений и математической геофизики 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

д. т. н., проф. **В. И. Голик**, Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ

Ph. D., проф. **Ко-Лян Вэнь**, Национальный центральный университет, Тайвань

Ph. D., проф. **Г. П. Ганапати**, Центр по смягчению последствий стихийных бедствий и управлению, Технологический институт Веллур, Индия
д. т. н., проф. **И. Д. Музаев**, Геофизический институт Владикавказского научного центра РАН, г. Владикавказ

Ph. D., проф. **Т. Пападопулос**, Афинский национальный университет, Греция

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

Ph. D., проф. **А. Пинар**, Босфорский университет, Турция

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

д. т. н., проф. **М. В. Рыльникова**, Институт проблем комплексного освоения недр РАН, г. Москва

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

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

д. г. н. **В. А. Широкова**, Государственный университет по землеустройству, Институт истории естествознания и техники имени

С. И. Вавилова РАН, г. Москва

Ответственный секретарь

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

Выпускающий редактор

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

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

Журнал издается с 2011 года.

Периодичность издания – 4 номера в год

Учредитель:

ВНЦ РАН

Адрес учредителя:

362027, РСО-Алания, г. Владикавказ,

ул. Маркуса 22

Тел.: 8 (8672) 501841

e-mail: vncran@yandex.ru

http://www.vncran.ru

Издатель:

Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук

Адрес издателя и редакции:

362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а

Тел.: 8 (8672) 764084; факс: 8(8672) 764056

e-mail: southgeo@mail.ru

http://geosouth.ru

ISSN 2221-3198

e-ISSN 2686-7486

Подписной индекс в Объединенном каталоге «Пресса России» – 29119

При перепечатке материалов ссылка на журнал обязательна.

© Геофизический институт ВНЦ РАН, 2020

Фото на обложке – Весна над Геналдоном (К.С. Харебов)

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

Editor in Chief

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

Deputy Editor in Chief

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

Members of Editorial board

Vladimir A. Babeshko, Academician of RAS, Southern
Scientific Center of RAS, Rostov-on-Don

Alexey D. Gvishiani, Academician of RAS, Geophysical
Center of RAS, Moscow

Mikhail Ch. Zalikhhanov, Academician of RAS, High
Mountain Geophysical Institute, Nalchik

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

Sevada M. Hovhannisyán, 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

Anatoly A. Soloviev, Corresponding Member of RAS,
Geophysical Center of RAS, Moscow

Peter. N. Shebalin, Corresponding Member of
RAS, Institute of Earthquake Prediction Theory and
Mathematical Geophysics 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

Vladimir I. Golik, Dr. Sci. (Tech.), Prof., Geophysical
Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian
Academy of Sciences, Vladikavkaz, Russian Federation

Kuo-Liang Wen, Ph. D., National Central University, Taiwan

Ganapathy Pattukandan Ganapathy, Ph.D, Prof.
Centre for Disaster Mitigation and Management Vellore
Institute of Technology, India

Illarion D. Muzaev Dr. Sci. (Tech.), Prof., Geophysical
Institute of Vladikavkaz Scientific Center of the Russian
Academy of Sciences, Vladikavkaz

Taxiarchis Papadopoulos Ph. D., Prof, University
of Athens, Greece

Sergey G. Parada Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof., Southern
Scientific Center of RAS, Rostov-on-Don

Ali Pinar, Ph. D., Prof., Boğaziçi University, Kandilli
Observatory and Earthquake Research Institute,
Department of Earthquake Engineering, Turkey

Evgeniy A. Rogozhin Dr. Sci. (Geol.-Min.), Prof.,
Schmidt Institute of Physics of the Earth of RAS,
Moscow

Marina V. Rylnikova, Dr. Sci. (Tech.), Prof., Institute
of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian
Federation

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

Vasily I. Cherkashin Dr. Sci. (Geol.-Min.), Institute of
Geology of Dagestan 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

e-ISSN 2686-7486

Subscription index in the United catalog “Press of Russia” - 29119

In the case of reproduction, a reference to the journal is obligatory.

© Geophysical Institute VSC RAS, 2020

Cover photo – Spring on the Genaldon (K.S. Kharebov)

СОДЕРЖАНИЕ

===== ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ =====	
Босиков И. И., Ключев Р. В., Гаврина О. А.	
Анализ геолого-геофизических материалов и качественная оценка перспектив нефтегазоносности Южно-Харьбинского участка (Северный Кавказ).....	6
Давыденко Д. Б., Парада С. Г.	
Опыт разделения потенциальных полей Донбасса на фоновую, остаточную и локальную составляющие и некоторые результаты интерпретации.....	22
Попов Ю. В., Пустовит О. Е., Никулин А. Ю.	
Минеральный состав серпентинитов Кишинского массива (Большой Кавказ).....	38
===== ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА =====	
Казымова С. Е.	
Гянджинское землетрясение 1139 г.	52
Магомедов Р. А.	
Особенности связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой Восточного Кавказа.....	69
Чотчаев Х. О., Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б.	
Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями	81
===== ГЕОФИЗИКА =====	
Аптикаев Ф. Ф.	
О картах ОСР в ускорениях.....	95
Певнев А. К.	
Обоснование основных положений деформационной модели подготовки очага корового землетрясения	104
===== ГЕОЭКОЛОГИЯ =====	
Стогний В. В., Стогний Г. А., Любимова Т. В.	
Геоэкологические риски территории Краснодарского края: проблема интегральной оценки степени геологических опасностей	121
===== ПАМЯТЬ =====	
Гиоргобиани Тамаз Варламович.....	134

CONTENTS

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

- Bosikov I. I., Klyuev R. V., Gavrina O. A.**
 Analysis of geological-geophysical materials and qualitative assessment
 of the oil and gas perspectives of the Yuzhno-Kharbizhinsky area
 (Northern Caucasus) 6
- Davydenko D. B., Parada S. G.**
 Experience of Dividing Potential Fields of Donbass into Background, Residual and
 Local Components and some Results of Interpretation..... 22
- Popov Yu. V., Pustovit O. E., Nikulin A. Yu.**
 Mineral composition of serpentinites of the Kishinskij protrusion
 (Greater Caucasus) 38

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

- Kazimova S. E.**
 Ganja earthquake of 1139 52
- Magomedov R. A.**
 Features of relationship between spatial-time distribution of seismicity, the level
 of geodynamic potential of the earth's crust blocks and fault-block tectonics of the
 Eastern Caucasus 69
- Chotchaev Kh. O., Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B.**
 Zoning of high mountainous areas by geoecological loads caused by geodynamic
 and climatic influences 81

GEOPHYSICS

- Aptikaev F. F.**
 About GSZ maps in acceleration units 95
- Pevnev A. K.**
 Substantiation of the main concepts for the deformation model of the preparation
 of the crustal earthquake source 104

GEOLOGY

- Stogny V. V., Stogny G. A., Lyubimova T. V.**
 Geoecological risks of the Krasnodar region: the problem of integrated
 assessment of the geological hazards degree 121

MEMORY

- Giorgobiani Tamaz Varlamovich..... 134

УДК 622:577.4

DOI: [10.46698/VNC.2021.36.47.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.36.47.001)

Оригинальная статья

Анализ геолого-геофизических материалов и качественная оценка перспектив нефтегазоносности Южно-Харьбинского участка (Северный Кавказ)

И.И. Босиков¹, **Р.В. Ключев**², **О.А. Гаврина**¹

¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) (СКГМИ, ГТУ), Россия, 362021, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Николаева, 44;

²Московский политехнический университет, Россия, 107203, г. Москва, ул. Большая Семеновская, 38, e-mail: kluev-roman@rambler.ru

Статья поступила: 15.01.2021, после рецензирования: 10.02.2021, принята к публикации: 24.02.2021

Резюме: Актуальность работы. На современном этапе развитие нефтяной промышленности Российской Федерации невозможно без пополнения ресурсной базы и поэтому актуальной задачей является поиск новых методик оценки и анализа нефтегазоносности перспективных участков. **Цель исследований:** анализ емкостно-фильтрационных свойств пород коллекторов прикамского горизонта в пределах Южно-Харьбинского участка, с целью прогноза емкостно-фильтрационных параметров на участке Восточный. **Методика исследований.** Для выполнения анализа емкостно-фильтрационных и геолого-геофизических параметров пород коллекторов кумской свиты Южно-Харьбинского участка, были построены графики изменчивости емкостно-фильтрационных и геолого-геофизических параметров и проведен их корреляционный анализ. Для этого были использованы данные ГИС и данные лабораторных исследований коллекторов, полученные при бурении скважины №88-РД. Оценка коэффициента пористости, объемной плотности, минералогической плотности и плотности насыщенности пород определена на стадии оценки месторождений по методикам А.М. Нечая и Б.Ю. Вендельштейна, Н.В. Манчевой, базирующимся на комплексной интерпретации БК (БКЗ) – НГК и БК (БКЗ) – НГК – ПС. **Результаты исследований.** Значимой положительной корреляционной связью обладают следующие пары параметров: коэффициент пористости и удельное сопротивление пород, коэффициент пористости и относительное сопротивление пород, коэффициент пористости и объемная плотность, коэффициент пористости и плотность минералогическая, коэффициент пористости и плотность насыщенных пород, удельное сопротивление пород и относительное сопротивление пород, удельное сопротивление пород и объемная плотность, удельное сопротивление пород и плотность минералогическая, удельное сопротивление пород и плотность насыщенных пород, относительное сопротивление пород и объемная плотность, относительное сопротивление пород и плотность насыщенных пород, относительное сопротивление пород и плотность насыщенных пород. Наблюдается зависимость пористости от сопротивления, что указывает на наличие в породах коллектора углеводородов, т.е. с увеличением пористости увеличивается сопротивление, что также наблюдается на графиках. Изучив распределение показателей на Южно-Харьбинском участке по одному горизонту можно сделать вывод, что эти показатели различаются очень слабо, что свидетельствует об однородности свойств пласта. Качественные показатели остаются без изменения. На Восточном участке можно ожидать схожие показатели. Наличие промышленных скоплений углеводородного сырья оценивается как весьма вероятное.

Ключевые слова: нефтегазоносность, корреляционный анализ, коллектор углеводородов, пористость, объемная плотность, удельное и относительное сопротивление пород.

Для цитирования: Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А. Анализ геолого-геофизических материалов и качественная оценка перспектив нефтегазоносности Южно-Харьбинского участка (Северный Кавказ). *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(1): 6-21. DOI: 10.46698/VNC.2021.36.47.001.

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

DOI: [10.46698/VNC.2021.36.47.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.36.47.001)

Original paper

Analysis of geological-geophysical materials and qualitative assessment of the oil and gas perspectives of the Yuzhno-Kharbizhinsky area (Northern Caucasus)

I.I. Bosikov¹, R.V. Klyuev², O.A. Gavrina¹

¹North Caucasian institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) (NCIMM),
44 Nikolaeva Str., Vladikavkaz 362021, Russian Federation;

²Moscow Polytechnic University, 38 Bolshaya Semenovskaya Str., Moscow 107203, Russian
Federation, e-mail: kluev-roman@rambler.ru

Received: 15.01.2021, revised: 10.02.2021, accepted: 24.02.2021

Abstract: Relevance. At the present stage, the development of the oil industry of the Russian Federation is impossible without replenishing the resource base, and therefore an urgent task is to search for new methods for assessing and analyzing the oil and gas content of promising areas. **Aim.** Analysis of the reservoir-filtration properties of reservoir rocks of the Kama horizon within the Yuzhno-Kharbizhinsky area, in order to predict the reservoir-filtration parameters for the Vostochny area. **Methods.** To analyze the reservoir-filtration and geological-geophysical parameters of the reservoir rocks of the Kuma suite of the Yuzhno-Kharbizhinsky area, graphs of the variability of the reservoir-filtration and geological-geophysical parameters were constructed and their correlation analysis was carried out. For this, well logging data and data from laboratory studies of reservoirs obtained during drilling of well No. 88-RD were used. The estimation of the porosity coefficient, bulk density, mineralogical density and saturation density of rocks were determined at the stage of assessing deposits according to the methods of A.M. Nechaya and B.Yu. Wendelstein, N.V. Mancheva, based on a comprehensive interpretation of BK (BKZ) - NGK and BK (BKZ) - NGK - PS. **Results.** The following pairs of parameters have a significant positive correlation: porosity coefficient and resistivity of rocks, porosity coefficient and relative resistivity of rocks, porosity coefficient and bulk density, porosity coefficient and mineralogical density, porosity coefficient and density of saturated rocks, rock resistivity and relative rock resistance, rock resistivity and bulk density, rock resistivity and mineralogical density, rock resistivity and saturated rock density, rock relative resistivity and bulk density, rock relative resistivity and mineralogical density, rock relative resistivity and saturated rock density, bulk density and mineralogical density, bulk density and density of saturated rocks, mineralogical density and density of saturated rocks. A dependence of porosity on resistance is observed, which indicates the presence of hydrocarbons in the reservoir rocks, i.e. with an increase in porosity, resistance increases, which is also observed in the graphs. Having studied the distribution of indicators in the Yuzhno-Kharbizhinsky area along one horizon, it can be concluded

that these indicators differ very slightly, which indicates the homogeneity of the reservoir properties. Qualitative indicators remain unchanged. Similar performance can be expected in the Eastern section. The presence of industrial accumulations of hydrocarbon raw materials is assessed as highly probable.

Keywords: oil and gas content, correlation analysis, hydrocarbon reservoir, porosity, bulk density, specific and relative resistivity of rocks.

For citation: Bosikov I.I., Klyuev R.V., Gavrina O.A. Analysis of geological-geophysical materials and qualitative assessment of the oil and gas perspectives of the Yuzhno-Kharbizhinsky area (Northern Caucasus). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(1): 6-21. DOI:10.46698/VNC.2021.36.47.001.

Введение

На современном этапе развитие нефтяной промышленности Российской Федерации невозможно без пополнения ресурсной базы и поэтому актуальной задачей является поиск новых методик оценки и анализа нефтегазоносности перспективных участков.

Целью исследований является анализ емкостно-фильтрационных свойств пород коллекторов кумской свиты в пределах Южно-Харбижинского участка, с целью прогноза емкостно-фильтрационных параметров на участке Восточный.

Исходными данными послужили емкостно-фильтрационные и геолого-геофизические параметры в пределах вскрытых пород коллекторов нижнего майкопа, кумской свиты эоцена, нижнего меллапо скважине № 88-РД: коэффициент пористости, удельное сопротивление породы, относительное сопротивление породы, объемная плотность, плотность минералогическая, плотность насыщенности породы.

Методика исследования

Для выполнения анализа емкостно-фильтрационных и геолого-геофизических параметров пород коллекторов по кровле нижнего майкопа, кумской свиты эоцена, нижнего мелла Южно-Харбижинского участка, были построены графики изменчивости емкостно-фильтрационных и геолого-геофизических параметров и проведен их корреляционный анализ.

Для этого были использованы данные геоинформационных систем (ГИС) и данные лабораторных исследований коллекторов, полученные при бурении скважины № 88-РД.

Значения коэффициента пористости, объемной плотности, минералогической плотности и плотности насыщенности пород определены на стадии оценки месторождений по методикам А. М. Нечая и Б. Ю. Вендельштейна, Н. В. Манчевой, базирующимся на комплексной интерпретации боковой каротажа (БК) – боковое каротажное зондирование (БКЗ) – нейтронный каротаж (НГК) и БК (БКЗ) – НГК – каротаж методом естественного электрического поля (ПС).

Продуктивный горизонт хорошо освещен керновым материалом. Для всех образцов в лабораторных условиях определены: коэффициент пористости, объемная плотность, минералогическая плотность и плотность насыщенности пород. Результаты лабораторных исследований керна представлены в таблице 1.

Объект исследований

Продуктивный нефтегазоносный горизонт представлен на Южно-Харбижинском участке известняком темно-серым, неоднородным, глинистым, крепким, с не-

Таблица 1 / Table 1

**Результаты исследований по скважине №88-РД /
Research results for well No. 88-RD**

Эффективная толщина (h), м / Effective thickness (h), m /	Кп / Кр	Уд. сопр. пор. / Rock resistivity	Отн. сопр. пор. / Strength ratio of rocks	Плотность об. / Spatial density	Плотность, мин. / Mineralogical density	Плотность н. п. / Density of saturated rocks	Уд. сопр. пор.* (h) / Rock resistivity* (h)	Отн. сопр. пор.* (h) / Str. ratio of rocks * (h)	Кп* (h), м / Кр* (h)	Плотность об.* (h), м / Spat. density * (h), m	Плотность мин.* (h), м / Min. density * (h)	Плотность н. п.* (h), м / Density of sat. rocks* (h), m	Глубина (кровля) / Depth (roof)
5	1,3	21	961	1,47	1,44	1,18	105	4805	6,5	7,35	7,2	5,9	1978
6	1,2	27	1245	1,23	1,49	1,22	162	7470	7,2	7,38	8,94	7,32	1984
6	2,5	33	1023	1,35	1,5	1,27	198	6138	15	8,1	9	7,62	1990
8	1,2	25	1030	1,15	1,25	1,43	200	8240	9,6	9,2	10	11,44	1998
5	1,3	21	961	1,47	1,44	1,18	105	4805	6,5	7,35	7,2	5,9	1978
6	1,2	27	1245	1,23	1,49	1,22	162	7470	7,2	7,38	8,94	7,32	1984
6	2,5	33	1023	1,35	1,5	1,27	198	6138	15	8,1	9	7,62	1990
8	1,2	25	1030	1,15	1,25	1,43	200	8240	9,6	9,2	10	11,44	1998
11	5,3	37	1423	2,47	2,61	2,52	407	15653	58,3	27,17	28,71	27,72	2009
6	9,7	124	4769	2,47	5,58	2,51	744	28614	58,2	14,82	33,48	15,06	2015
5	8,8	90	3461	2,1	2,32	2,19	450	17305	44	10,5	11,6	10,95	2020
6	9,8	142	5461	2,13	2,25	2,18	852	32766	58,8	12,78	13,5	13,08	2026
7	5,5	133	5115	2,25	2,68	2,2	931	35805	38,5	15,75	18,76	15,4	2031
6	6,2	186	7154	2,35	2,7	2,34	1116	42924	37,2	14,1	16,2	14,04	2037
5	5	165	3500	2,36	2,68	2,45	825	17500	25	11,8	13,4	12,25	2042
6	4,3	115	4423	2,41	2,66	2,47	690	26538	25,8	14,46	15,96	14,82	2048
4	4,3	169	6500	2,33	2,73	2,36	676	26000	17,2	9,32	10,92	9,44	2052
12	4	123	4730	2,35	2,6	2,51	1476	56760	48	28,2	31,2	30,12	2064
9	4,8	238	9154	2,24	2,68	2,31	2142	82386	43,2	20,16	24,12	20,79	2073
8	5	115	4423	2,35	2,66	2,22	920	35384	40	18,8	21,28	17,76	2081
9	5,3	118	3000	2,24	2,68	2,49	1062	27000	47,7	20,16	24,12	22,41	2092
19	5,5	132	5077	2,26	2,73	2,43	2508	96463	104,5	42,94	51,87	46,17	2111
9	5,5	55	2115	2,36	2,73	2,19	495	19035	49,5	21,24	24,57	19,71	2120
15	6,2	96	3692	2,36	2,73	2,2	1440	55380	93	35,4	40,95	33	2135
3	1,3	35	1346	1,78	1,56	1,17	105	4038	3,9	5,34	4,68	3,51	2138
5	2,2	26	875	1,46	1,62	1,24	130	4375	11	7,3	8,1	6,2	2143
4	1,4	21	808	1,28	1,37	1,41	84	3232	5,6	5,12	5,48	5,64	2147
3	1,3	28	981	1,29	1,24	1,36	84	2943	3,9	3,87	3,72	4,08	2150

равномерными включениями аргиллита темно-серого и маломощными прослоями тонкоплитчатого аргиллита. В образцах керна наблюдаются вертикальные трещины, выполненные кальцитом. Также встречаются прослойки песчаника, разнозернистого, слюдяного, с редкими включениями глауконита и углистого материала.

Известняки в основном, микрозернистой структуры с неровным раковистым изломом [Бронскова, 2016; Костеневич, 2017; Мартынов, 2004; Трудноизвлекаемые запасы..., 2012]. Встречаются включения сферовых органогенных образований, количество которых различно на различных участках – от 10-15% до 25-70%. Сферовые образования округлой и овальной форм, многие неконцентрического строения. Размеры сфер колеблются в пределах 0,04-0,2 мм, отдельные 0,25-0,3 мм. Примесь терригенного материала незначительна (1-3%). Представлен терригенный материал в основном, обломочным кварцем, зерна которого овально-округлой формы размером 0,03-0,05 мм. Наблюдаются редкие вторичные пустоты выщелачивания, неравномерно расположенные в породе, между собой не связанные, овально-округлой формы, размером 0,02-0,3 мм, образовавшиеся за счет растворения кальцита.

Результаты опробования продуктивного горизонта по скважине № 88-РД указывают на то, что эксплуатационный объект однороден по своим емкостным свойствам и по разрезу и по площади [Клубков, 2015; Хузин, 2012].

Результаты исследований

Помимо исследования кернов, для оценки коллекторских свойств использовались результаты обработки промыслово-геофизических материалов, данные гидродинамических исследований скважины № 88-РД Южно-Харьбинского участка.

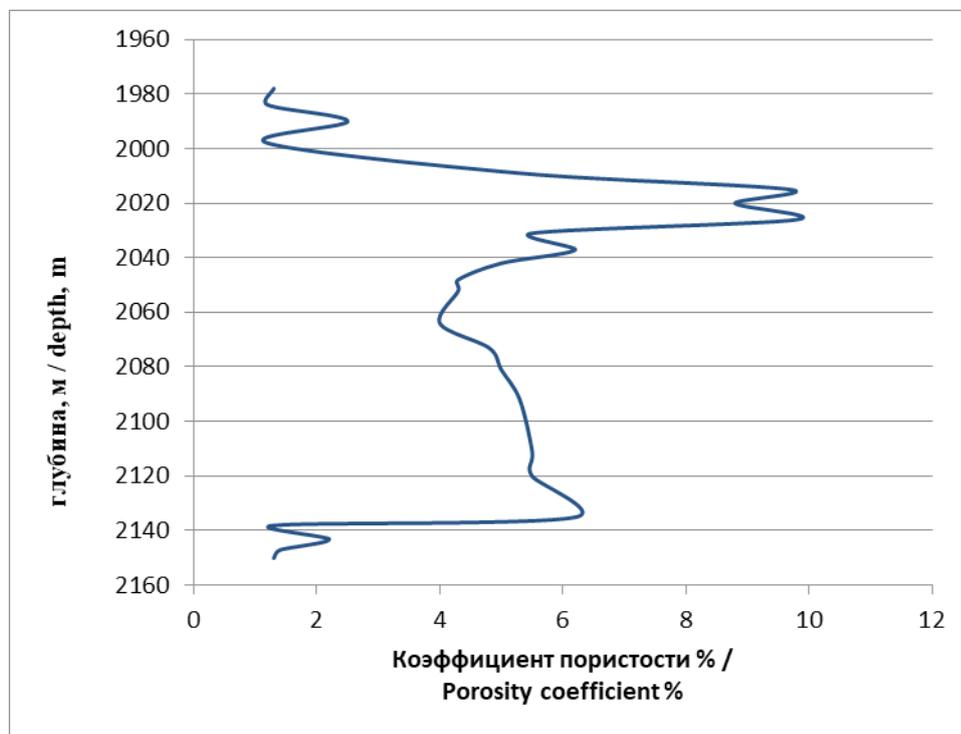


Рис. 1. График изменчивости коэффициента пористости по скважине № 88-РД /
Fig. 1. Graph of porosity coefficient variability for well No. 88-RD

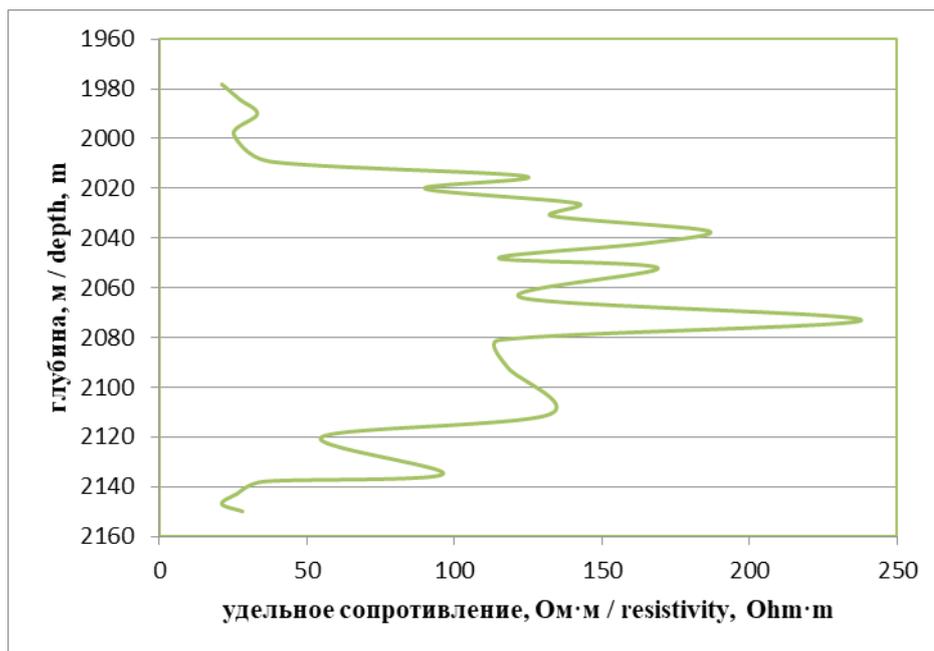


Рис. 2. График изменчивости удельного сопротивления пород по скважине №88-РД /
Fig. 2. Graph of variability of rock resistivity for well No. 88-RD

Для оценки емкостных свойств пород использовались результаты обработки индикаторных диаграмм [Коваленко, Сохошко, 2018; Медведев, 1997; Ghorbani et al., 2016].

Были построены графики изменчивости (рисунки 1-12) по результатам исследований коллекторских свойств.

На графике коэффициента пористости породы наблюдается увеличение значения в интервале продуктивного горизонта (от 2000 до 2140). Максимальное значение наблюдается в интервале 2015 и 2025.

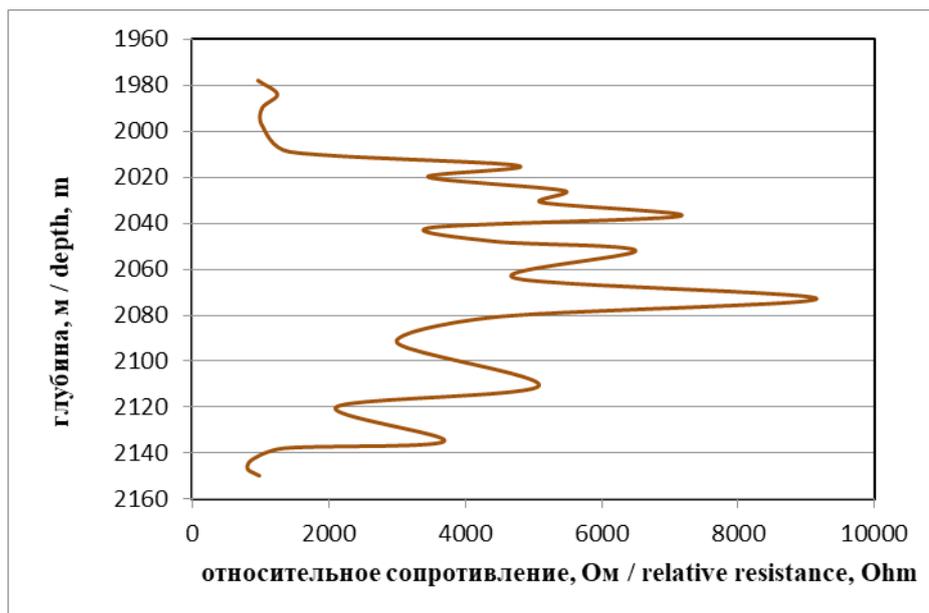


Рис. 3. График изменчивости относительного сопротивления пород по скважине №88-РД /
Fig. 3. Graph of variability of the relative resistivity of rocks for well No. 88-RD

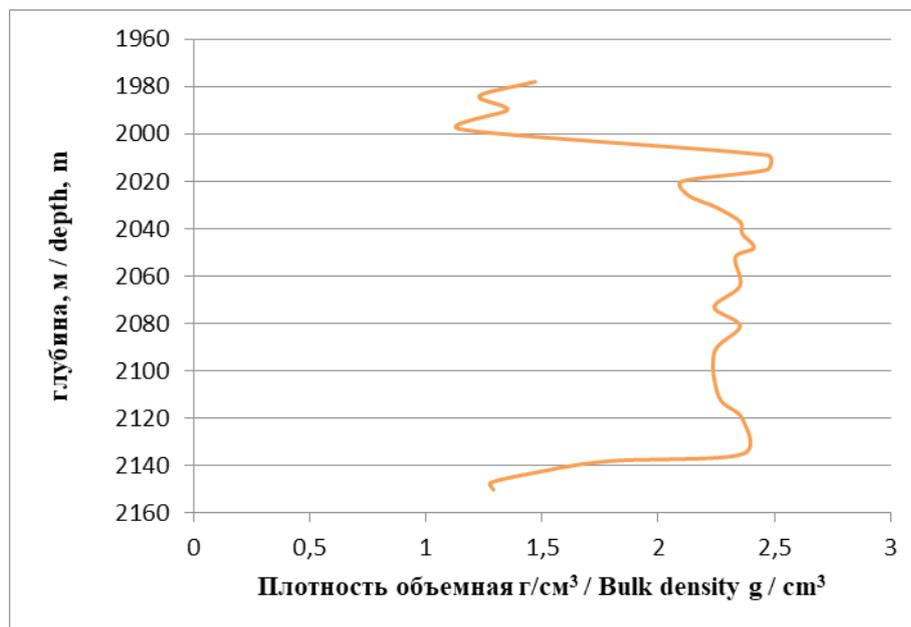


Рис. 4. График изменчивости объемной плотности по скважине №88-РД /
Fig. 4. Graph of bulk density variability for well No. 88-RD

На графике удельного сопротивления пород наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м. Максимальное значение замечено на глубине 2070 м.

На графике относительного сопротивления пород наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м. Максимальное значение замечено на глубине 2070 м.

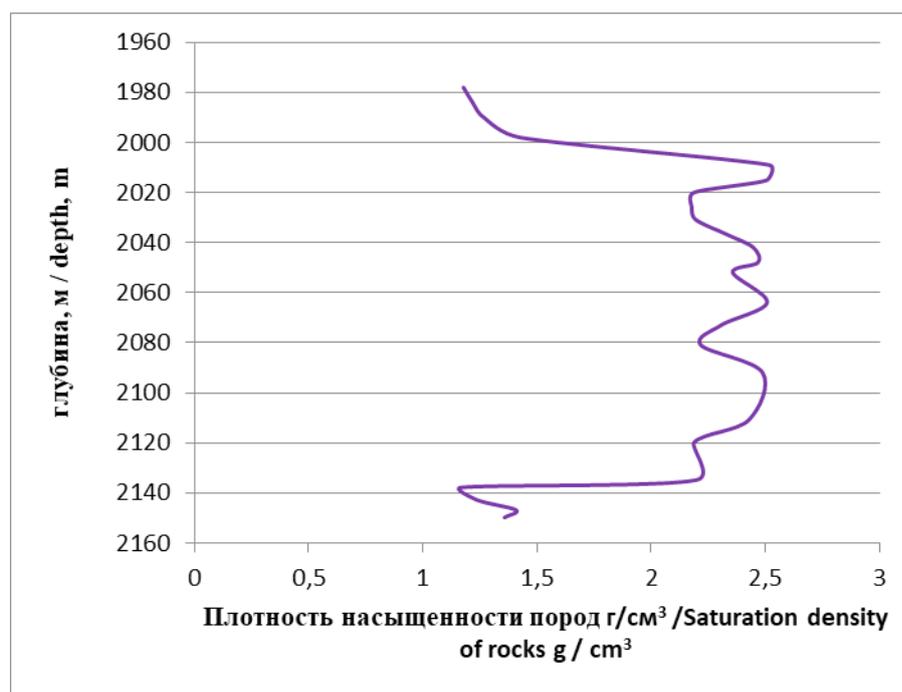


Рис. 5. График изменчивости плотности насыщенности пород по скважине №88-РД /
Fig. 5. Graph of variability of density of rock saturation for well No. 88-RD

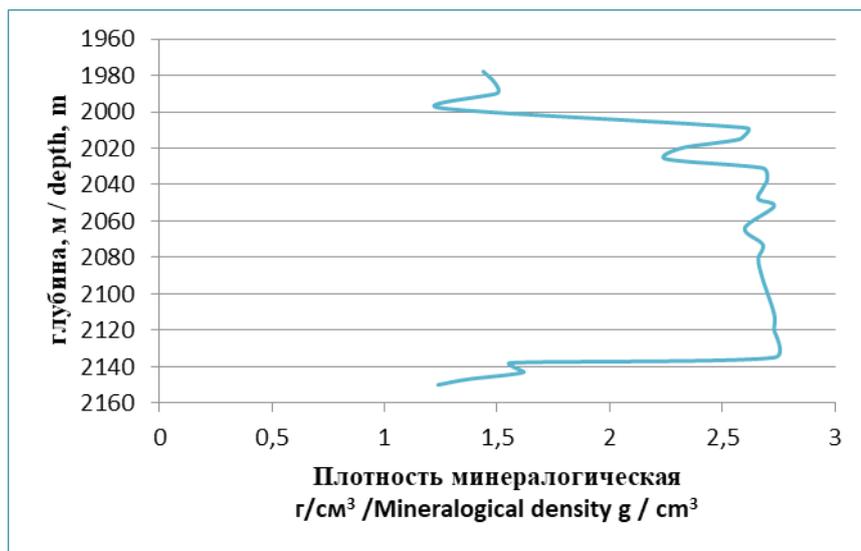


Рис. 6. График изменчивости минералогической плотности по скважине № 88-РД /

Fig. 6. Graph of mineralogical density variability for well No. 88-RD

На графике объемной плотности пород наблюдается увеличение показателей в интервале от 2000 м до 2140 м.

На графике плотности насыщенности пород наблюдается увеличение показателей в интервале от 2000 м до 2140 м.

На графике минералогической плотности пород наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м.

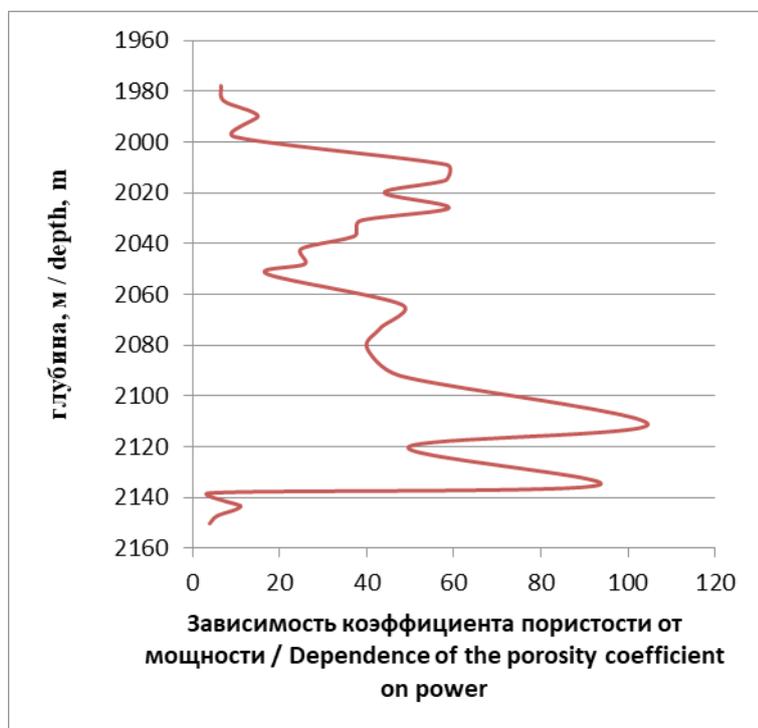


Рис. 7. График зависимой изменчивости коэффициента пористости от мощности по скважине № 88-РД /

Fig. 7. Graph of the dependent variability of the porosity coefficient on the power for well No. 88-RD

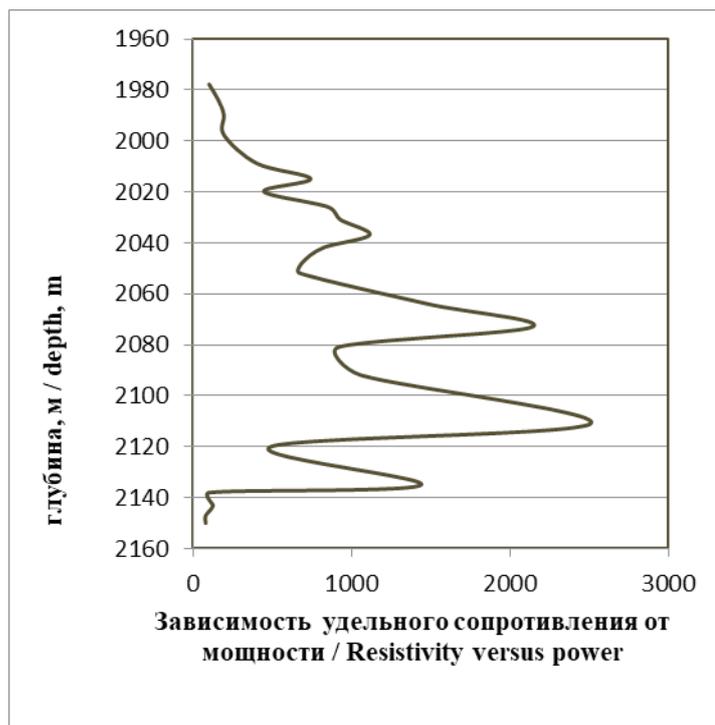


Рис. 8. График зависимой изменчивости удельного сопротивления от мощности по скважине № 88-РД /

Fig. 8. Graph of dependent variability of resistivity on power for well No. 88-RD

На графике зависимой изменчивости коэффициента пористости от мощности наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м. Максимальное значение замечено на глубине 2110 м.

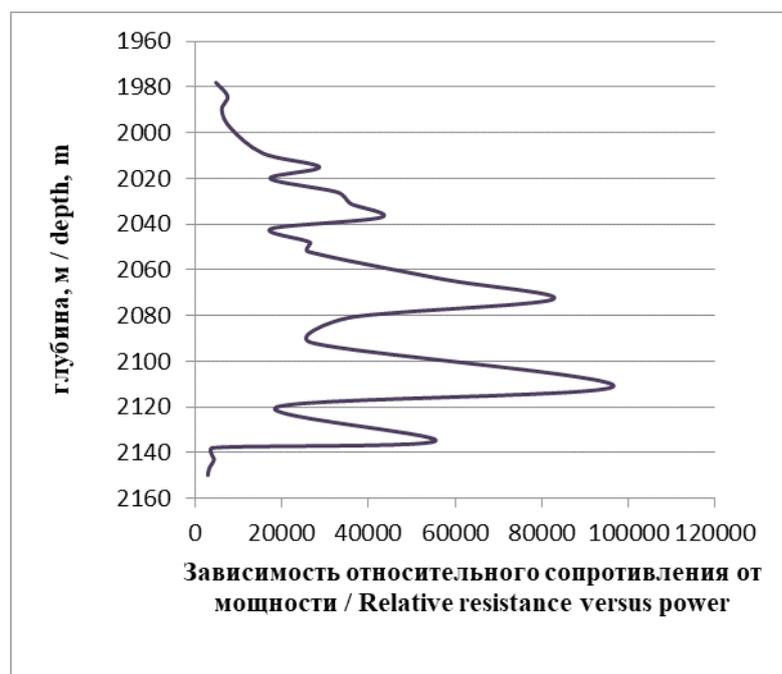


Рис. 9. График зависимой изменчивости относительного сопротивления от мощности по скважине № 8-РД /

Fig. 9. Graph of the dependent variability of the relative resistance from power for well No. 88-RD

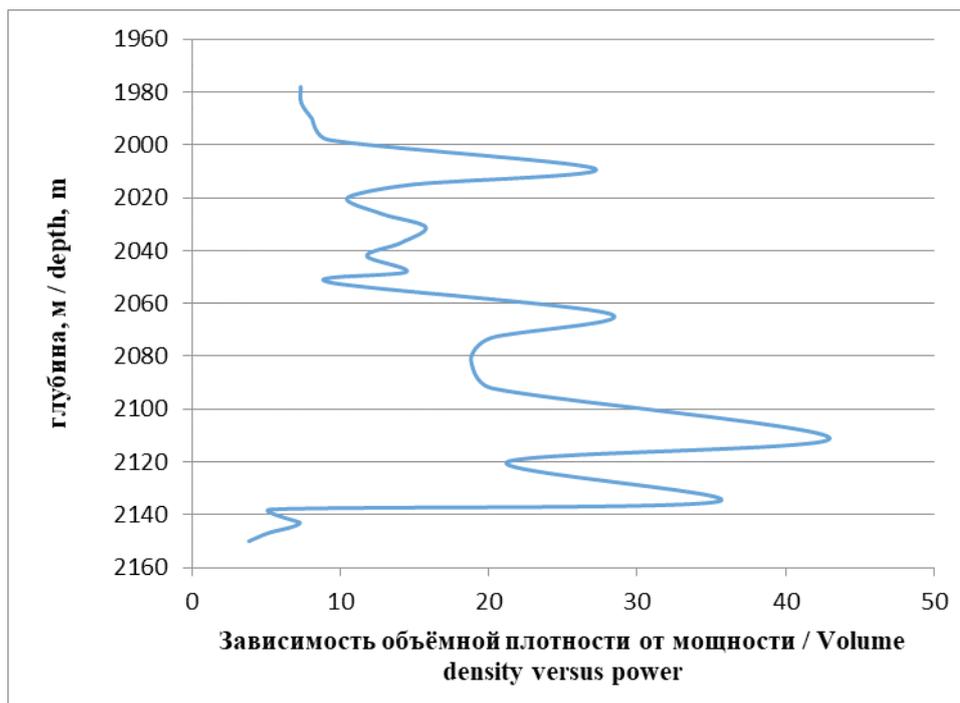


Рис. 10. График зависимой изменчивости объёмной плотности от мощности по скважине № 88-РД /

Fig. 10. Graph of the dependent variability of volumetric density on power for well No. 88-RD

На графике зависимой изменчивости удельного сопротивления от мощности наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м. Максимальное значение замечено на глубине 2110 м.

На графике зависимой изменчивости относительного сопротивления от мощности наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м. Максимальное значение замечено на глубине 2110 м.

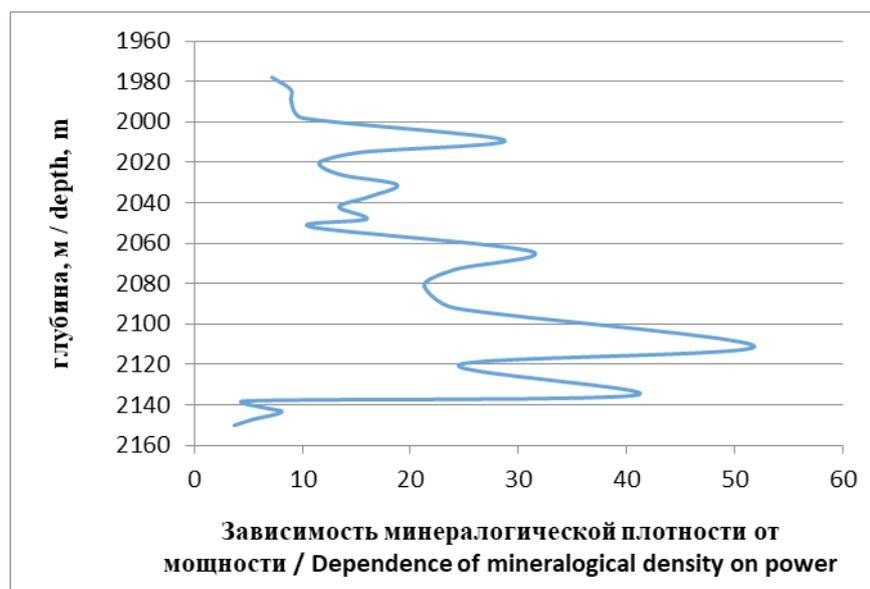


Рис. 11. График зависимой изменчивости минералогической плотности от мощности по скважине № 88-РД /

Fig. 11. Graph of the dependent variability of mineralogical density from power for well No. 88-RD

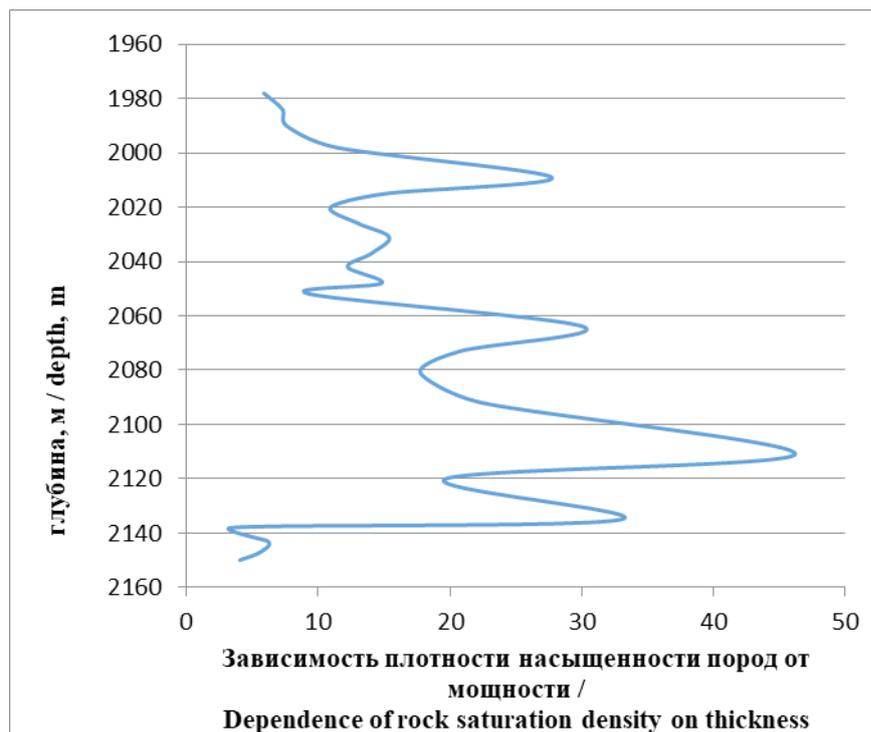


Рис. 12. График зависимой изменчивости плотности насыщенности пород от мощности по скважине № 88-РД /

Fig. 12. Graph of the dependent variability of the density of the saturation of rocks on the thickness of the well No. 88-RD

На графике зависимой изменчивости объёмной плотности от мощности наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м. Максимальное значение замечено на глубине 2110 м.

На графике зависимой изменчивости минералогической плотности от мощности наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м. Максимальное значение замечено на глубине 2110 м.

На графике зависимой изменчивости плотности насыщенности пород от мощности наблюдается увеличение значений в интервале от 2000 м до 2140 м. Максимальное значение замечено на глубине 2110 м.

По результатам анализа графиков распределения показателей в скважине № 88-РД можно сделать вывод, что пласт не однороден, встречаются прослой аргиллитов с другими емкостно-фильтрационными и геофизическими характеристиками. Интервал 2000-2040 м является газоносным горизонтом, на что указывают повышенные значения относительного сопротивления.

Значимой положительной корреляционной связью обладают следующие пары параметров: коэффициент пористости и удельное сопротивление пород, коэффициент пористости и относительное сопротивление пород, коэффициент пористости и объёмная плотность, коэффициент пористости и плотность минералогическая, коэффициент пористости и плотность насыщенных пород, удельное сопротивление пород и относительное сопротивление пород, удельное сопротивление пород и объёмная плотность, удельное сопротивление пород и плотность минералогическая, удельное сопротивление пород и плотность насыщенных пород, относительное сопротивление пород и объёмная плотность, относительное сопротивление пород и плотность минералогическая, относительное сопротивление пород и плотность на-

Таблица 2 / Table 2

**Результаты корреляционного анализа результатов исследований
по скважине № 88-РД / Results of the correlation analysis of the survey
results for well No. 88-RD**

	(h), м / (h), m	K_n / K_p	Уд. сопр. пор. / Rock resistivity	Отн. сопр. пор. / Strength ratio of rocks	Плотность об. / Spatial density	Плотность мин. / Mineralogical density	Плотность н. п. / Density of saturated rocks	Глубина / Depth
(h), м / (h), m	1	0,25	0,22	0,25	0,41	0,27	0,47	0,13
K_n / K_p		1	0,60	0,59	0,75	0,75	0,75	0,16
Уд. сопр. пор. / Rock resistivity			1	0,96	0,72	0,57	0,75	0,06
Отн. сопр. пор. / Strength ratio of rocks				1	0,68	0,56	0,70	0,07
Плотность об. / Spatial density					1	0,77	0,93	0,02
Плотность мин. / Mineralogical density						1	0,76	0,11
Плотность н. п. / Density of saturated rocks							1	0,06
Глубина / Depth								1

сыщенных пород, объемная плотность и плотность минералогическая, объемная плотность и плотность насыщенных пород, плотность минералогическая и плотность насыщенных пород [Бембель и др., 2012; Даукаев, 2010; Нефтяная промышленность России, 2013; Паникаровский и др., 2019; Поднебесных, 2017; De Oliveira et al., 2014; Sinclair, Thompson, 2013; Stoll et al., 2009].

Проведенные исследования могут быть использованы в ходе анализа природно-промышленных систем в горных территориях [Голик и др., 2018; Чотчаев и др., 2020; Klyuev et al., 2020a, b, 2021; Svalova et al., 2018; Zaalishvili, Rogozhin, 2011; Zaalishvili et al., 2016].

Заключение

Изучив распределение показателей на Южно-Харбинском участке по одному горизонту можно сделать вывод, что эти показатели различаются очень слабо, что свидетельствует об однородности свойств пласта. Качественные показатели остаются без изменения. На Восточном участке можно ожидать схожие показатели. Наличие промышленных скоплений углеводородного сырья оценивается как весьма вероятное. Проведенные исследования могут быть использованы в ходе анализа природно-промышленных систем в горных территориях [Klyuev et al., 2020a, b, 2021; Svalova et al., 2018; Zaalishvili, Rogozhin, 2011; Zaalishvili et al., 2016].

По всей вероятности, данные по проведенным исследованиям можно использовать при проведении поисково-оценочных работ на данной территории.

Литература

1. Бембель Р.М., Сухов Л.А., Щетинин И.А. Пути повышения геологической эффективности освоения месторождений углеводородов в Западной Сибири. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – №6. – С. 6-10. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-6-10
2. Бронскова Е.И. Комплексный анализ геологического строения Апрельского месторождения для эффективности доразведки и разработки залежей в тюменской свите. / Е.И. Бронскова. // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. – 2016. – №8. – С. 36-44.
3. Голик В.И., Бурдзиева О.Г., Дмитрак Ю.В., Шяймартдянов Т.Э. Взаимодействие природных и технических систем обеспечения сбалансированности земной поверхности при освоении недр. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – №8 (4). – С. 33-44. DOI:10.23671/VNC.2018.4.20132
4. Даукаев А.А. Формирование и развитие научных основ нефтегазопроисковых и разведочных работ на Северном Кавказе в 18-19 вв. // Естественные и технические науки. – 2010. – №2 (46). – С. 506-509.
5. Клубков С.В. Стимулирование разработки ТРИЗ поможет поддержать уровень добычи нефти в России. / С.В. Клубков. // Oil & Gas Journal Russia. – 2015. – №6. – С. 6-11.
6. Коваленко И.В., Сохошко С.К. Моделирование разработки нефтяных оторочек многопластового залегания. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2018. – №3. – С. 50-54. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-3-50-54
7. Костеневич К.А. Влияние условий формирования и постседиментационных процессов преобразования отложений на структуру пустотного пространства и фильтрационно-емкостные свойства пород-коллекторов продуктивного горизонта тюменской свиты Краснотуркменского свода. / К.А. Костеневич, О.И. Белоус, С.А. Слюнкина. // Современные проблемы седиментологии в нефтегазовом инжиниринге: труды III Всероссийского научно-практического седиментологического совещания, 10–12 апреля 2017 г. – Томск: Изд-во ЦППС НД, 2017. – С. 84-90.
8. Мартынов В.Н. Формирование нефтяной и газовой – кризис перепроизводства. // Журнал Нефть России. – 2004. – №8. – С. 20-24.
9. Медведев Н.Я. Геотехнологические основы разработки залежей с трудноизвлекаемыми запасами нефти. / Н.Я. Медведев. – Москва: ВНИИОЭНГ, 1997. – 336 с.
10. Нефтяная промышленность России. // Молодежный научный форум: Технические и математические науки: материалы V студенческой международной конф. – М.: «МЦНО». – 2013. – №5 (5).
11. Паникаровский Е.В., Паникаровский В.В., Анашкина А.Е. Опыт разработки Ванкорского месторождения. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2019. – №1. – С. 47-51. DOI: 10.31660/0445-0108-2019-1-47-51
12. Поднебесных А.В. Перспективы промышленной разработки проявлений битумов рифтовых впадин на территории Забайкалья. // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. – 2017. – №1. – С. 38-42. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-1-38-42
13. Трудноизвлекаемые запасы нефти Российской Федерации. Структура, состояние, перспективы освоения: монография. / И.В. Шпуров, А.Д. Писарницкий, И.П. Пуртова, А.И. Вариченко; под редакцией И.В. Шпурова, Ю.П. Беседовского; Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации (Минприроды России), Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), Западно-Сибирский научно-исследовательский ин-т геологии и геофизики. – Тюмень: ЗапСибНИИГГ, 2012. – 256 с.
14. Хузин Р.Р. Геотехнологические основы освоения трудноизвлекаемых запасов мелких сложнопостроенных месторождений нефти. / Р.Р. Хузин. – Самара: Нефть. Газ. Новации. – 2012. – 384 с.

15. Чотчаев Х. О., Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – № 10 (4). – С. 70-100. DOI: 10.46698/VNC. 2020.87.26.005.
16. De Oliveira D. M., Sobral L. G. S., Olson G. J., Olson S. B. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. // Hydrometallurgy. – 2014. – Vol. 147-148. – pp. 223-227. DOI: 10.1016/j. hydromet. 2014.05.019
17. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 2016. – Vol. 37. No. 2. – pp. 73-119.
18. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V., Gavrina O. A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020a. – No. 2. – pp. 283-290.
19. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Egorova E. V., Gavrina O. A. Assessment of mining-geological and mining technical conditions of the Severny pit with the use of mathematical models. // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020b. – No. 3. – pp. 418-427. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-418-427
20. Klyuev R., Bosikov I., Gavrina O., Madaeva M., Sokolov A. Improving the Energy Efficiency of Technological Equipment at Mining Enterprises. // In: Murgul V., Pukhkal V. (eds), International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – 2021. – Vol. 1258. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-4-030-57450-5_24
21. Sinclair L., Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. // Hydrometallurgy. – 2015. – Vol. 157. – pp. 306-324. DOI: 10.1016/j. hydromet. 2015.08.022
22. Stoll R. D., Iemann-Delius C., Drebenstedt C., Müllensiefen K. Der Braunkohlentagebau – Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt. // Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg. – 2009. – p. 605. DOI: 10.1007/978-3-540-78401-2 (In German)
23. Svalova V. B., Zaalishvili V. B., Ganapathy G. P., Nikolaev A. V. Natural hazards and disasters in mountain areas. // Geology and Geophysics of Russian South. – 2018. – Vol. 8 (2). – pp. 87-101. (In Russ.). DOI: 10.23671/VNC. 2018.2.14360
24. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Kanukov A. S., Dzeranov B. V. Spectral-temporal features of seismic loadings on the basis of strong motion wavelet database. // International Journal of GEOMATE. – 2016. – Vol. 10. No. 1. pp. 1656-1661.
25. Zaalishvili V. B., Rogozhin E. A. Assessment of seismic hazard of territory on basis of modern methods of detailed zoning and seismic Microzonation. // Open Construction and Building Technology Journal. – 2011. – Vol. 5. – pp. 30-40.

References

1. Bembel R. M., Sukhov V. A., Schetin I. A. Ways of increasing geological efficiency of hydrocarbon fields development in Western Siberia. Oil and Gas Studies, 2017. No. 6. pp. 6-10. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-6-10 (In Russ.)
2. Bronskova E. I. Complex analysis of the geological structure of the Aprelskoye field for the efficiency of additional exploration and development of deposits in the Tyumen suite. Geology, geophysics and development of oil and gas fields, 2016. No. 8. pp. 36-44. (In Russ.)
3. Golik V. I., Burdzieva O. G., Dmitrak Yu. V., Sheymartdyanov T. E. Interaction of natural and technical systems for ensuring balance of earth surface when developing bowelsin. Geology and Geophysics of Russian South. 2018. Vol. 8 (4). pp. 33-44. DOI:10.23671/VNC. 2018.4.20132 (in Russ.)

4. Daukaev A.A. Formation and development of the scientific foundations of oil and gas exploration and exploration in the North Caucasus in the 18-19 centuries. *Natural and technical sciences*, 2010. No. 2 (46). pp. 506-509. (In Russ.)

5. Klubkov S.V. Stimulating the development of TRIZ will help maintain the level of oil production in Russia. *Oil & Gas Journal Russia*, 2015. No. 6. pp. 6-11. (In Russ.)

6. Kovalenko I.V., Sokhoshko, S.K. Modeling of the oil rims development of multi-zone oil rim reservoir. *Oil and Gas Studies*, 2018. No. 3. pp. 50-54. DOI: 10.31660/0445-0108-2018-3-50-54. (In Russ.)

7. Kostenevich, K.A. Influence of formation conditions and postsedimentary processes of sediment transformation on the structure of the void space and filtration-capacity properties of reservoir rocks of the productive horizon of the Tyumen suite of the Krasnoleninsky arch. K.A. Kostenevich, O.I. Belous, S.A. Slyunkina. *Modern problems of sedimentology in oil and gas engineering: Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Sedimentological Meeting, April 10-12, 2017. Tomsk. Publishing house of TsPPS ND*, 2017. pp. 84-90. (In Russ.)

8. Martynov V.N. Formation of oil and gas – the crisis of overproduction. *Journal of Oil of Russia*, 2004. No. 8. pp. 20-24. (In Russ.)

9. Medvedev N.Ya. *Geotechnological foundations of the development of deposits with hard-to-recover oil reserves. Moscow. VNIIOENG*, 1997. 336 p. (In Russ.)

10. *Oil industry of Russia. Youth Scientific Forum: Technical and Mathematical Sciences: Materials of V Student International. conf. Moscow. ICNS*, 2013. No. 5 (5). (In Russ.)

11. Panikarovskii E.V., Panikarovskii V.V., Anashkina A.E. Vankor oil field development experience. *Oil and Gas Studies*, 2019. No. 1. pp. 47-51. DOI: 10.31660/0445-0108-2019-1-47-51. (In Russ.)

12. Podnebesnykh A.V. Perspectives of developing bitumen seeps of the Baikal rift valley. *Oil and Gas Studies*, 2017. No. 1. pp. 38-42. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-1-38-42. (In Russ.)

13. *Hard-to-recover oil reserves of the Russian Federation. Structure, state, development prospects: monograph. I.V. Shpurov, A.D. Pisarnitskiy, I.P. Purtova, A.I. Varichenko; under the editorship of I.V. Shpurov, Yu.P. Besedovsky; Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (Ministry of Natural Resources of Russia), Federal Agency for Subsoil Use (Rosnedra), West Siberian Research Institute of Geology and Geophysics. Tyumen. ZapSib NIIGG*, 2012. 256 p. (In Russ.)

14. Khuzin R.R. *Geotechnological foundations of development of hard-to-recover reserves of small complex oil fields. Samara. Oil. Gas. Innovations*, 2012. 384 p. (In Russ.)

15. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geocological state of high mountain areas. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10 (4). pp. 70-100. DOI: 10.46698/VNC. 2020.87.26.005 (in Russ.)

16. De Oliveira D.M., Sobral L.G. S., Olson G J., & Olson S.B. Acid leaching of a copper ore by sulphur-oxidizing microorganisms. *Hydrometallurgy*, 2014. Vol. 147-148, pp. 223-227. DOI: 10.1016/j. hydromet. 2014.05.019.

17. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. *Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2016. Vol. 37. No. 2. pp. 73-119.

18. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Mayer A. V., Gavrina O. A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020a. No. 2. pp. 283-290.

19. Klyuev R. V., Bosikov I. I., Egorova E. V., Gavrina O. A. Assessment of mining-geological and mining technical conditions of the Severny pit with the use of mathematical models. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020b. No. 3. pp. 418-427. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-418-427.

20. Klyuev R., Bosikov I., Gavrina O., Madaeva M., Sokolov A. Improving the Energy Efficiency of Technological Equipment at Mining Enterprises. In: Murgul V., Pukhkal V. (eds), *International Scientific Conference Energy Management of Municipal Facilities and Sustainable Energy Technologies EMMFT 2019. EMMFT 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing*, 2021. Vol. 1258. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-4-030-57450-5_24

21. Sinclair L., & Thompson J. In situ leaching of copper: Challenges and future prospects. *Hydrometallurgy*, 2015. Vol. 157. pp. 306-324. DOI: 10.1016/j. hydromet. 2015.08.022

22. Stoll R. D., Iemann-Delius C., Drebenstedt C., Müllensiefen K. *Der Braunkohlentagebau-Bedeutung, Planung, Betrieb, Technik, Umwelt*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2009. p. 605. DOI: 10.1007/978-3-540-78401-2 (In German)

23. Svalova V. B., Zaalishvili V. B., Ganapathy G. P., Nikolaev A. V. Natural hazards and disasters in mountain areas. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2018. Vol. 8 (2). pp. 87-101. (In Russ.). DOI: 10.23671/VNC. 2018.2.1436.

24. Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Kanukov A. S., Dzeranov B. V. Spectral-temporal features of seismic loadings on the basis of strong motion wavelet database. *International Journal of GEOMATE*, 2016. Vol. 10. No. 1. pp. 1656-1661.

25. Zaalishvili V. B., Rogozhin E. A. Assessment of seismic hazard of territory on basis of modern methods of detailed zoning and seismic Microzonation. *Open Construction and Building Technology Journal*, 2011. Vol. 5. pp. 30-40.

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.8:553.078:553.41

DOI: [10.46698/VNC.2021.23.67.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.23.67.003)

Оригинальная статья

Опыт разделения потенциальных полей Донбасса на фоновую, остаточную и локальную составляющие и некоторые результаты интерпретации

Д. Б. Давыденко¹, С. Г. Парада^{1, 2}

¹ФГБУН ФИЦ «Южный научный центр РАН», Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр. Чехова, 41, e-mail: segripa@rambler.ru

²Геофизический институт Владикавказского научного центра Российской академии наук, Россия, 362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова, 93а

Статья поступила: 29.01.2021, после рецензирования: 22.02.2021, принята к публикации: 03.03.2021

Резюме: Статья посвящена определению оптимальных процедур обработки и разделения потенциальных полей на фоновую, остаточную и локальную составляющие, а также обсуждению некоторых результатов. **Актуальность работы** определяется необходимостью разработки геофизической основы для минерагенического анализа системы Донецкого складчатого сооружения. **Цель исследования.** Выбор оптимальных процедур обработки геофизических данных и разделение потенциальных полей на фоновую, остаточную и локальную составляющие, оценка возможности использования полученных результатов для минерагенического анализа Донецкого складчатого сооружения. **Методы исследования.** Исходными материалами для исследования послужили результаты аэросъемочных работ в цифровом формате, проведенных в 2011 году компанией «Аэрогеофизика» с использованием современных высокоточных приборов. А для приграничной полосы с Украиной – материалы аналоговых аэрогеофизических съемок, проведенных до 2000 г. Подразделение исходных полей на составляющие компоненты проведено с использованием методов математического преобразования исходных данных с использованием отечественного программного комплекса ГИС Интегро. Оценка информативности преобразования комплекса исходных данных решалась с привлечением технологии статистического зондирования геополей COSCAD 3D, а также технологии решения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки. **Результаты исследования.** Разработана технология, обеспечивающая составление сводных карт потенциальных полей с использованием материалов разновысотных аэросъемок на основе отечественной геоинформационной системы ГИС Интегро. Установлены оптимальные процедуры и осуществлено подразделение исходных магнитного и гравитационного полей на региональную, остаточную и локальную компоненты. При выделении локальной составляющей аномалий магнитного поля впервые для исследуемого района выделены и прослежены протяженные зоны слабоинтенсивных положительных магнитных аномалий. Установлено, что эти аномалии связаны с разломами, приуроченными к осевым плоскостям линейных антиклиналей и отражают увеличение намагниченности горных пород в связи с гидротермально-метасоматическими преобразованиями. Распространение выявленных ранее золоторудных проявлений в существенной мере контролируется вновь обнаруженными зонами слабоинтенсивных магнитных аномалий. Это позволяет придать высокую значимость выделяемых линейных аномальных зон как критериев для решения задач минерагенического районирования.

Ключевые слова: Донбасс, потенциальные поля, трансформации, геофизические аномалии, карты магнитных аномалий, карты гравиметрических аномалий, минерагения.

Для цитирования: Давыденко Д. Б., Парада С. Г. Опыт разделения потенциальных полей Донбасса на фоновую, остаточную и локальную составляющие и некоторые результаты интерпретации. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 22 – 37. DOI: 10.46698/VNC. 2021.23.67.003.

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

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

DOI: [10.46698/VNC. 2021.23.67.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.23.67.003)

Original paper

The experience of dividing the potential fields of Donbass into background, residual and local components and some results of interpretation

D. B. Davydenko¹, S. G. Parada^{1, 2}

¹Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don 344006, Russian Federation, e-mail: segripa@rambler. ru

²Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation

Received: 29.01.2021, revised: 22.02.2021, accepted: 03.03.2021

Abstract: The article is devoted to determining the optimal procedures for processing and dividing potential fields into background, residual, and local components, as well as discussing some of the results. **The relevance of the work** is determined by the need to develop a geophysical basis for the mineralogical analysis of the Donetsk folded structure system. **Aim.** To select the optimal procedures for processing geophysical data and to divide potential fields into background, residual and local components, to evaluate the possibility of using the results obtained for mineragenic analysis of the Donetsk folded structure. **Methods.** The initial materials for the study were the results of aerial surveys in digital format conducted in 2011 by the company “Aerogeofizika” using modern high-precision instruments. And for the border strip with Ukraine – the materials of analog aerogeophysical surveys conducted before 2000. The division of the source fields into components was carried out using the methods of mathematical transformation of the source data using the domestic GIS Integro software package. The evaluation of the informativeness of the transformation of the source data complex was solved using the COSCAD 3D statistical sounding of geofields, as well as the technology for solving the inverse problem of gravity and magnetic exploration. **Results.** A technology has been developed that provides the compilation of summary maps of potential fields using materials from different-altitude aerial surveys based on the domestic GIS Integro geoinformation system. Optimal procedures were established and the initial magnetic and gravitational fields were divided into regional, residual, and local components. When identifying the local component of magnetic field anomalies, extended zones of low-intensity positive magnetic anomalies were identified and traced for the first time in the study area. It is established that these anomalies are associated with faults confined to the axial planes of linear anticlines and reflect an increase in the magnetization of rocks due to hydrothermal-metasomatic transformations. The spread of previously identified gold-ore manifestations is significantly controlled by newly discovered zones of low-intensity magnetic anomalies. This makes it possible to attach high importance to the identified linear anomalous zones as criteria for solving problems of mineragenic zoning.

Keywords: Donbass, potential fields, transformations, geophysical anomalies, maps of magnetic anomalies, maps of gravimetric anomalies, minerageny.

For citation: Davydenko D. B., Parada S. G. Experience of Dividing Potential Fields of Donbass into Background, Residual and Local Components and some Results of Interpretation. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (1): 22 – 37. DOI: 10.46698/VNC. 2021.23.67.003.

Acknowledgements: *The work was carried out as part of the implementation of the state task of the UNC RAS, state registration number of the project AAAA-A19-119011190181-1.*

Введение

При минерагенических исследованиях все большее значение приобретают геофизические методы. Они позволяют уточнять особенности глубинного строения, магматизма и складчато-разрывной тектоники рудоносных районов. Однако интерпретация геофизических данных часто вызывает затруднения, поскольку наблюдаемые потенциальные поля представляют собой сложную сумму полей, созданных различными геологическими объектами, расположенными на разных глубинах. В общих чертах можно полагать, что наиболее глубинные объекты связанные, в основном, с глубокими горизонтами фундамента, создают региональную составляющую потенциальных полей. Комплекс геологических неоднородностей в составе осадочной толщи и верхних горизонтов фундамента можно рассматривать как среднеглубинные аномалиеобразующие объекты. Геолого-геофизические неоднородности приповерхностных горизонтов литосферы соответствуют третьему (верхнему) уровню, и создают локальные аномалии. Поэтому разделение потенциальных полей на региональную, остаточную и локальную составляющие необходимо для более точной геологической интерпретации.

Донбасс (Донецкий угольный бассейн) в тектоническом отношении представляет собой Донецкое поднятие. Само поднятие является частью Припятско-Днепровско-Донецкого авлакогена, который пересекает южную часть Восточно-Европейской платформы с северо-запада на юго-восток более чем на 2000 км при ширине 70-120 км, разделяя Белорусскую, Украинскую и Воронежскую антеклизы. В продольном сечении он сегментирован на прогибы-впадины – Припятский прогиб и собственно Днепровско-Донецкую впадину, разделенные Брагинско-Лоевской седловиной, а также Донецкое поднятие с погребенным продолжением кряжа Карпинского [Lobkovsky et al., 2011; Левин и др., 2011; Bush, 2014; Агеев и др., 2015].

В данном исследовании нами рассматривается Донецкое поднятие (складчатое сооружение) как центральная часть авлакогена, наиболее перспективная на проявления цветных металлов и золота [Парада, 2017; Трощенко, 2019; Давыденко и др., 2019].

Центральная часть Донецкого складчатого сооружения (Донбасса) представляет собой грабен, выполненный в основном отложениями древнее карбона, вероятно вплоть до рифея, которые на бортах прогиба не имеют широкого распространения. Наиболее крупные разрывы – так называемые краевые надвиги Донбасса – Северо-Донецкий на севере, и Персиановский на юге. Эти разрывы, ограничивающие область наибольших мощностей отложений в прогибе, имеют глубинный характер, установленный на территории украинской части Донбасса по сейсмическим данным [Maustrenko et al., 2003; Гринь, 2020]. Южная граница прогиба проходит по Манычскому разлому, над которым, кроме того, развивается система Манычских мезозойско-кайнозойских грабенов.

В пределах исследуемой территории выявлены рудопроявления и пункты золоторудной минерализации. К ним относятся Керчикское, Барило-Крепинское, Галутинское, Чернореченское и др. рудопроявления золота. На Керчикском рудопроявлении подсчитаны прогнозные ресурсы золота в количестве, соответствующем крупному месторождению, положительно оценены обогатимость руд и возможность их рентабельной добычи.

В основу тектонического районирования Донецкого бассейна положены особенности складчато-разрывных дислокаций герцинского структурного этажа (рис. 1).



Рис. 1. Тектоническое районирование Донецкого складчатого сооружения с отображением наиболее крупных разломов и складок:

1 – границы тектонических структур первого порядка, в том числе с севера на юг: Воронежская антеклиза, Доно-Днепровский палеозойский прогиб, Украинский щит; 2 – границы тектонических районов, в том числе Донецкое складчатое сооружение (1) и Южно-Донбасская складчато-блоковая моноклинали (2); 3 – границы тектонических зон: 1.1 – Центральная зона крупных линейных складок, 1.2 – Восточная зона мелких линейных складок, 1.3 – Северная линейная антиклинальная зона мелких складок, 1.4 – обособленные брахисинклинали (Луганско-Краснодонская, Белокалитвенская, Краснодонская, Жирновская), 1.5 – Северная межнадвиговая зона пологих складок, 1.6 – Южный грабен; 5 – оси антиклиналей; 6 – оси синклиналей; 7 – соляные купола; 8 – государственная граница. Линии сейсмических профилей DOBRE и Морозовск-Каменская /

Fig. 1. Tectonic zoning of the Donets folded structure with the display of the largest faults and folds
1 – boundaries of first-order tectonic structures, including from north to south: the Voronezh anticline, the Don-Dnieper Paleozoic trough, the Ukrainian shield; 2 – boundaries of tectonic regions, including the Donets fold structure (1) and the South Donbass fold-block monocline (2); 3 – tectonic zone boundaries: 1.1 – Central zone of large linear folds, 1.2 – Eastern zone of small linear folds, 1.3 – Northern linear anticline zone of small folds, 1.4 – isolated brachysynclines (Luhansk-Krasnodon, Belokalitvenskaya, Krasnodonetskaya, Zhirnovskaya), 1.5 – Northern inter-thrust zone of shallow folds, 1.6 – Southern graben; 5 – axes of anticlines; 6 – axes of synclines; 7 – salt domes; 8 – state border. DOBRE and Morozovsk-Kamenskaya seismic profile lines

В складчатом Донбассе выделяются две наиболее крупные пликативные структуры – Сулино-Садкинская и Шахтинско-Несветаевская синклинали, разделенные Главной антиклиналью, и более мелкие структуры, объединяемые на севере Донецкого прогиба в Северную зону мелкой складчатости. В южной части Донецкого складчатого сооружения выделяется Южная зона мелких складок, где складчатый карбон перекрыт мезозойско-кайнозойским чехлом мощностью до 500 м и более.

Допалеозойские магматические и метаморфические образования, составляющие кристаллический фундамент всех структурных элементов Восточного Донбасса, и покрывающие их вулканогенно-осадочные породы девона на поверхность нигде не выходят, как и пермские отложения, известные на северо-востоке только по данным малочисленных скважин.

Материалы и методы

Исходными материалами для исследования послужили результаты аэросъемочных работ, проведенных в 2011 году компанией «Аэрогеофизика». Основные технические параметры получения этих материалов сводятся к следующему. Аэросъемочные работы, по результатам которых построены базовые карты потенциальных полей для исследуемого региона, характеризуются значительной высотой полетов (450 м над уровнем моря) и удаленностью между соседними маршрутами (500 м). Используемый в процессе съемки аэромагнитометр является современным высокоточным прибором для измерения магнитного поля Земли с диапазоном измерений 15000-130000 нТл. Разрешающая способность его от 0,001 нТл при 10 отсчетах в секунду и до 0,01 нТл при 100 отсчетах в секунду, что обеспечивает возможность построения карт изолиний локальных аномалий магнитного поля с сечением в первые единицы нТл. Магнитометр характеризуется высокой защитой от помех и виброустойчивостью. Все эти параметры обеспечивают высокую техническую точность измерений.

Аэрометод измерения поля силы тяжести стал активно внедряться в практику геофизических исследований в последние десятилетия. Аэрогравиметрия имеет ряд определенных преимуществ перед традиционными наземными съемками (мобильность, высокая экономическая эффективность и возможность изучения поля силы тяжести в трехмерном пространстве – на разных высотных уровнях). Однако методики и средств эталонирования аэрогравиметрической аппаратуры в настоящее время не существует. Поэтому в первые годы применения аэрогравиметрии предусматривалось включать в контуры исследуемых площадей участки с высокоточными наземными съемками в качестве эталонов. По результатам сопоставления аэросъемочных работ с этими эталонами сделан вывод о том, что величина погрешности определения аномалий силы тяжести по данным аэрогравиметрической съемки составляет порядка 0,4-0,5 мГал. Величины аномалий итоговой карты силы тяжести являются средними арифметическими значениями поля по разреженным сети, имеют погрешность 0,41 мГал и представлены в условном уровне. Подобная точность съемки обеспечивает возможность решения задач региональных исследований.

Вместе с тем территория этих аэросъемок не распространяется на приграничную с Украиной полосу шириной 60 км и более. В связи с этим возникла необходимость использования аналоговых аэросъемочных материалов, выполненных до 2000 года (высоты 150-200 м), что обусловило необходимость разработки техноло-

гической схемы, которая могла бы обеспечить составление сводных карт потенциальных полей с использованием материалов разновысотных аэросъемок.

Исходными данными для наращивания карт потенциальных полей основной части площади исследований в западном направлении (в приграничную полосу с Украиной) являются материалы аэромагнитных съемок, проведенных до 2000 г. Преимущественно это аэромагнитные съемки масштаба 1:25000 (1968-91 гг.), задачей которых было изучение геологического строения структуры фундамента и осадочного чехла, а также выделение перспективных участков на нефть и газ и оценка нефтеносности. Аппаратурная точность съемок в пределах основной части приграничной полосы составляет 2,5 нТл. Высота полетов 200 м, расстояние между маршрутами 150-200 м. Материалы по этим съемкам ранее были обобщены и приведены к нормальному полю Земли эпохи середины 1990 г., что на 60 нТл выше, чем принято для базового массива. Недостатками всех этих съемок является невысокое качество внутренней увязки. Однако информативность съемок, в целом, как оказалось, высокая, и не исчерпывается теми выводами, которые сделаны авторами отчетов при анализе магнитного поля по каждому отдельному участку.

Результаты и обсуждение

Формирование сводных карт потенциальных полей

Как удалось установить, в результате проведенного анализа основной проблемой для составления сводных карт потенциальных полей является существенное различие в высотных уровнях предшествующих съемок. Выше уже упоминалось, что съемочные работы 2011 г. выполнялись при высоте полета 450 м над уровнем моря, а съемки восьмидесятых годов выполнены на уровне 200 м. Эти различия по высоте съемочных работ привели к тому, что при общем совпадении структуры аномалий базового поля (2011 г.) и структуры аномалий по результатам съемок предшествующего периода, интенсивности их в плане могут существенно отличаться. Причинами подобного эффекта являются различия в скорости «затухания» интенсивности аномалий над геологическими образованиями различной глубины залегания (переменный вертикальный градиент). В результате введение каких-либо постоянных поправок в массив данных, который присоединяется к базовому массиву, не обеспечивало плавного слияния этих данных. В этой связи была принята следующая технология поэтапного формирования сводных карт (описывается на примере магнитного поля). Все работы с цифровыми матрицами выполнялись с использованием программного комплекса ГИС Интегро [Галуев и др., 2001, 2004; Давыденко, 2006].

Первый шаг. «Склеивание» данных базового массива с дополнительно привлекаемыми данными. Эта процедура осуществлялась с использованием логической функции, предусмотренной в модуле ГИС Интегро «арифметика»:

if (mag-baz) = TosIndef then (mag-swod):= (mag-dop-60) else (mag-swod):= (mag-baz), что означает: если значения базового массива не определены, то сводному массиву присвоить значения дополнительного массива минус 60 нТл (разность в уровнях нормального поля), иначе сводному массиву присвоить значения базового массива.

Второй шаг. После «склеивания» всех дополнительных массивов с базовым получаем сводный массив для исследуемой площади. В этом сводном массиве необходимо обеспечить плавные переходы от дополнительных массивов к базовому.

С этой целью из сводного массива последовательно вырезаются участки прямоугольной формы (используется процедура «фрагментация») таким образом, чтобы краевая часть этих участков включала узкую полосу (4-5 км) базовой площади.

Третий шаг. В пределах массивов вырезанных фрагментов осуществляется сглаживание магнитного поля по «скользящей» круговой палетке диаметром 2 или 3 км в зависимости от сложности поля.

Четвертый шаг. Процедура «вклеить» в имеющемся у автора варианте ГИС Интегро к сожалению не предусмотрена. Поэтому ранее вырезанные фрагменты с результатами сглаживания приходится возвращать в сводный массив, раскрывая непосредственно всю матрицу сводного массива и выполняя операции «копировать – вклеить». Учитывая вмешательство в матрицу сводного массива на последнем этапе, выполнено сглаживание по круговой палетке диаметром 2 км для всей площади исследований. Так как межпрофильное расстояние для съемки 2011 г. составляет 0,5 км, то это достаточно щадящее сглаживание.

Формирование сводной карты поля силы тяжести осуществлялось по аналогии с картой магнитного поля.

Выбор параметров преобразования исходных аномалий на компоненты

Вопрос о корректировке модели подразделения гравитационного и магнитного полей на составляющие связан, прежде всего, с существенным изменением в целом структуры исходных полей, что обусловлено включением в пределы исследуемого региона площадей на западе и северо-западе исследуемой площади. Это не столь значительное изменение площадных размеров существенно сказалось на изменении общей структуры аномальных полей, в пределах принятых границ исследуемой площади. Так на карте локальных аномалий силы тяжести заметно увеличился участок, в пределах которого развиты линейные аномалии субширотной ориентировки. На картах магнитного поля повысился процент площадей с преобладанием объектов, которые сопровождаются высокоинтенсивными аномалиями. Последние связаны не только с интрузивными образованиями в составе осадочной толщи [Granovsky, 2018], но и с магматическими породами неглубоко погруженного кристаллического фундамента в пределах склонов Донецкого прогиба, а также в пределах погруженного северного продолжения (Еланчинский горст) Приазовского блока Украинского кристаллического массива [Бакаржиева, 2016].

В связи с отсутствием данных о физических свойствах геологических образований судить о природе магнитных аномалий и аномалий силы тяжести приходится только по фактам пространственного совпадения их с геологическими образованиями. Однако большая часть объектов, сопровождающихся аномалиями, не выходит на поверхность. Причины указанного нередко связаны не только с глубиной эрозии в различных структурных районах региона, но также и с широким распространением надвиговых дислокаций [Рорков, 2009; Тектоника..., 2009], которые маскируют выходы на поверхность объектов с повышенной намагниченностью.

Упомянутые выше различия структуры аномальных полей западных и восточных площадей региона не требуют изменения ранее принимаемой нами трехуровневой модели гравимагнитных аномалиеобразующих объектов анализируемого геологического пространства [Давыденко и др., 2019]. Нижний из этих уровней – это глубинные образования, связываемые, в основном, с глубокими горизонтами фундамента. Комплекс магнитовозмущающих объектов и плотностных неоднород-

ностей в составе осадочной толщи и верхних горизонтов фундамента рассматриваем как среднеглубинные аномалиеобразующие объекты. Геолого-геофизические неоднородности приповерхностных горизонтов литосферы соответствуют третьему (верхнему) уровню.

С каждым из этих элементов геологического пространства сопоставляются соответствующие компоненты аномального поля, именуемые в дальнейшем как фоновая составляющая, остаточные и локальные аномалии. Выделение третьего уровня с одной стороны условно, а с другой очень важно. Фактически компонента остаточных аномалий обусловлена совокупностью всех объектов, расположенных выше условного «глубинного» уровня. Она включает в том числе и аномальный эффект от приповерхностных горизонтов. Однако в интенсивности аномалий остаточной компоненты все же большая доля обусловлена глубокими горизонтами изучаемого геологического пространства, а не малоглубинными объектами. Важность выделения локальной компоненты связана именно с тем обстоятельством, что эта составляющая характеризует физические неоднородности той части геологического пространства, для которой мы различными способами получаем информацию о вещественном составе и структуре геологического разреза. При проведении производственных работ чаще всего используют двухуровневую модель разделения на компоненты (фон и остаточные аномалии).

Подразделение исходных полей на составляющие компоненты проведено с использованием методов математического преобразования исходных данных. Обработка осуществлялась с использованием программного комплекса ГИС ИНТЕГРО. Подбор размеров используемой палетки («скользящего окна») осуществлялся по результатам анализа материалов, получаемых при последовательном изменении входных данных. Задача оценки информативности преобразования комплекса исходных данных решалась с привлечением технологии статистического зондирования геополей COSCAD 3D [Петров и др., 2000, 2010], а также технологии решения обратной задачи гравиразведки и магниторазведки [Приезжаев, 2010]. Окончательно принятые параметры преобразований приведены при описании полученных результатов.

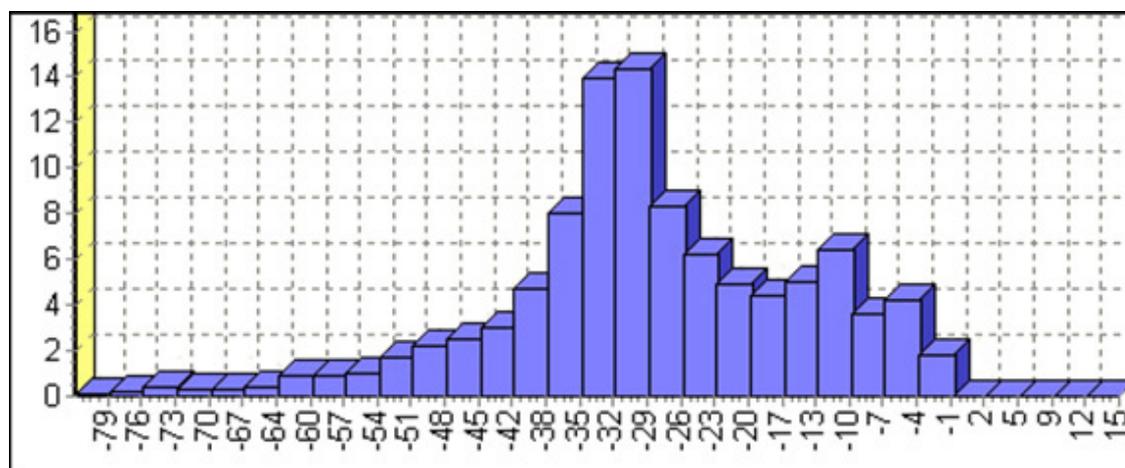
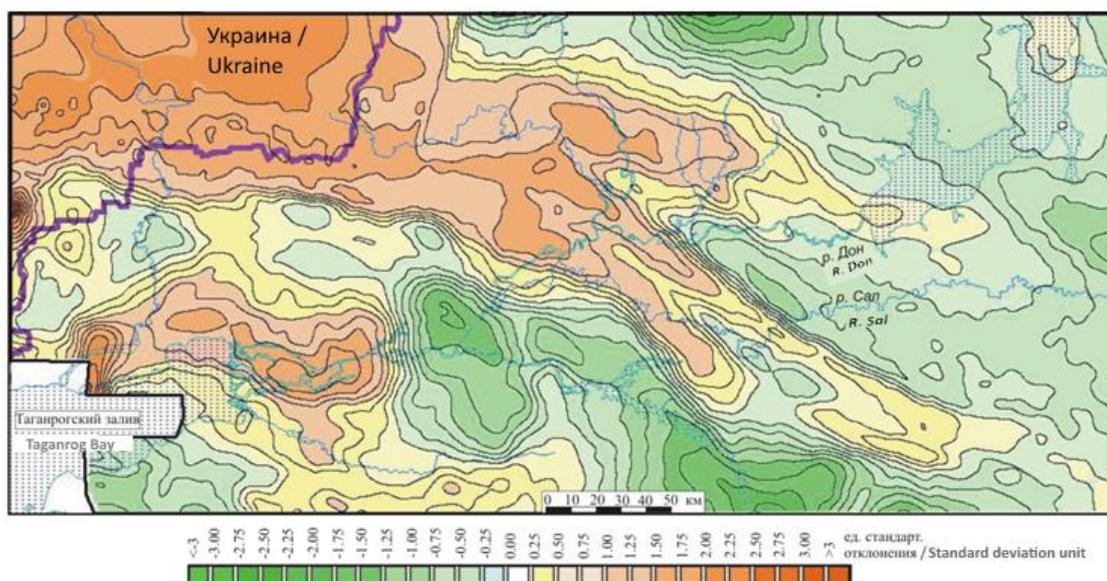


Рис. 2. Гистограмма значений поля силы тяжести (уровень условный) /
Fig. 2. Histogram of gravity field values (conditional level)



*Рис. 3. Карта изолиний поля Δg (уровень условный) /
Fig. 3. Map of the isolines of the field Δg (conditional level)*

Разделение поля силы тяжести на составляющие компоненты

Аномальные значения гравитационного поля (уровень условный) характеризуются широкой амплитудой изменений, которая составляет почти 100 мГл. Это следует из данных, представленных на рисунке 2. Относительно широкий максимум частоты встречаемости позволяет отметить преобладание на площади аномалий поля Δg малой и средней интенсивности. Карта изолиний поля силы тяжести представлена на рисунке 3.

В целом площадям Донецкого кряжа соответствуют повышенные значения Δg . Самые высокие значения аномалий характерны для северо-западной части площади, где осевая зона авлакогена совпадает с глубинным объектом (в фундаменте) повышенной плотности. Относительно широкое распространение отрицательных аномалий Δg в пределах исследуемой площади связано с увеличением мощности рыхлых отложений в Тузлов-Маньчском прогибе на юге и Тормосинском прогибе на севере.

На рисунке 4 представлена гистограмма значений остаточных аномалий поля силы тяжести. Наличие двух максимумов вариационной кривой обусловлено распространением в регионе крупных объектов двух типов – впадин (отображается на гистограмме в виде менее интенсивных значений) и положительных форм (соответствуют более интенсивным значениям остаточных аномалий).

Выбирая вариант выделения фоновой компоненты ранее для решения этой задачи была принята квадратная палетка (скользящая) со стороной 190 км. Фоновое значение рассчитывалось для центральной точки этой площадки как результат аппроксимации исходного поля Δg полиномом первого порядка. Сопоставление полученных ранее результатов с картой изолиний исходных аномалий в пределах нового контура (рис. 3) показало целесообразность подчеркнуть общую симметрию авлакогена, заменив полином первой степени полиномом второй степени. Изолинии рассчитанного подобным образом фона показаны на карте остаточных аномалий

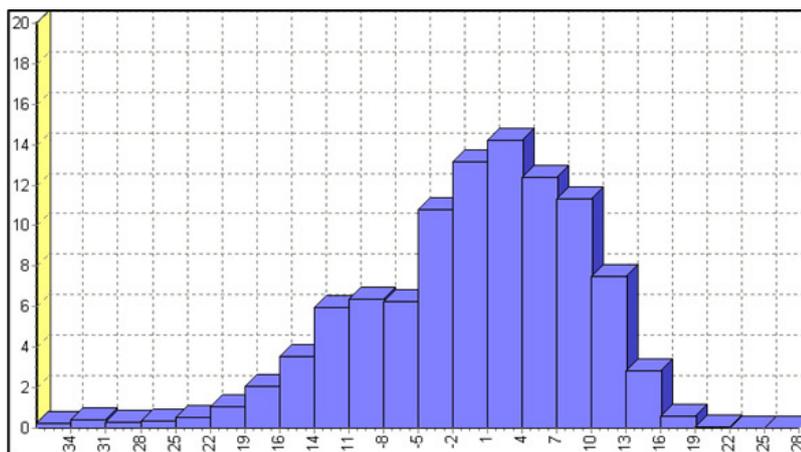


Рис. 4. Гистограмма значений остаточных аномалий поля силы тяжести (уровень условный) / Fig. 4. Histogram of the values of the residual anomalies of the gravity field (conditional level)

поля силы тяжести (рис. 5). В целом изолинии полученной фоновой компоненты как бы оконтуривают объект эллипсоидальной формы. При этом эпицентральная часть эллипса примерно соответствует Ровенецкому поднятию, которое является самой приподнятой структурой Донецкого складчатого сооружения.

Указанное можно рассматривать как отображение в фоновой компоненте анализируемого региона структурно-вещественного объекта первого порядка – Донецкого кряжа, что соответствует представлениям [Saintot, 2003; Bush et al., 2008] и, соответственно, как подтверждение правильности выбранной схемы определения фона.

Остаточные аномалии поля силы тяжести региона связаны с глубинными фрагментами структурно-вещественных образований второго порядка. Основными из них являются протяженные положительные аномалии, соответствующие глубоким горизонтам трех крупных линейных складок Донецкого кряжа, а также крупная по

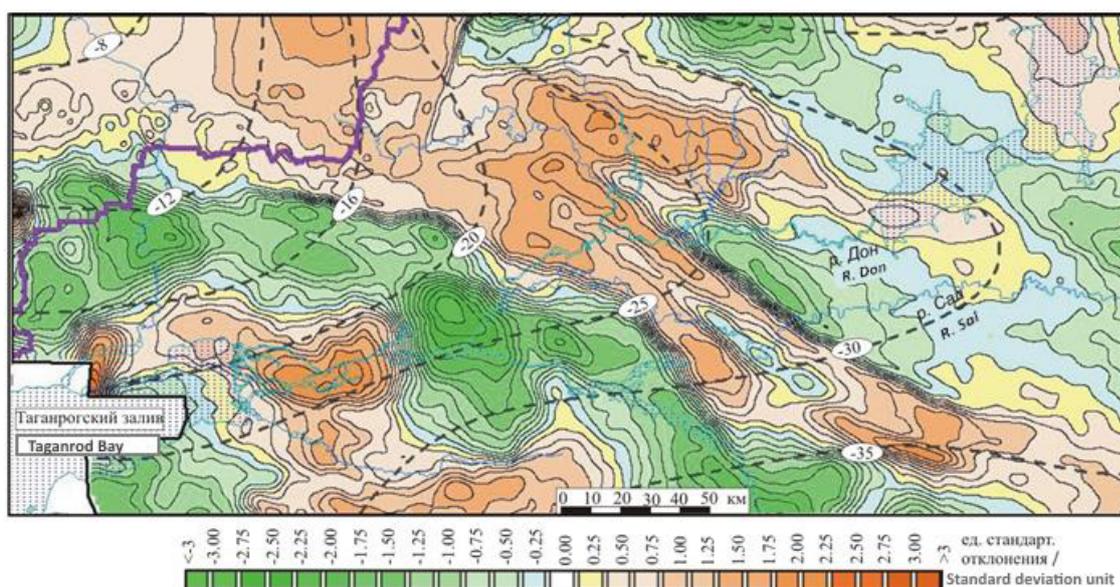


Рис. 5. Карта изолиний остаточной компоненты поля Δg (уровень значений условный) / Fig. 5. Map of the isolines of the residual component of the field Δg (the level of values is conditional)

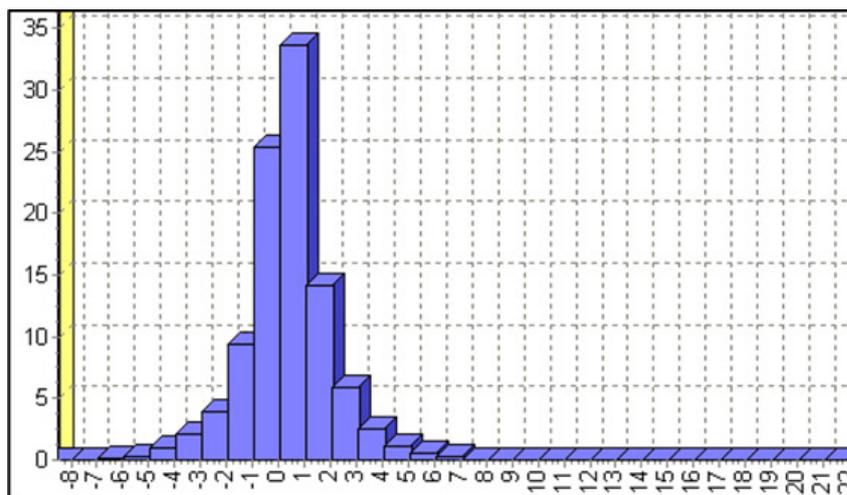


Рис. 6. Гистограмма значений локальных аномалий поля силы тяжести (уровень условный) /
Fig. 6. Histogram of values of local anomalies of the gravity field (conditional level)

площадным размерам положительная аномалия, обусловленная плотностной неоднородностью фундамента (расположена на северном крыле Ровенецкого поднятия).

На рисунке 6 приведена гистограмма значений локальных аномалий поля Δg .

Амплитуда изменения величин этого параметра в подавляющем большинстве случаев соответствует интервалу от -5 до 5 мГл, хотя значения некоторых аномалий превышают 20 мГл. Подобные аномалии связаны с объектами кристаллического фундамента. Минимальные величины достигают -10 мГл и обусловлены глубокими впадинами мезозойского возраста.

Для оценки величин локальных аномалий опробованы 4 варианта их определения. Во всех этих случаях они рассчитывались как разность между средним значением по круговой площадке и величиной остаточной аномалии для этой точки. При этом расчеты были выполнены для площадок с диаметрами 10 , 20 , 30 и 40 км. Полученные результаты показали, что в варианте 20 км более четко, чем в других случаях, отображаются в структуре аномального поля региональные элементы анализируемой площади – 3 линейные антиклинали (Южная, Главная и Северная).

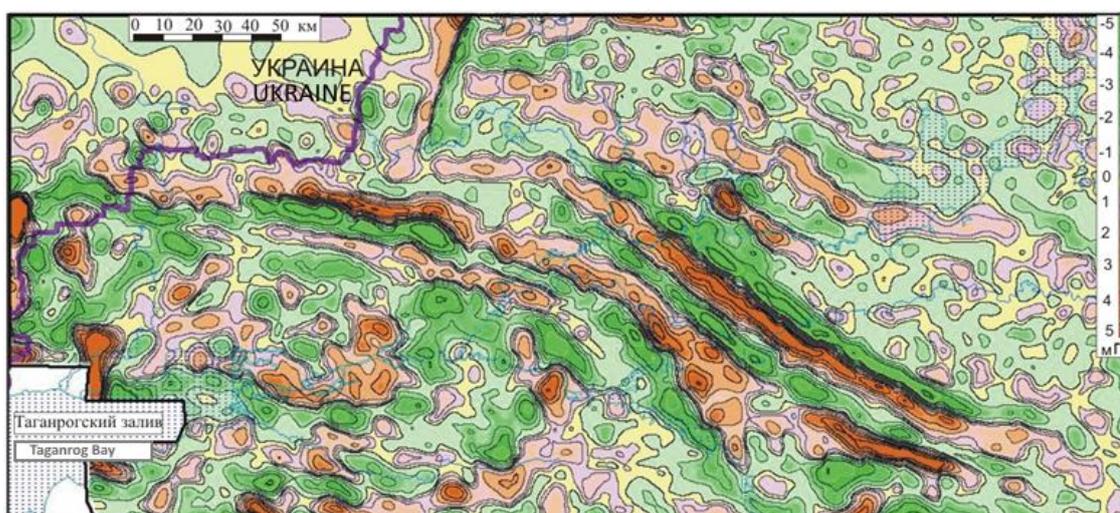


Рис. 7. Карта изолиний локальной компоненты поля Δg (уровень значений условный) /
Fig. 7. Isoline map of the local component of the field Δg (conditional value level)

Указанное четко отображается на карте локальных аномалий (рис. 7). При четкой структурной выраженности этих объектов интенсивности аномалий в их пределах изменяются в достаточно широком интервале (от 0,5 мГл до 4,5 мГл). Высокие значения рассматриваемого параметра до 4,5 мГл характерны для Главной антиклинали на юго-востоке и в немалой мере для Южной для отдельных отрезков на всем протяжении. Наименьшие значения соответствуют Главной антиклинали на участке вблизи площадей Ровенецкого поднятия и, особенно, в пределах последнего (до 0,5 мГл). Вторая Южная антиклиналь, в значительной мере перекрытая мезозойскими отложениями и практически граничащая с контуром Ростовского свода, в целом слабо изучена в геологическом отношении.

Разделение магнитного поля на составляющие компоненты

Интенсивность исходных значений магнитного поля в пределах исследуемых площадей изменяется в интервале от -350 нТл до 1330 нТл, что демонстрируется на рисунке 8. Широкое развитие отрицательных значений магнитного поля связано с пониженными значениями фоновой компоненты в пределах площадей авлакогена и составляет порядка -160 нТл.

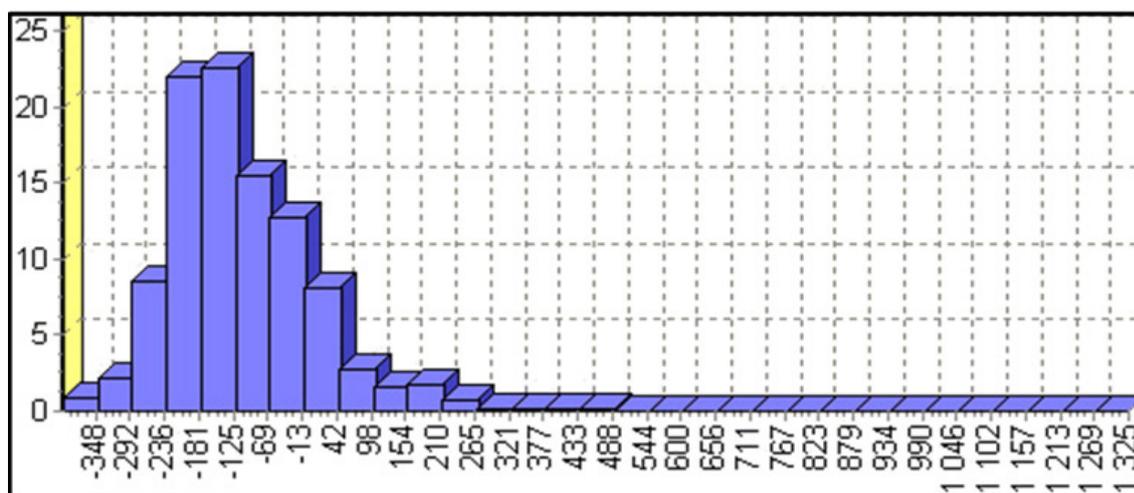
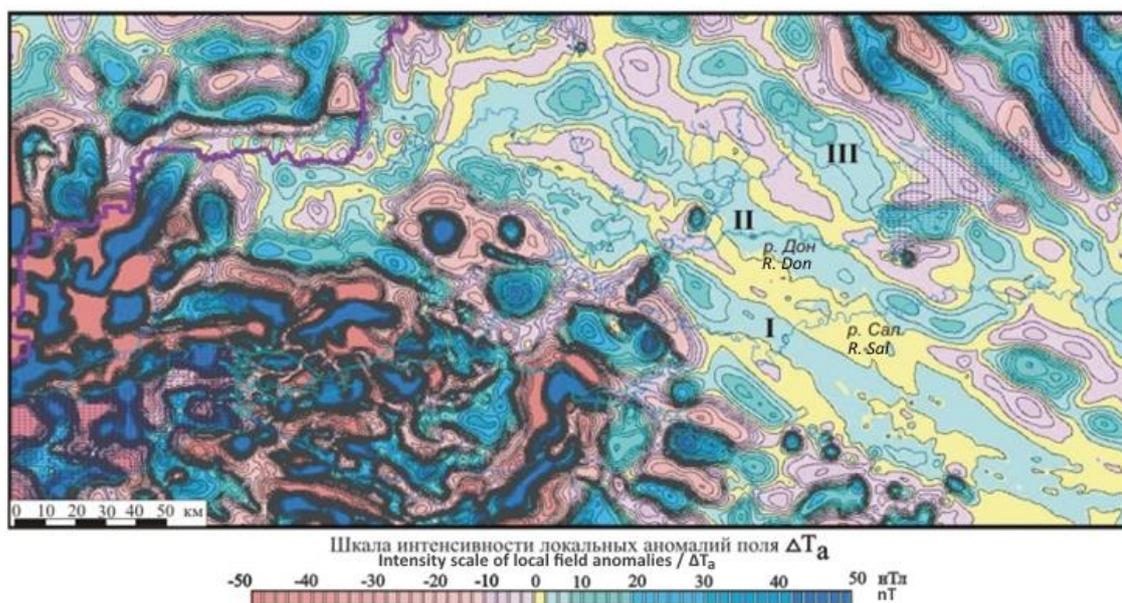


Рис. 8. Гистограмма значений поля ΔTa (значения приведены в нТл) /
Fig. 8. Histogram of the values of the field ΔTa (the values are given in nTl)

При выделении локальных аномалий магнитного поля для исследуемого региона важную роль сыграла оптимизация выбора всей линейки параметров преобразования исходной информации. В результате этих преобразований впервые для площадей Донецкого кряжа выделены и прослежены линейные зоны слабоинтенсивных положительных аномалий (рис. 9).

Две из этих зон в целом совпадают с Главной и Северной линейными антиклиналями. Возможно, и Южной антиклинали также соответствует подобная аномальная зона, но она полностью маскируется группой интенсивных магнитных аномалий над комплексом магматических образований, сконцентрированных вдоль этой складки и Персияновского разлома. Упомянутые антиклинали приурочены к крупным разломным системам, они сопровождаются гидротермально-метасоматическими преобразованиями осадочных пород, а также, увеличением намагниченности образований вещественно-структурных комплексов, сформированных в приразломных зонах, что и является причинами повышений магнитного поля. В связи



*Рис. 9. Карта изолиний локальных аномалий поля ΔT_a /
Fig. 9. Map of isolines of local anomalies of the field ΔT_a*

с указанным, обнаруженные протяженные магнитные аномалии линейной формы именуем также как и линейные антиклинали на рисунке 9: I – Главная, II – Северная и III – Алмазная. Последняя названа в соответствии с глубинным разломом, к которому она тяготеет.

Следует отдельно отметить возможность формирования Северной зоны в результате совместного влияния разлома, соответствующего Северной антиклинали, а также сближенного с ним разлома, связанного с Северной линейной антиклинальной зоной мелких складок. Площадное распространение выявленных ранее золоторудных и полиметаллических проявлений в существенной мере контролируется вновь обнаруженными зонами слабоинтенсивных магнитных аномалий. Указанное позволяет прогнозировать высокую значимость выделяемых линейных зон как критериев для решения задач минерагенического районирования площадей исследуемого региона.

Заключение

1. Разработана технология, обеспечивающая составление сводных карт потенциальных полей с использованием материалов разновысотных аэро съемок на основе отечественной геоинформационной системы ГИС Интегро. Она включает четыре стадии: 1 – вставка и состыковка разновысотных карт в ГИС Интегро; 2 – вырезка узкой полосы состыкованной части карты; 3 – сглаживание данных до достижения приемлемого результата; 4 – усаживание сглаженного фрагмента в карту.

2. Расширение анализируемой площади способствовало оптимизации процедур подразделения исходных полей на составляющие компоненты. Так при определении фоновой компоненты стало возможным использовать вычисление параметров в пределах скользящей площадки методом аппроксимации исходных аномалий полиномом второй степени. Это позволило осуществить более высокую адаптацию модели фоновой компоненты к структуре Донецкого складчатого сооружения.

3. При выделении локальных аномалий магнитного поля для исследуемого региона важную роль сыграла оптимизация выбора всей линейки параметров преобразований исходной информации. В результате впервые для площади Донецкого складчатого сооружения выделены и прослежены линейные зоны слабоинтенсивных положительных магнитных аномалий. Две из этих аномалий в целом совпадают с протяженными Главной и Северной антиклинальными зонами. Предполагается, что и Южной антиклинальной зоне также соответствует подобная магнитная аномалия, но она полностью маскируется группой интенсивных магнитных аномалий над комплексом магматических образований, сконцентрированных вдоль этой складки.

4. Упомянутые магнитные аномалии связаны с крупным разломными системами, приуроченными к осевым поверхностям названных антиклиналей. Они сопровождаются гидротермально-метасоматическими преобразованиями осадочных пород, а также, увеличением намагниченности образований вещественно-структурных комплексов, сформированных в приразломных зонах, что и является причинами повышений магнитного поля.

5. Площадное распространение выявленных ранее золоторудных и полиметаллических проявлений в существенной мере контролируется вновь обнаруженными зонами слабоинтенсивных магнитных аномалий. Это позволяет придать высокую значимость выделяемых линейных аномальных зон как критериев для решения задач минерагенического районирования исследуемого региона.

Литература

1. Агеев С. Н., Лёвин Ф. Д. Элементы глубинного строения Юга Восточно-Европейской платформы по аэрогравиметрическим данным. // Разведка и охрана недр. – 2015. – № 12. – С. 64-67.
2. Бакаржиева М. И., Марченко А. В., Розыган Т. В., Гадяцкая Е. П., Друкаренко В. В. Магнитное поле и дайковые пояса Восточно-Приазовского блока Украинского щита. // Геофизический журнал. – 2016. – Т. 38. № 2. – С. 19-34.
3. Галуев В. И., Каплан С. А., Черемисина Е. Н., Малинина С. С. Методика выделения опорных глубинных границ изменения физических свойств для решения задач интегрирования геоинформации при региональных геофизических исследованиях. // Геоинформатика. – 2004. – № 1. – С. 18-20.
4. Галуев В. И., Черемисина Е. Н., Малинина С. С. Функциональное обеспечение унифицированной системы обработки и интерпретации геолого-геофизических данных на региональных профилях // Геоинформатика. – 2001. – № 1. – С. 19-24.
5. Гринь Д. М. Розломно-блокова будова межі Мохо під центральною частиною Донецької складчастої споруди (за лінією сейсмічного профілю DOBReflection2000). // Геофизический журнал. – 2020. – Т. 42. № 5. – С. 193-204.
6. Давыденко Д. Б. ГИС ИНТЕГРО в комплексе работ по ГДП-200 при прогнозировании рудоносности площадей Восточного Донбасса. // Геоинформатика. – 2006. – № 2. – С. 29-38.
7. Давыденко Д. Б., Парада С. Г. Геолого-геофизические признаки полигенно-полихронной природы золоторудных проявлений Донецкого Авлакогена. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 4. – С. 13-27.
8. Лёвин Ф. Д., Буш В. А., Павлов С. А., Могилевский В. Е. Современная активность глубинных тектонических границ земной коры. // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 7. – С. 60-64.

9. Парада С.Г. Перспективные типы месторождений и рудопоявлений золота Юга России. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2017. – № 1. – С. 57-72.
10. Петров А.В., Трусов А.Н. Компьютерная технология статистического и спектрально-корреляционного анализа трёхмерной геоинформации КОСКАД 3D. // *Геофизика*. – 2000. – № 4. – С. 29-33.
11. Петров А.В., Юдин Д.Б., Сюели Хоу. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D». // *Вестник КРАУНЦ. Сер. Науки о Земле*. – 2010. – № 2. Вып. 16. – С. 125-132.
12. Приезжаев И.И. Уточнение геологической модели по данным гравитационного поля на основе критериальных методов решения обратных задач. // *Геофизика*. – 2010. – № 1. – С. 65-68.
13. Тектоника южного обрамления Восточно-Европейской платформы (Объяснительная записка к тектонической карте Черноморско-Каспийского региона. Масштаб 1: 2500000). / под ред. В.Е. Хаина, В.И. Попкова. – Краснодар: Кубанский государственный университет, 2009. – 213 с.
14. Трошенко В.В. О сдвиговой деформации Донецкого складчатого сооружения. // *Труды РАНМИ*. – 2019. – № 8-2 (23). – С. 128-131.
15. Bush V.A., Kaz'min V.G. Crystalline basement and fold complex of the Volga-Ural, Pericaspian, and Fore-Caucasus petroliferous basins. // *Geotectonics*. 2008. – Vol. 42. No. 5. – pp. 396-409.
16. Bush V.A. The deep structure of The Scythian plate basement. // *Geotectonics*. – 2014. – Vol. 48. No. 6. – pp. 413-426.
17. Granovsky A.G. Magmatism and stages of the tectonic evolution in the Donets folded structure, Eastern Donets basin. // *Geotectonics*. – 2018. – Vol. 52. No. 4. – pp. 485-498.
18. Lobkovsky L.I., Tikhonova N.F., Kaz'min V.G. Position of the Southern marginal suture of the East European craton. // *Doklady Earth Sciences*. – 2011. – Vol. 437. No. 2. – pp. 340-342.
19. Maystrenko Yu., Stovba S., Tolkunov A., Stephenson R., Saintot A., Bayer U., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Starostenko V., Thybo H. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas Fold Belt, Ukraine. // *Geology*. – 2003. – Vol. 31. No. 8. – pp. 733-736.
20. Popkov V.I. Fold-thrust dislocations in sedimentary cover of the sea of Azov. // *Geotectonics*. – 2009. – Vol. 43. No. 4. – pp. 324-332.
21. Saintot A., Stephenson R., Stovba S., Maistrenko Yu. Structures associated with inversion in the Donbass fold belt (Ukraine and Russia). // *Tectonophysics*. – 2003. – Vol. 373. – pp. 181-207.

References

1. Ageev S.N., Levin F.D. Elements of the deep structure of the South of the East European platform according to airborne gravimetric data. Exploration and protection of mineral resources. 2015. No. 12. pp. 64-67. (In Russ.)
2. Bakarzhieva M.I., Marchenko A.V., Rozygan T.V., Gadyatskaya E.P., Drukarenko V.V. Magnetic field and dike belts of the East Priazovsky block of the Ukrainian shield. *Geophysical journal*. 2016. Vol. 38. No. 2. pp. 19-34. (In Russ.)
3. Galuev V.I., Kaplan S.A., Cheremisina E.N., Malinina S.S. A technique for identifying the reference depth boundaries of changes in physical properties for solving problems of integrating geoinformation in regional geophysical research. *Geoinformatics*. 2004. No. 1. S. 18-20. (In Russ.)
4. Galuev V.I., Cheremisina E.N., Malinina S.S. Functional support of a unified system for processing and interpreting geological and geophysical data on regional profiles. *Geoinformatics*. 2001. No. 1. pp. 19-24. (In Russ.)

5. Grin' D.M. Fault-block structure of the Moho boundary under the central part of the Donetsk folded structure (along the seismic profile line DOBRE reflection 2000). *Geophysical journal*. – 2020. Vol. 42. No. 5. pp. 193-204. (In Ukr.)
6. Davydenko D.B. GIS INTEGRO in the complex of works on GDP-200 for forecasting the ore content of the areas of the Eastern Donbass. *Geoinformatics*. 2006. No. 2. pp. 29-38. (In Russ.)
7. Davydenko D.B., Parada S.G. Geological and geophysical signs of the polygenic-polychronous nature of the gold ore occurrences of the Donetsk Avlakogen. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. Vol. 9. No. 4. pp. 13-27. (In Russ.)
8. Levin F.D., Bush V.A., Pavlov S.A., Mogilevskii V.E. Modern activity of deep tectonic boundaries of the Earth's crust. *Exploration and protection of mineral resources*. 2011. No. 7. pp. 60-64. (In Russ.)
9. Parada S.G. Prospective types of deposits and ore occurrences of gold in the South of Russia. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2017. No. 1. pp. 57-72. (In Russ.)
10. Petrov A.V., Trusov A.N. Computer technology of statistical and spectral-correlation analysis of three-dimensional geoinformation KOSKAD 3D. *Geophysics*. 2000. No. 4. pp. 29-33. (In Russ.)
11. Petrov A.V., Yudin D.B., SyueliKhou. Processing and interpretation of geophysical data by methods of a probabilistic-statistical approach using computer technology "KOSKAD 3D". *Bulletin KRAUNZ. Ser. Earth Sciences*. 2010. No. 2. Issue 16. pp. 125-132. (In Russ.)
12. Priezzhaev I.I. Refinement of the geological model according to gravity data based on criterial methods for solving inverse problems. *Geophysics*. 2010. No. 1. pp. 65-68. (In Russ.)
13. Tectonics of the southern framing of the East European platform (Explan at orynote to the tectonic map of the Black Sea-Caspian region. Scale 1: 2,500,000). ed. V.E. Khain, V.I. Popkova. *Kuban State University. Krasnodar*, 2009. 213 p. (In Russ.)
14. Troshchenko V.V. On the shear deformation of the Donetsk folded structure. In: *Proceedings of the RANIMI*. 2019. No. 8-2 (23). pp. 128-131. (In Russ.)
15. Bush V.A., Kaz'min V.G. Crystalline basement and fold complex of the Volga-Ural, Pericaspian, and Fore-Caucasus petroliferous basins. *Geotectonics*. 2008. Vol. 42. No. 5. pp. 396-409.
16. Bush V.A. The deep structure of the Scythian plate basement. *Geotectonics*. 2014. Vol. 48. No. 6. pp. 413-426.
17. Granovsky A.G. Magmatism and stages of the tectonic evolution in the Donetsk folded structure, Eastern Donetsk basin. *Geotectonics*. 2018. Vol. 52. No. 4. pp. 485-498.
18. Lobkovsky L.I., Tikhonova N.F., Kaz'min V.G. Position of the Southern marginal suture of the East European craton. *Doklady Earth Sciences*. 2011. Vol. 437. No. 2. pp. 340-342.
19. Maystrenko Yu., Stovba S., Tolkunov A., Stephenson R., Saintot A., Bayer U., Menyoli E., Gajewski D., Huebscher C., Rabbel W., Starostenko V., Thybo H. Crustal-scale pop-up structure in cratonic lithosphere: DOBRE deep seismic reflection study of the Donbas Fold Belt, Ukraine. *Geology*. 2003. Vol. 31. No. 8. pp. 733-736.
20. Popkov V.I. Fold-thrust dislocations in sedimentary cover of the sea of Azov. *Geotectonics*. 2009. Vol. 43. No. 4. pp. 324-332.
21. Saintot A., Stephenson R., Stovba S., Maistrenko Yu. Structures associated with inversion in the Donbass fold belt (Ukraine and Russia). *Tectonophysics*. 2003. Vol. 373. pp. 181-207.

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 552.47+551.243.4 (470.621)

DOI: [10.46698/VNC.2021.91.98.004](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.91.98.004)

Оригинальная статья

Минеральный состав серпентинитов Кишинского массива (Большой Кавказ)

Ю. В. Попов¹, О. Е. Пустовит², А. Ю. Никулин¹¹Южный федеральный университет, Россия, 344103,
г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 40, e-mail: popov@sfnu.ru;²ООО «ГеоБазисПроект», Россия, 344018, г. Ростов-на-Дону,
ул. Текучева, д. 246, офис 39.

Статья поступила: 01.02.2021, доработана: 18.02.2021, одобрена в печать: 25.02.2021

Резюме: Актуальность работы. Ряд ключевых вопросов геологии серпентинитовых массивов Большого Кавказа остается дискуссионным. К их числу относятся формационная принадлежность и геодинамическая типизация протолита апогипербазитов. Необходимым фактическим материалом для обсуждения этих вопросов служат сведения о минеральном составе. Объектом исследований являются серпентиниты Кишинского массива, залегающего в основании Кизилкольского тектонического покрова в зоне Передового хребта Большого Кавказа. **Цель работы** – получение данных о минеральном составе серпентинитов Кишинского массива, анализ особенностей состава зональных хромшпинелидов, получение данных об условиях формирования и преобразования апогипербазитов. **Методы исследования.** Рентгенофазовый анализ, электронно-зондовый микроанализ и электронная микроскопия, статистический анализ результатов измерений. **Результаты работы.** Изучаемые серпентиниты интенсивно дислоцированы. В целом они имеют хризотил-антигоритовый состав. В составе «тектонических окатышей» внутренние части сложены антигоритовыми (с небольшим количеством хризотила) с бруситом разновидностями, внешние части – хризотил-антигоритовыми с клинохлором. По разломам отмечается гидротермальное оталькование, окварцевание и карбонатизация. В серпентинитах присутствуют зональные хромшпинелиды, ядерные части которых представлены алюмохромитом с реликтами хромпикотита, каймы – феррихромитом – хроммагнетитом; локально отмечаются тонкие оторочки магнетита. Метасоматические замещения в хромшпинелидах сопровождались привнесением Fe (замещавшего как двух-, так и трехвалентные катионы), Mn, Ni и выносом Mg, Al, Cr, V. Преобразования пород происходили в условиях высокотемпературной зоны зеленосланцевой фации с участием восстановительных флюидов при относительно пониженном отношении флюид/порода. Для ядер значения Cr# составляют ~0,5-0,7, Mg# ~0,4-0,6, что отвечает области составов первичных магматических шпинелей. Судя по составу хромшпинелидов, апогипербазиты связаны с офиолитовой ассоциацией и близки ультрамафитам островодужных обстановок, в том числе серпентинитовым диапирам фронтальных частей островных дуг. При сравнении с серпентинитами расположенного севернее Даховского выступа устанавливается формационное сходство – принадлежность к офиолитам, но в то же время проявляется отличие Р-Т параметров условий метаморфических трансформаций.

Ключевые слова: Кишинский массив, серпентинитовый меланж, серпентинит, хромшпинелиды, минеральный состав.

Для цитирования: Попов Ю. В., Пустовит О. Е., Никулин А. Ю. Минеральный состав серпентинитов Кишинского массива (Большой Кавказ). *Геология и Геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 38 – 51. DOI: 10.46698/VNC.2021.91.98.004.

DOI: [10.46698/VNC.2021.91.98.004](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.91.98.004)

Original paper

Mineral composition of serpentinites of the Kishinskij protrusion (Greater Caucasus)

Yu. V. Popov¹, O. E. Pustovit², A. Yu. Nikulin¹

¹Southern Federal University, 40 R. Zorge Str., Rostov-on-Don 344090,
Russian Federation, e-mail: popov@sfnu.ru;

²GeoBasisProect Ltd, 139 building B, office 7, Tekucheva Str.,
Rostov-on-Don 344018, Russian Federation

Received: 01.02.2021, revised: 18.02.2021, accepted: 25.02.2021

Abstract: Relevance. Several key issues in the geology of the serpentinite massifs of the Greater Caucasus remain debatable. These include formational and geodynamic typing the protolith of apohyperbasites. The necessary factual material for discussing these issues is information about the mineral composition. The object of research is the serpentinites of the Kishinsky massif, which lies at the base of the Kizilkol tectonic cover in the zone of the Peredovoy Range of the Greater Caucasus. **The aim** of this study was to gather data on serpentinites of Kishinsky massif mineral composition; characteristics analysis of the zonal composition of chromespinelides; to obtain data on the formation conditions and transformation of apohyperbasites. **Methods.** X-ray phase analysis, electron microprobe analysis and electron microscopy, statistical analysis of measured results. **Results.** The studied serpentinites are intensively dislocated. Generally, they are of chrysotile-antigorite composition. As part of the “tectonic pellets”, the inner parts are composed of antigorite (with a small amount of chrysotile) and brucite varieties, the outer parts are chrysotile – antigorite with clinocllore. Presence of hydrothermal talcose, silicification and carbonatization is noted in the observed faults. There are zonal chromespinelides in serpentinites where nuclear part is represented by chromohercynite with relics of chromepicotite; the edges – ferrochromium and chromemagnetite; locally observed thin rims of magnetite. Metasomatic substitutions in chromespinelides were accompanied by the addition of Fe (which replaced both di- and trivalent cations), Mn, Ni, and the removal of Mg, Al, Cr, and V. Rock transformations occurred in the high-temperature zone of the greenschist facies with reducing fluids at a relatively low fluid/rock ratio. The values of Cr# are ~0.5-0.7, Mg# ~0.4-0.6 for the cores which corresponds to the primary magmatic spinels composition area. Based on the composition of chromespinelides it is established the apohyperbasites are associated with the ophiolite’s association and close to ultramafic rocks of island-arc environments, including serpentinite diapires in the front parts of island arcs. A formational similarity is established – belonging to ophiolites, but there is a difference – in the P-T parameters of the conditions of metamorphic transformations when compared with serpentinites located to the north of the Dakhovsky shield.

Keywords: Kishinsky massif, serpentinite melange, serpentinite, chromespinelides, chrome spinels, mineral composition.

For citation: Popov Yu. V., Pustovit O. E., Nikulin A. Yu. Mineral composition of serpentinites of the Kishinskij protrusion (Greater Caucasus). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South* (In Russ.). 2021. 11 (1): 38 – 51. DOI: 10.46698/VNC.2021.91.98.004.

Введение

Апогипербазитовые массивы Большого Кавказа являются весьма сложным объектом исследования в силу утраты первичного минерального состава, залегания в форме тектонических пластин и слабой охарактеризованности результатами

прецизионных аналитических исследований. До настоящего времени нет единого мнения об их возрасте, формационной и геодинамической принадлежности. Взгляды на эти вопросы менялись в зависимости от господствовавших представлений о тектонической эволюции складчатой области. При геологическом картировании в 1950-70 гг. серпентиниты рассматривались как производные перидотитовой магмы

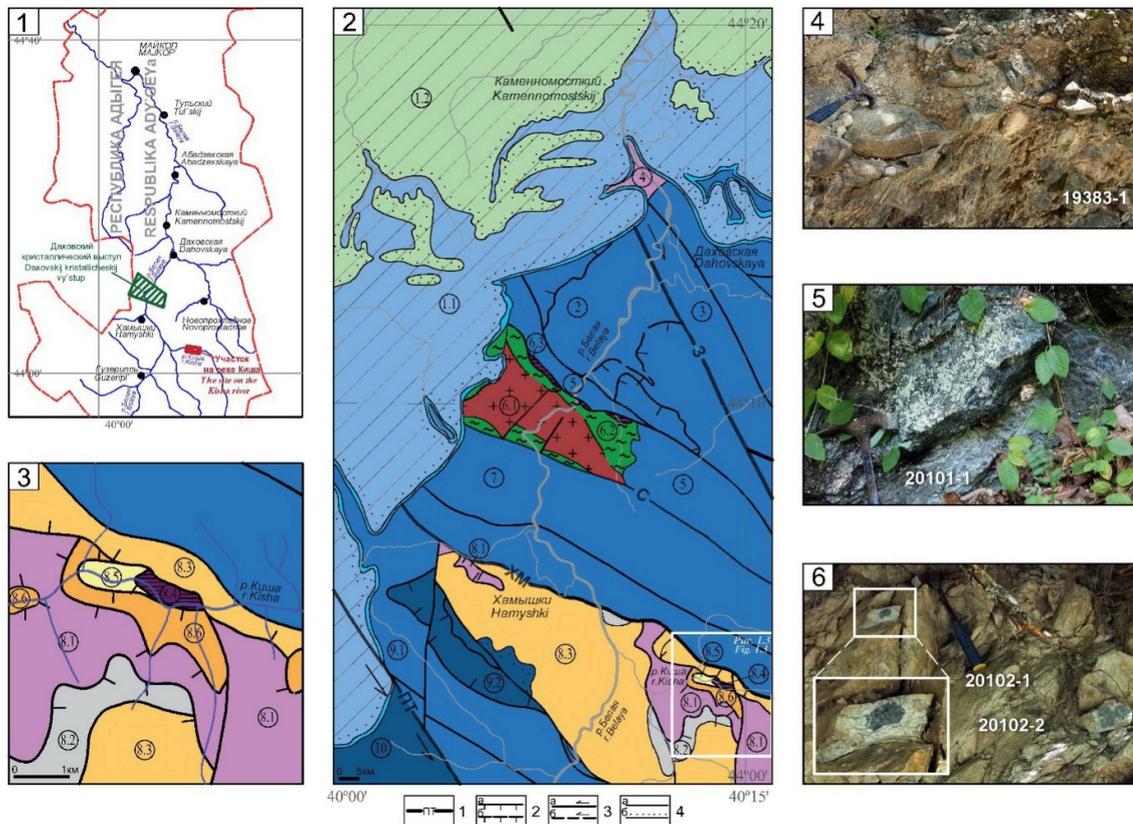


Рис. 1. Положение и геологическое строение территории: 1 – положение территории, 2 – геологическое строение западного окончания зоны Передового хребта; 3 – схема тектонического строения района Кишинского массива; 4 – контакт серпентинитов и пород Кизилкольского тектонического покрова; 5 – рассланцованные серпентиниты; 6 – «тектонические окатыши» серпентинитов (приустьевая часть р. Киша); указаны места отбора образцов для рентгенофазового анализа. Условные обозначения.: 1 – главные разрывные нарушения (ПТ – Пшекиш-Тырныаузский, ХМ – Хамышкинский, 3 – Заканский, С – Северный разломы); 2 – надвиги: а – достоверные, б – предполагаемые; 3 – сдвиги: а – достоверные, б – предполагаемые; 4 – границы структур: а – согласные, б – несогласные. **Геологические структуры, обозначенные на схеме:** 1 – Северо-Кавказская моноклираль: 1.1 – область развития келловей – верхнеюрских пород, 1.2 – область развития меловых пород; 2-7 – Лабино-Малкинская зона прерывистой складчатости: 2 – Догуакская покровно-складчатая зона (J_{1-2}), 3 – Сахрайская зона сдвигово-надвиговых дислокаций (J_{1-2}), 4 – Руфабгинский выступ (гранитоидный массив, PZ_{2-3} ; осадочный комплекс, Т); 5 – Даховская антиклиналь; 6 – Даховский выступ: 6.1 – гранитоидный массив (PZ_{2-3}), 6.2 – метаморфический балканский комплекс ($PR_2?$), 6.3 – серпентиниты апогипербазитовые ($PR_2?$); 7 – Дудугушская синклиналь; 8-9 – Пшекиш-Тырныаузская шовная зона: 8 – Пшекиш-Бамбакский блок: 8.1 – Ацгаринский тектонический покров (ацгаринский метаморфический комплекс, $PR_2?$), 8.2 – Кишинский параавтохтон, сероцветная моласса (C_3); 8.3 – Кишинский параавтохтон, красноцветная моласса (P_{1-2}); 8.4 – серпентиниты апогипербазитовые ($PR_2?$); 8.5 – метаморфический армовский комплекс ($PR_2?$); 8.6 – Кизилкольский тектонический покров (вулканогенно-осадочный комплекс (D_{2-3})); 9 – Архыз-Гузерикульская депрессия: 9.1 – Гузерикульская синклиналь (J_{1-2}), 9.2 – тектонический покров (J_1); 10 – складчато-глыбовое понятие Главного хребта, Псеаихинская депрессия (J_{1-2}) /

*Fig. 1. The location and geological structure of the territory: 1 – the position of the territory; 2 – geological structure of the western end of the Peredovoy Ridge zone; 3 – diagram of the tectonic structure of the Kishinskij protrusion region; 4 – contact of serpentinites and rocks of the Kizilkol tectonic cover; 5 – tectonically fractured serpentinites; 6 – fault breccia of serpentinites (the riverbed part of the river Kisha); the locations of sampling for X-ray phase analysis are indicated. Legend: 1- main faults (ПТ – Pschekish-Tyrnyauz, ХМ – Khamishninskiy, З – Zakanskiy, С – North faults); 2 – thrust-faults: а – veracious ones; б – estimated ones; 3 – strike-slip faults: а – veracious ones; б – estimated ones; 4 – structure boundaries: а – concordant; б – discordant. **Geological structures:** 1 – North Caucasian monocline: 1.1 – Callovian-Upper Jurassic rock development area; 1.2 – Cretaceous rock development area; 2-7 – Labino-Malkinsky intermittent folding zone: 2 – Doguakskaya integumentary folding zone; 3 – Sakhrayskaya shear-thrust dislocation zone; 4 – Rufabginskiy ledge (granitoid diastrophic block, PZ₂₋₃, sedimentary complex, T); 5 – Dakhovskaya anticline; 6 – Dakhovskiy ledge: 6.1 – granitoid diastrophic block (PZ₂₋₃); 6.2 – metamorphic series of Balkan complex (PR₂?), 6.3 – apogiperbasite serpentines (PR₂?); 7 – Dudugush syncline; 8-9 – Pschekish-Tyrnyauz suture area: 8 – Pschekish-Bambakskiy block: 8.1 – Azgara cover, 8.2 – Kishinskiy paraautochthone cover, gray molasses (C₃); 8.3 – Kishinskiy paraautochthone cover, red molasses (P₁₋₂); 8.4 – apogiperbasite serpentines (PR₂?); 9 – Arhyz-Guzeripl depression: 9.1 – Guzeriplsincline (J₁₋₂), 9.2 – tectonic cover (J₁); 10 – the folded-block elevation of the Main Ridge, Pseashikhinsk depression (J₁₋₂)*

и относились к продуктам среднепалеозойского магматизма [Михеев, Потапенко, 1973], либо в их составе выделялись ранне- и среднепалеозойские образования [Геология СССР..., 1968]. С развитием мобилистических представлений они стали рассматриваться как фрагменты тектонических меланжей и часть офиолитовой ассоциации [Баранов и др., 1980]. Данные К-Аг датирования [Лебедько, 1980] (весьма неоднозначные и нередко противоречащие полученным впоследствии более надежными методами данным [Somin et al., 2007]) «удревнили» возраст до позднего протерозоя, при этом все выходы были отнесены к единому беденскому комплексу, что нашло отражение на геологических картах 2000-х годов издания [Государственная геологическая карта..., 2004].

Выходы serpentinitов связаны преимущественно с тектонической зоной Передового хребта, где они локализованы в форме линз в зонах крупных разломов герцинского кристалликума, рассматриваемого как основание доверхнепалеозойского грабен-синклинория, либо образуют тектонические пластины разного размера, перекрытые верхнепалеозойскими или юрскими толщами.

Один из представительных выходов расположен в долине р. Киша в ~6,5 км от устья, где пластина serpentinitов залегает на границе блока кристалликума, сложенного метаморфическим армовским комплексом (PR₂), сложенным слюдяными гнейсами и сланцами, и Кизилкольского тектонического покрова, образованного девонским вулканогенно-осадочным комплексом (D₂₋₃) (рис. 1). Serpentinitы разлинованы (рис. 1.5) превращены в тектонические брекчии («тектонические окашши»), внутренние части которых сложены темно-серыми, внешние – зеленовато-серыми serpentinitами (рис. 1.6); по разломам наблюдается развитие кварц-карбонатных прожилков.

Методы исследований

Изучение микростроения и минерального состава serpentinitов выполнено методами электронно-зондовых исследований и рентгенофазового анализа. Электронно-зондовые исследования проведены на растровом электронном микроскопе Tescan VEGA II LMU, оснащенный системами энергодисперсионного микро-

анализа INCA ENERGY 450/XT и волнодисперсионного анализа INCA Wave 700 при ускоряющем напряжении 20 kV с использованием стандартов «Micro-Analysis Consultants Ltd.». Измерения выполнены с учетом методических рекомендаций, изложенных в работе [Reed, 2005]. Для хромшпинелидов проведен количественный анализ в точках и элементное картирование с целью выявления зональности.

Рентгенофазовый анализ выполнен на отражение с фокусировкой по Бреггу-Брентано на дифрактометре «ARLX'TRA», использующем кинематическую схему Θ - Θ с горизонтальным расположением плоского образца. Использовано характеристическое излучение медного анода (длины волн $\text{CuK}\alpha_1$ 1,5406 Å, $\text{CuK}\alpha_2$ 1,5444 Å). Фазовый анализ выполнен с помощью базы порошковых дифракционных данных PDF-2, выпуск 2006.

Расчет Fe^{3+} выполнен исходя из стехиометрических соображений согласно [Droop, 1987]. Учитывая малый объем выборки и отличия распределений величин от нормального, статистическая обработка результатов элементного анализа проведена методами непараметрической статистики.

Результаты

Кишинские серпентиниты сильно катаклазированы, имеют спутанноволокнистую или пластинчатую микроструктуру (рис. 3-1, 2). В целом имеют хризотил-антигоритовый состав. По данным рентгенофазового анализа внутренние области «тектонических окатышей» представлены антигоритовой с бруситом ассоциацией; внешние – хризотил-антигоритовой с хлоритом, близким к клинохлору (рис. 2); такой состав типичен для основной массы пород. По разломам развивается гидротермальное оталькование, окварцевание и карбонизация (рис. 3-3); наиболее масштабные эти процессы развиты вблизи тектонического контакта.

В составе серпентинитов присутствуют хромшпинелиды, обычно зональные. Характер зональности (рис. 3) отражает присутствие обогащенных алюминием

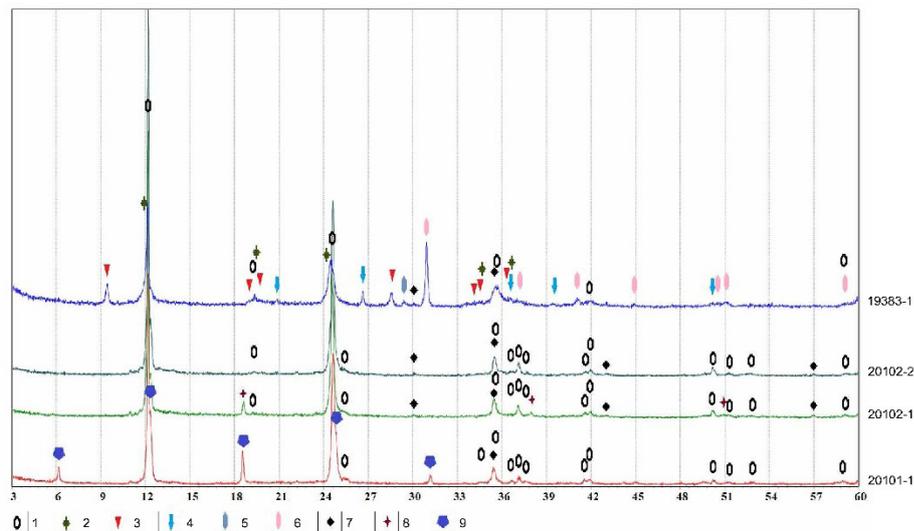


Рис. 2. Результаты рентгенофазового анализа. Положение образцов указано на рис. 1.4-1.6.

Указаны рефлексы фаз: 1 – антигорит; 2 – хризотил; 3 – тальк; 4 – кварц; 5 – кальцит; 6 – доломит; 7 – магнетит; 8 – брусит; 9 – клинохлор /

Fig. 2. Results of X-ray phase analysis. The position of the samples is shown in Fig. 1.4-1.6. Reflexes of phases are indicated: 1 – antigorite; 2 – chrysotile; 3 – talc; 4 – quartz; 5 – calcite; 6 – dolomite; 7 – magnetite; 8 – brucite; 9 – clinocllore

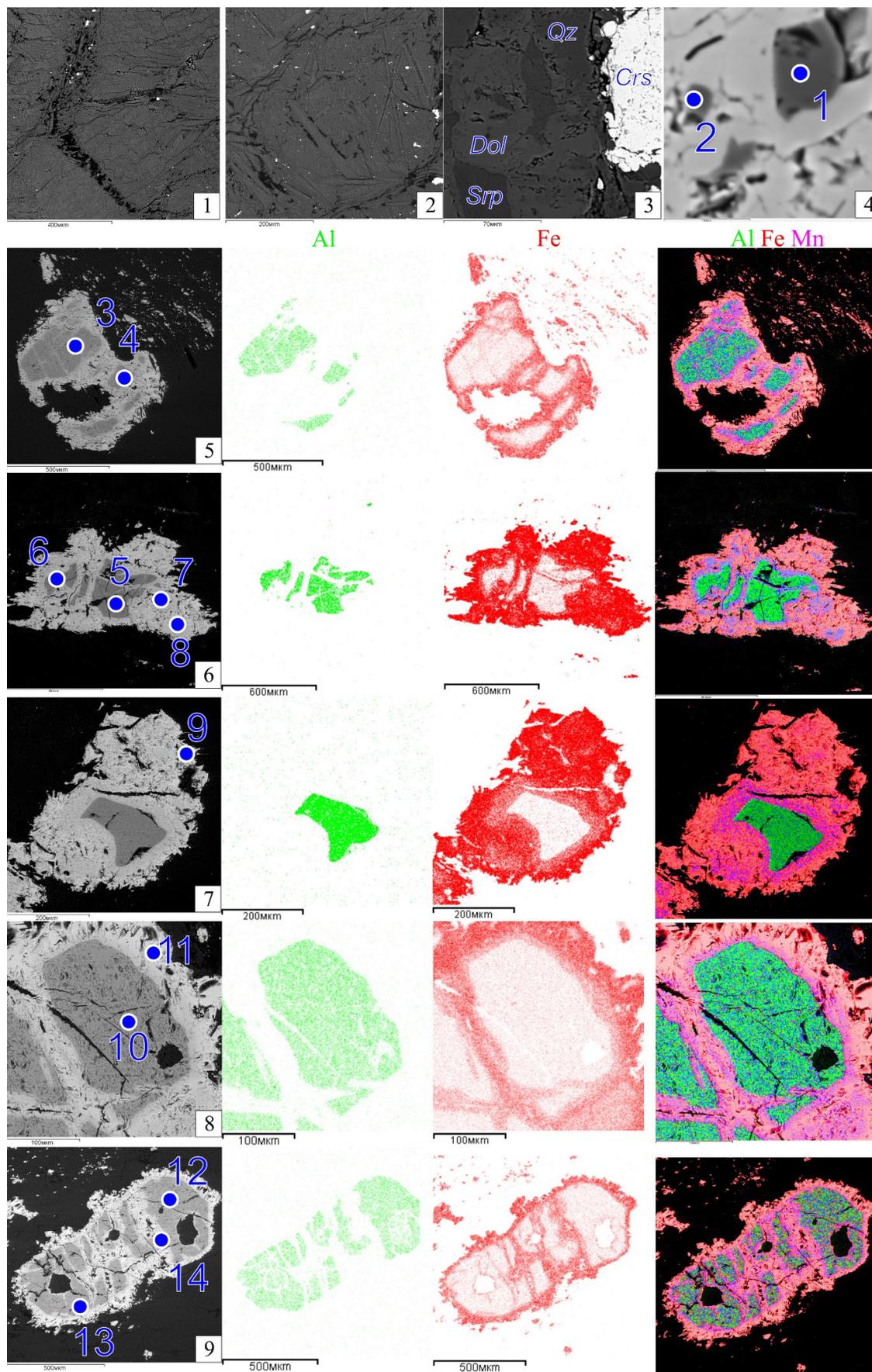


Рис. 3. Структура серпентинитов и хромитинелидов:

1, 2 – типичное строение серпентинита, 3 – развитие карбонатов и кварца в серпентините, 4 – микрозерна хромпикотита, 5-9 – рентгеновские карты распределения алюминия, железа и марганца (излучение $K\alpha_1$). Изображение BE. Указаны места проведения микроанализа.

Обозначения минералов: Dol – доломит, Qz – кварц, Srp – серпентин /

Fig. 3. Structure of serpentinites and chrome spinels: 1, 2 – typical texture of serpentinite, 3 – development of carbonates and quartz in serpentinite, 4 – micrograin of chromepicotite, 5-9 – X-ray distribution maps of aluminum, iron, and manganese ($K\alpha_1$ radiation). Image of BE. The locations of the microanalysis are indicated. Mineral designations: Dol – dolomite, Qz – quartz, Srp – serpentine

участков ядер и прогрессирующее обогащение железом. Каймы образованы феррихромитом – хроммагнетитом, ядра – алюмохромитом (рис. 3; табл. 1) с реликтами хромпикотита (рис. 3-4; в табл. 1 анализы 1-2); редко отмечаются тонкие оторочки магнетита и его отдельные зёрна. Во внутренних частях некоторых шпинелей наблюдаются пористые ядра с реликтовыми обогащенными Al_2O_3 и MgO островками (известные как «атолловые структуры»); состав таких шпинелей отличается присутствием SiO_2 , видимо, связанного с тончайшими кристалликами хлорита, серпентина и прочих силикатных микрофаз (рис. 3-6). Статистический анализ результатов измерения состава ядер отражает метасоматические замещения, главным образом, вызванные привнесом железа, никеля, марганца и выносом магния, алюминия, хрома и ванадия, проявленные в результатах корреляционного анализа (табл. 2) и нагрузке I фактора в результатах факторного анализа, выполненного методом главных компонент (рис. 4). Второй фактор отражает перераспределение малых элементов (рис. 4) – привнос никеля (поступающего совместно с железом) и локальное концентрирование в ядрах цинка, ванадия и марганца; в алюмохромитах – хромпикотитах содержание MnO составляет до ~2 мас.%, ZnO до ~1мас.%.

Таблица 1 / Table 1

Состав хромшпинелидов из серпентинитов Кишинского массива (в мас.%). Места проведения микроанализов указаны на рисунке 3 / The composition of chrome spinels from serpentinites of the Kishinskij protrusion (in wt.%). The microanalysis sites are indicated in Fig. 3

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	MnO	FeO	CoO	NiO	ZnO	Итого	Cr#	Mg#
1	13,86	27,50	-	0,10	0,18	38,30	0,78	18,21	0,26	0,21	-	99,40	0,48	0,64
2	12,76	26,80	-	0,04	0,24	37,09	0,89	21,37	0,27	0,15	0,20	99,81	0,48	0,59
3	7,93	14,54	-	0,07	0,28	51,42	1,74	21,78	0,27	0,04	0,81	98,88	0,70	0,42
4	10,65	15,69	1,88	0,06	0,29	47,51	1,79	19,97	0,32	-	0,65	98,81	0,67	0,51
5	13,21	20,49	1,53	0,08	0,20	43,82	0,82	18,51	0,24	0,03	0,57	99,50	0,59	0,60
6	12,69	20,99	1,43	0,01	0,23	42,47	0,87	19,32	0,37	0,04	1,33	99,75	0,58	0,59
7	5,28	0,17	1,06	0,07	0,16	30,79	1,08	59,81	0,36	0,68	0,46	99,92	0,99	0,28
8	5,11	0,18	1,22	0,13	0,13	32,98	1,17	57,58	0,52	0,31	0,41	99,74	0,99	0,27
9	2,40	0,09	-	0,03	0,05	9,97	0,76	84,33	0,63	0,93	0,22	99,41	0,99	0,13
10	8,42	16,93	-	0,11	0,18	49,18	1,59	21,82	0,19	0,02	1,13	99,57	0,66	0,44
11	1,31	0,22	-	0,31	0,06	14,19	1,11	80,78	0,37	0,58	0,42	99,35	0,98	0,07
12	8,31	14,02	-	0,02	0,34	53,96	0,79	21,26	0,32	0,16	0,32	99,50	0,72	0,43
13	8,82	14,14	-	0,03	0,34	52,85	1,08	20,98	0,19	0,09	0,37	98,89	0,71	0,45
14	2,55	0,23	-	0,08	0,19	24,16	1,98	68,93	0,56	0,60	0,40	99,68	0,99	0,15

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты корреляции элементов в ядрах хромшпинелидов – значения ранговых корреляций Спирмена; отмеченные корреляции значимы на уровне $p < 0,05$ (N = 36) / The correlation coefficients of elements in the cores of chrome spinels are meanings of Spearman’s rank correlations; marked correlations are significant at the level $p < 0.05$

	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₅	MnO	FeO	CoO	NiO	ZnO
MgO	1,00	0,89	0,01	0,38	0,79	-0,52	-0,91	-0,17	-0,70	-0,01
Al ₂ O ₃	0,89	1,00	0,00	0,42	0,81	-0,44	-0,91	-0,20	-0,75	0,10
TiO ₂	0,01	0,00	1,00	-0,09	-0,01	0,18	0,14	-0,28	0,13	-0,22
V ₂ O ₅	0,38	0,42	-0,09	1,00	0,66	-0,06	-0,41	0,01	-0,57	0,56
Cr ₂ O ₅	0,79	0,81	-0,01	0,66	1,00	-0,33	-0,83	-0,04	-0,82	0,22
MnO	-0,52	-0,44	0,18	-0,06	-0,33	1,00	0,49	0,35	0,35	0,32
FeO	-0,91	-0,91	0,14	-0,41	-0,83	0,49	1,00	0,12	0,76	0,02
CoO	-0,17	-0,20	-0,28	0,01	-0,04	0,35	0,12	1,00	0,21	-0,04
NiO	-0,70	-0,75	0,13	-0,57	-0,82	0,35	0,76	0,21	1,00	-0,23
ZnO	-0,01	0,10	-0,22	0,56	0,22	0,32	0,02	-0,04	-0,23	1,00

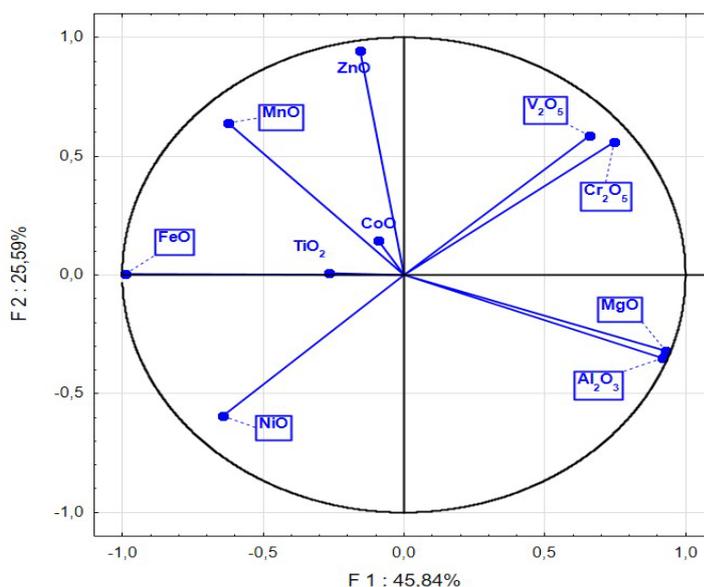


Рис. 4. Результаты обработки данных микроанализа хромшпинелидов методом главных компонент (проекция переменных на факторную плоскость; использованы первый и второй факторы – F1 и F2) /

Fig. 4. Results of statistical processing the data of microanalysis of chrome spinels by the principal component method (projection of variables onto the factor plane; the first and second factors – F1 and F2)

Для ядер значения Cr# составляют ~0,5-0,7, Mg# ~0,4-0,6, что отвечает области составов первичных магматических шпинелей [Merlini et al., 2009; Grieco, Merlini, 2012].

Обсуждение результатов

Полученные данные позволяют провести сопоставление с другими серпентинитами района, определить условия метаморфической трансформации пород и формирования реликтовых участков хромшпинелидов.

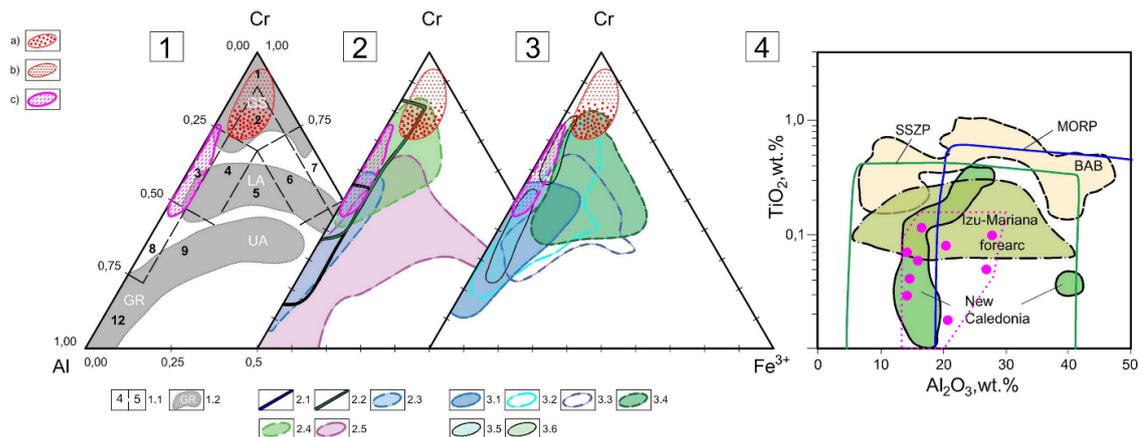


Рис. 5. Положение составов хромшпинелидов (внутренние области) на диаграммах $Al - Cr - Fe^{3+}$: 1.1 – поля составов на классификационной диаграмме (в соответствии с номенклатурой, разработанной Н. В. Павловым: 1 – хромиты, 2 – субферрихромиты, 3 – алюмохромиты, 4 – субферриалюмохромиты, 5 – ферриалюмохромиты, 6 – субалюмоферрихромиты, 7 – феррихромиты, 8 – хромпикотиты, 9 – субферрихромпикотиты); стадии метаморфизма: GS – зеленосланцевая, LA – низкотемпературная амфиболитовая, UA – высокотемпературная амфиболитовая, GR – гранулитовая (по [Saumur, Hattori, 2012; Hodel et al., 2017]); 2-3 – составы хромшпинелидов из пород разных геодинамических обстановок (по [Barnes, Roeder, 2001; Dick, Bullen, 1984; Ghazi et al., 2011; Zaeimnia et al., 2017; Kamenetsky et al., 2001] и др.): 2.1 – перидотиты островных дуг, 2.2 – абиссальные перидотиты, 2.3 – ультрамафиты COX, 2.4 – ультрамафиты глубоководных желобов, 2.5 – ксенолиты ультрамафитов из базальтов, 3.1 – абиссальные перидотиты, 3.2 – океаническое дно, 3.3 – океанические острова, 3.4 – островные дуги; 3.5 – ультрамафитовые массивы срединных хребтов Атлантического и Индийского океанов, 3.6 – конические подводные горы (серпентинитовые диапирсы) фронтальных частей Марианской и Идзу-Бонинской островных дуг; 4-состав ядер (d) и внешних зон (e) кишинских хромшпинелидов на диаграмме $Al_2O_3 - TiO_2$. Условные обозначения: 1 – составы внутренних частей хромшпинелидов серпентинитов Даховского поднятия (субферрихромиты), 2 – измененные части зерен хромшпинелидов Даховского поднятия, 3-ядра хромшпинелидов Кишинского массива /

Fig. 5. The position of the compositions of chrome spinels (internal parts) on the diagrams $Al - Cr - Fe^{3+}$: 1.1 – fields of compositions in the classification diagram (in accordance with the nomenclature developed by N. In. Pavlov: 1 – chromites, 2 – subferrichromites, 3 – alumochromite, 4 – subferrialumochromite, 5 – ferrialumochromite, 6 – subalumoferrichromite, 7 – ferrichromite, 8 – chromepicotite, 9 – subferrichromepicotite); 1.2 – metamorphic grade: GS – green, LA – low-temperature amphibolite, UA – high temperature amphibolite, GR – granulite (at [Saumur, Hattori, 2012; Hodel et al., 2017]); 2-3 – the compositions of chrome spinels from rocks of different geodynamic settings (for [Barnes, Roeder, 2001; Dick, Bullen, 1984; Ghazi et al., 2011; Zaeimnia et al., 2017; Kamenetsky et al., 2001] et al.): 2.1 – forearc peridotites, 2.2 – abyssal peridotites, 2.3 – ultramafites of MOR, 2.4 – ultramafites deepwater trenches, 2.5 – xenoliths of ultramafites from basalts, 3.1 – abyssal peridotites, 3.2 – ocean bottom, 3.3 – oceanic islands, 3.4 – island arcs; 3.5 – ultramafic massifs of the median ridges of the Atlantic and Indian oceans, 3.6 – conical seamounts (serpentinite diapirs) of frontal parts of the Mariana and Izu-Buninskoy island arcs; 4 – composition of cores (d) and outer zones (e) of chrome spinels of the Kishinskij protrusion on the diagrams $Al_2O_3 - TiO_2$. Legend: 1 – the compositions of the inner parts of chrome spinels of serpentinite Dakhov Uplift (subferrichromites), 2 – modified parts of the grains of chrome spinels of serpentinite Dakhov Uplift, 3-core of chrome spinels of Kishinskij protrusion

Ближайшие выходы серпентинитов расположены севернее на фланге Даховского кристаллического выступа (рис. 1.1), где образуют серию маломощных тектонических пластин, прорванных позднегерцинскими гранитами. Для них типичны лизардит-хризотилитовые ассоциации с пылевидным магнетитом (связанным с β -лизардитом) и хромшпинелидами, внутренние части ядер которых соответствуют субферрихромитам (с $Cr\# \sim 0,8$, $Mg\# \sim 0,3-0,4$), периферические – хромитам, а внеш-

ние каемки – магнетитам (с содержанием Cr_2O_3 до ~4 мас.%) [Попов и др., 2019, 2020]. Кишинские серпентиниты несут признаки трансформаций в более высокотемпературных условиях, на что указывает как антигоритовый состав (антигорит относительно лизардита и хризотила стабилизируется с повышением температуры и давления на твердые фазы и в условиях пониженного парциального давления воды вследствие восстановленности флюидов [Маракушев, Бобров, 2005]), так и составы хромшпинелидов (рис. 5.1), в том числе значение $\text{Mg}\#$ (для зеленосланцевой фации оно составляет 0,4-0,7, для амфиболитовой <0,35 [Gervilla et al., 2012]). Наличие хорошо оформленных феррихромитовых каемок вокруг богатых алюминием ядер является следствием длительного прогрева пород после процесса серпентинизации [Karisiotis, 2014], а интенсивное замещение железом как трех-, так и двухвалентных катионов – восстановительных условий во флюидной системе. При этом наличие реликтовых хромпикотитовых участков объясняется условиями, при которых $P_{\text{H}_2\text{O}} < P_{\text{общ.}}$ [Candia, Gaspar, 1997], образование хроммагнетита, а не хромита, – пониженным отношением флюид/порода [Gervilla et al., 2012]. Последующее брекчирование пород (видимо, сопровождавшее эксгумацию и формирование герцинских тектонических надвигов), происходило в условиях снижения температуры, интенсивной циркуляции растворов, смены условий на более окислительные, что отразилось в образовании хризотил-антигоритовых с хлоритом внешних зон «тектонических окатышей» и в формировании тонких наружных оторочек хроммагнетитового состава, а при более поздних хрупких деформациях – в отальковании, кварц-карбонатом прожилковании, развитии магнетита.

Составы ядер кишинских хромшпинелидов соответствуют составам, свойственным офиолитам, и, в частности, ультрамафитам островных дуг (рис. 5.2) и конических подводных гор (серпентинитовых диапиров) фронтальных частей Марианской и Идзу-Бонинской островных дуг (рис. 5.3, 5.4). Такая реконструкция соответствует в ранее полученным данным для хромшпинелидов фланга Даховского выступа [Попов и др., 2020].

Выводы

Образующие тектонические покровы в западной части зоны Передового хребта серпентиниты, судя по составу хромшпинелидов – единственных на данный момент установленных минеральных индикаторов геодинамической приуроченности развитых здесь нацело серпентинизированных комплексов – являются фрагментами офиолитовой ассоциации, относимой к типу офиолитов супра- или надсубдукционных зон (SSZ), ассоциирующих с островодужными комплексами [Pearce et al., 1984]. Обдукция апогипербазитов и формирование меланжевых комплексов происходили в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма, но при вариации в тектонической зоне Передового хребта P-T параметров и характера флюидных систем. Для серпентинитов фланга Даховского выступа устанавливается образование в низкотемпературных условиях (с сохранением текстур замещения первичных оливинов лизардитом) при повышенном отношении флюид/порода, связанным с влиянием гранитоидных магматических очагов [Попов и др., 2020]. Для серпентинитов Кишинского массива, залегающего в ассоциации с герцинским Кизилкольским тектоническим покровом, устанавливаются относительно повышенные P-T условия и пониженное отношение флюид/порода (с участием восстановленных флюидов). Фиксируемый в обоих рассматриваемых массивах диффузионный вы-

нос Al и Mg и хромшпинелидов и образование хлорита в их оторочках соответствует известной реакции $(Mg, Fe) (Al, Cr)_2O_4 + \text{флюид} \rightarrow Mg_5AlSi_3O_{10} (OH)_8 + (Fe, Mg) (Cr, Al)_2O_4$ [Kimball, 1990], в условиях зеленосланцевой фации реализуемой только при совместной серпентинизации оливина и пироксена [Bach et al., 2006]. Данное заключение соответствует полученному на основании анализа петрохимических данных и реликтовых структурных особенностей выводу о перидотитовом составе протолита [Соболев, 1952].

Таким образом, серпентиниты Кишинского массива принадлежат, наряду с другими выходами апогипербазитов Передового хребта, к офиолитовой ассоциации, связанной с островодужной обстановкой. Антигоритовые серпентиниты массива образовались в относительно повышенных P-T условиях и претерпели дифференциацию при формировании тектонических меланжей.

Литература

1. Баранов Г.И., Греков И.И., Нетреба А.В. Палеозойский магматизм Большого Кавказа в свете тектоники плит. // Тез. докл. V конференции по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. – Ессентуки. 1980. – С. 84-86.
2. Геология СССР. Т. IX. Северный Кавказ. / Гл. ред. А.В. Сидоренко. – М.: Недра, 1968. – 760 с.
3. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L – 37 – XXXV. – Майкоп. Объяснительная записка. – 2004.
4. Лебедько Г.И. Фундамент Северного Кавказа. – Ростов-на-Дону: РГУ, 1980. – 123 с.
5. Маракушев А.А., Бобров А.В. Метаморфическая петрология: учебник. – М.: Наука, 2005. – 256 с.
6. Михеев Г.А., Потапенко Ю.Я. О возрасте альпинотипных гипербазитов Северного Кавказа. // Советская геология. – 1973. – № 1. – С. 131-137.
7. Попов Ю.В., Жабин А.В., Пустовит О.Е. Минеральный состав серпентинитов тектонического меланжа Даховского кристаллического выступа (Большой Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 4. – С. 38-48. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44487.
8. Попов Ю.В., Пустовит О.Е., Терещенко В.А. Акцессорные хромшпинелиды серпентинитов тектонического меланжа Даховского поднятия (Большой Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. № 2. – С. 38-55. DOI: 10.46698/VNC.2020.21.55.003
9. Соболев Н.Д. Ультрабазиты Большого Кавказа. – М.: Госгеолиздат, 1952. – 240 с.
10. Bach W., Paulick H., Garrido C.J., Ildefonse B., Meurer W., Humphris S.E. Unravelling the sequence of serpentinization reactions: petrography, mineral chemistry, and petrophysics of serpentinites from MAR 15°N (ODP Leg 209, Site 1274). // Geophysical Research Letters. – 2006. – Vol. 25. – pp. 1467-1470.
11. Barnes S.J. Roeder P.L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. // J. Petrol. – 2001. – Vol. 42. – pp. 2279-2302.
12. Candia M.A. F., Gaspar J.C. Chromianspinels in metamorphosed ultramafic rocks from Mangabal I and II complexes, Goiás, Brazil. // Mineral. Petrol. – 1997. Vol. 60. – pp. 27-40.
13. Dick H.J. B., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. // Contributions to Mineralogy and Petrology. – 1984. – Vol. 86 (1). – pp. 54-76. DOI: 10.1007/BF00373711
14. Droop G.T. R. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. // Mineralogical Magazine. – 1987. – Vol. 51 (3). – pp. 431-435.
15. Gervilla F., Padrón-Navarta J.A., Kerestedjian T., Sergeeva I., González-Jiménez J.M., Fanlo I. Formation of ferrian chromite in podiform chromitites from the Golyamo-Kamenyane

serpentinite, Eastern Rhodopes, SE Bulgaria: A two-stage process. // *Contributions to Mineralogy and Petrology*. – 2012. – Vol. 164 (4). – pp. 643-657.

16. Ghazi J.M., Moazzen M., Rahghoshay M., Moghadam H.S. The geodynamic setting of the Nain ophiolites, Central Iran: evidence from chromianspinels in the chromitites and associated rocks. *Ofioliti*. – 2011. – Vol. 36. No. 1. – pp. 59-76.

17. Grieco G., Merlini A. Chromite alteration processes within Vourinos ophiolite. // *Int. J. Earth Sci.* – 2012. – Vol. 101. – pp. 1523-1533.

18. Hodel F., Macouin M., Triantafyllou A., Carlut J., Berger J., Rousse S., Ennih N., Trindade R. I. F. Unusual massive magnetite veins and highly altered Cr-spinels as relics of a Cl-rich acidic hydrothermal event in Neoproterozoic serpentinites (BouAzzer ophiolite, Anti-Atlas, Morocco). // *Precambrian Research*. – 2017. – Vol. 300. – pp. 151-167.

19. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: An empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. // *Journal of Petrology*. – 2001. – Vol. 42 (4). – pp. 655-671.

20. Kapsiotis A. Composition and alteration of cr-spinels from milia and pefkiserpentinitized mantle peridotites (pindos ophiolite complex, greece). // *Geologica Carpathica*. – 2014. – Vol. 65 (1). – pp. 83-95. DOI: 10.2478/geoca-2013-0006

21. Kimball K.L. Effects of hydrothermal alteration on the compositions of chromianspinels. // *Contrib. Mineral. Petrol.* – 1990. – Vol. 105. – pp. 337-346.

22. Merlini A., Grieco G., Diella V. Ferritchromite and chromianchlorite formation in mélange-hosted Kalkanchromitite (Southern Urals, Russia). // *Am. Mineral.* – 2009. – Vol. 94. – pp. 1459-1467.

23. Pearce J.A., Lippard S.J., Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-subduction zone ophiolites. / Kokelaar B.P., and Howells M.F., eds., *Marginal Basin Geology: Volcanic and Associated Sedimentary and Tectonic Processes in Modern and Ancient Marginal Basins: Geological Society of London Special Publication*. – 1984. – Vol. 16. – pp. 77-94.

24. Reed S.J. B. *Electron Microbe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. // Cambridge University Press. – 2005. – 232 p.

25. Saumur B.M., Hattori K. Zoned Cr-spinel and ferritchromite alteration in forearc mantle serpentinites of the Rio San Juan Complex, Dominican Republic. // *Mineralogical Magazine*. – 2012. – Vol. 77 (1). – pp. 117-136. DOI: 10.1180/minmag.2013.077.1.11

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

27. Zaeimnia F., Kananian A., Arai S., Mirmohammadi M., Imamalipour A., Khedr M.Z., Miura M., Abbou-Kebir K. Mineral chemistry and petrogenesis of chromitites from the Khoy ophiolite complex, Northwestern Iran: Implications for aggregation of two ophiolites. // *Island Arc*. – 2017. – Vol. 26 (6). – №e12211. DOI: 10.1111/iar.12211

References

1. Baranov G.I., Grekov I.I., Ntreba A.V. Paleozoic magmatism of the Greater Caucasus in the light of plate tectonics. Tez. report V conference on geology and mineral resources of the North Caucasus. Essentuki. 1980. pp. 84-86. (In Russ.)

2. Geologiya SSSR (Geology of the USSR). Volume IX. Severniy Kavkaz (North Caucasus). Geologicheskoye opisaniye (Geological description). Ed. A. V. Sidorenko. Moscow. Nedra (Publ.), 1968. 760 p. (In Russ.)

3. The state geological map of the Russian Federation on a scale of 1: 200000. Second edition. Caucasian series. Sheet L – 37, XXXV. Maykop. Explanatory note, 2004. (In Russ.)

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

5. Marakushev A.A., Beavers A.V. *Metamorphic petrology: textbook*. Moscow. Science, 2005. 256 p. (In Russ.)
6. Mikheev G.A., Potapenko Yu.Ya. On the age of alpine-type hyperbasites of the North Caucasus. *Soviet Geology*. 1973. No. 1. pp. 131-137. (In Russ.)
7. Popov Yu.V., Zhabin A.V., Pustovit O.E. Mineral composition of serpentinites of the tectonic melange of the Dakhovsky crystalline protrusion (Greater Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. Vol. 9. No. 4. pp. 38-48. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44487. (In Russ.)
8. Popov Yu.V., Pustovit O.E., Tereshchenko V.A. Accessory chrome spinels of serpentinites of tectonic melange of the Dakhov uplift (Greater Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No. 2. pp. 38-55. DOI: 10.46698/VNC.2020.21.55.003. (In Russ.)
9. Sobolev N.D. *Ultrabasic rocks of the Greater Caucasus*. Moscow. Gosgeolizdat, 1952. 240 p. (In Russ.)
10. Bach W., Paulick H., Garrido C.J., Ildefonse B., Meurer W., Humphris S.E. Unravelling the sequence of serpentinization reactions: petrography, mineral chemistry, and petrophysics of serpentinites from MAR 15°N (ODP Leg 209, Site 1274). *Geophysical Research Letters*. 2006. Vol. 25. pp. 1467-1470.
11. Barnes S.J., Roeder P.L. The range of spinel compositions in terrestrial mafic and ultramafic rocks. *J. Petrol.* 2001. Vol. 42. pp. 2279-2302.
12. Candia M.A. F., Gaspar J.C. Chromianspinels in metamorphosed ultramafic rocks from Mangabal I and II complexes, Goiás, Brazil. *Mineral. Petrol.* 1997. Vol. 60. pp. 27-40.
13. Dick H.J. B., Bullen T. Chromian spinel as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 1984. Vol. 86 (1). pp. 54-76. DOI: 10.1007/BF00373711
14. Droop G. T. R. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*. 1987. Vol. 51 (3). pp. 431-435.
15. Gervilla F., Padrón-Navarta J.A., Kerestedjian T., Sergeeva I., González-Jiménez J.M., Fanlo, I. Formation of ferric chromite in podiform chromitites from the Golyamo Kamenyane serpentinite, Eastern Rhodopes, SE Bulgaria: A two-stage process. *Contributions to Mineralogy and Petrology*. 2012. Vol. 164 (4). pp. 643-657.
16. Ghazi J.M., Moazzen M., Rahghoshay M., Moghadam H. S. The geodynamic setting of the Nain ophiolites, Central Iran: evidence from chromianspinels in the chromitites and associated rocks. *Ofioliti*. – 2011. – Vol. 36. No. 1. – pp. 59-76.
17. Grieco G., Merlini A. Chromite alteration processes within Vourinos ophiolite. *Int. J. Earth Sci.* 2012. Vol. 101. pp. 1523-1533.
18. Hodel F., Macouin M., Triantafyllou A., Carlut J., Berger J., Rousse S., Ennih N., Trindade R. I. F. Unusual massive magnetite veins and highly altered Cr-spinels as relics of a Cl-rich acidic hydrothermal event in Neoproterozoic serpentinites (BouAzzer ophiolite, Anti-Atlas, Morocco). *Precambrian Research*. 2017. Vol. 300. pp. 151-167.
19. Kamenetsky V.S., Crawford A.J., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel: An empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *Journal of Petrology*. 2001. Vol. 42 (4). pp. 655-671
20. Kapsiotis A. Composition and alteration of cr-spinels from milia and pefkiserpentinized mantle peridotites (pindos ophiolite complex, Greece). *Geologica Carpathica*. 2014. Vol. 65 (1). pp. 83-95. DOI: 10.2478/geoca-2013-0006
21. Kimball K.L. Effects of hydrothermal alteration on the compositions of chromianspinels. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1990. Vol. 105. pp. 337-346.
22. Merlini A., Grieco G., Diella V. Ferritchromite and chromianchlorite formation in mélange-hosted Kalkanchromitite (Southern Urals, Russia). *Am. Mineral.* 2009. Vol. 94. pp. 1459-1467.
23. Pearce J.A., Lippard S.J., Roberts S. Characteristics and tectonic significance of supra-

subduction zone ophiolites. Kokelaar B. P., Howells M. F., eds., *Marginal Basin Geology: Volcanic and Associated Sedimentary and Tectonic Processes in Modern and Ancient Marginal Basins*: Geological Society of London Special Publication. 1984. Vol. 16. pp. 77-94.

24. Reed S. J. B. *Electron Microbe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*. Cambridge University Press. 2005. 232 p.

25. Saumur B. M., Hattori K. Zoned Cr-spinel and ferritchromite alteration in forearc mantle serpentinites of the Rio San Juan Complex, Dominican Republic. *Mineralogical Magazine*. 2012. Vol. 77 (1). pp. 117-136. DOI: 10.1180/minmag.2013.077.1.11

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

27. Zaeimnia F., Kananian A., Arai S., Mirmohammadi M., Imamalipour A., Khedr M. Z., Miura M., Abbou-Kebir K. Mineral chemistry and petrogenesis of chromitites from the Khoy ophiolite complex, Northwestern Iran: Implications for aggregation of two ophiolites. *Island Arc*. 2017. Vol. 26 (6). №e12211. DOI: 10.1111/iar. 12211

УДК 550.34

DOI: [10.46698/VNC.2021.42.74.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.42.74.005)

Оригинальная статья

Гянджинское землетрясение 1139 г.

С. Э. Казымова 

Национальная Академия Наук Азербайджана, Республиканский Центр
Сейсмологической Службы, Республика Азербайджан, AZ1001,
г. Баку, ул. Г. Джавида, 123, e-mail: sabina.k@mail.ru

Статья поступила: 16.01.2021, после рецензирования: 22.02.2021, принята к публикации: 05.03.2021

Резюме: Актуальность работы. В данной работе анализируется одно из крупнейших по количеству жертв (погибло около 230 тыс. человек) землетрясений в истории человечества, произошедшее 30 сентября 1139 г. в городе Гянджа (на юго-западе Азербайджана). Интенсивность данного землетрясения достигла 9 баллов. В статье приведены исторические данные, представленные в различных атласах и каталогах, рукописях и летописях. С тектонической точки зрения Гянджинское землетрясение произошло на стыке Гейча-Акеринской и Лок-Карабахской зоны Артвин-Карабахской мегазоны, которая охватывает северные хребты Малого Кавказа. **Цель работы.** С целью исследования сейсмичности и современной геодинамики территории Гянджинского очага был построен график повторяемости за последние 1500 лет и проанализированы механизмы 4-ох очагов землетрясений координаты которых совпадают с исследуемым историческим землетрясением. Вероятность повторения сильного Гянджинского землетрясения 1139 г. в ближайшие 800 лет составила 0,30. **Методы исследования.** Для вычисления механизмов очага был использован алгоритм по методу инверсии волновых форм, на основе которого были получены решения тензора момента и моментные магнитуды M_w для 4-х выбранных землетрясений произошедших 30 сентября 2012 г., 2 июля 2015 г. и 6 марта 2017 г. В процессе работы изначально были определены функции Грина, которые используются при инверсии наблюдаемых трехкомпонентных широкополосных сигналов (20-100 с) с последующим разложением на скалярный сейсмический момент M_0 и основные параметры ориентации пары сил – азимутальный угол, угол падения и угол скольжения. **Результаты работы.** Сопоставление простираения нодальных плоскостей с линиями разломов показал согласие первой нодальной плоскости с продольным Муровдагским взбросо-надвигом, и второй нодальной плоскости с поперечным Муровдаг-Зодским сдвигом. В итоге все вышесказанное указывает на то, что проанализированные современные Гянджинские землетрясения, точнее их очаговые зоны в геодинамическом отношении произошли под действием сжимающих напряжений ориентированных СВ-ЮЗ-ом направлении.

Ключевые слова: Гянджинское землетрясение, Халебское землетрясение, график повторяемости, механизмы очагов землетрясений, тектоническое строение, левосторонний сдвиг.

Для цитирования: Казымова С. Е. Уточнение гипоцентров землетрясений методом двойной разности. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 52 – 68. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.74.005.

DOI: [10.46698/VNC.2021.42.74.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.42.74.005)

Original paper

Ganja earthquake of 1139

S. E. Kazimova 

National Academy of Sciences of Azerbaijan Republican Seismic Survey Center,
123 Guseyn Javid Str., Baku AZ1001, Azerbaijan, e-mail: sabina.k@mail.ru

Received: 16.02.2021, revised: 22.02.2021, accepted: 05.03.2021

Abstract. Relevance. This work analyzes one of the largest earthquakes in terms of the number of victims (about 230 thousand people died) in the history of mankind, which occurred on September 30, 1139 in the city of Ganja (in the south-west of Azerbaijan). The intensity of this earthquake reached 9 points. The article contains historical data presented in various atlases and catalogs, manuscripts and annals. From a tectonic point of view, the Ganja earthquake occurred at the junction of the Goycha-Akerin and Lok-Karabakh zones of the Artvin-Karabakh megazone, which covers the northern ridges of the Lesser Caucasus. **The aim.** In order to study the seismicity and modern geodynamics of the territory of the Ganja source, a recurrence graph was constructed for the last 1500 years. The mechanisms of four sources of earthquakes whose coordinates coincide with the studied historical earthquake were analyzed. The probability of a repeat for the strong Ganja earthquake of 1139 in the next 800 years was 0.30. **Research methods.** To calculate the focal mechanisms, an algorithm was used according to the waveform inversion method, on the basis of which the solutions of the moment tensor and moment magnitudes M_w were obtained for 4 selected earthquakes that occurred on September 30, 2012, July 2, 2015, and March 6, 2017. In the course of work, the Green's functions were initially determined, which are used for inversion of the observed three-component broadband signals (20-100 s) with subsequent decomposition into scalar seismic moment M_0 and the main parameters of the orientation of the pair of forces – azimuthal angle, angle of incidence and angle of grazing. **Results.** Comparison of the strike of the nodal planes with the fault lines showed the agreement of the first nodal plane with the longitudinal Murovdag upthrust fault, and the second nodal plane with the transverse Murovdag-Zod strike-slip fault. As a result, all of the above indicates that the analyzed modern Ganja earthquakes, or rather their focal zones in the geodynamic respect, occurred under the action of compressive stresses oriented NE-SW direction.

Keywords: Ganja earthquake, Khaleb earthquake, recurrence graph, mechanisms of earthquake sources, tectonic structure, left-lateral fault.

For citation: Kazimova S. E. Ganja earthquake of 1139. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South.* (in Russ.). 2021. 11 (1): 52 – 68. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.74.005.

Введение

На протяжении многих лет территория Азербайджанской республики характеризовалась высокой сейсмической активностью. С тектонической точки зрения это связано с динамикой Кавказского региона, находящегося под влиянием Аравийской и Евразийской литосферных плит. Первые сведения о катастрофических ($M \geq 6$) землетрясениях которые происходили на территории Азербайджана известны с 427 г.

За исторический период на территории республики и сопредельных территориях происходили сильные и катастрофические землетрясения с магнитудой $M \geq 6$.

Обширная информация доинструментального периода вошла в различные атласы и каталоги, наиболее значительным из которых является «Каталог землетря-

сений Российской Империи» И. В. Мушкетова и А. П. Орлова, опубликованный в 1893 году. Впервые высказанные идеи о связи землетрясений с тектоническими нарушениями являются очевидным достоинством этих публикаций [Атлас землетрясений в СССР, 1962; Мушкетов и др., 1893].

Ряд оригинальных работ по исследованию сейсмичности отдельных регионов Азербайджана принадлежат Н. В. Малиновскому (1935, 1939, 1940), которым в хронологическом порядке описаны все ощутимые землетрясения на Кавказе; на основании всех имеющихся данных выделены сейсмические очаги, проявившие свою активность в последнее столетие [Малиновский, 1940].

Землетрясения на территории Азербайджана, происшедшие за период 1139-1950 гг. отражены в работе Е. И. Бюса «Сейсмические условия Закавказья» [Бюс, 1948]. Здесь же представлены области Закавказья, испытавшие сильные землетрясения по наблюдениям до 1951 г. В пределах Азербайджана выделены восьмибалльные зоны Шемахи, Гянджи, Абшерона, южной границы (Ардебиль), а также семи балльные зоны Закаталы, Шеки, Шуша, Сальян, Ленкорань.

Наиболее значимые землетрясения, унесшие многочисленные человеческие жизни, это: Маштагинское произошедшее в 1842 г, землетрясения произошедшие в Шамахинском районе в 1192, 1828, 1868, 1872, 1902 гг. Кроме того, нужно отметить, что и в Каспийском регионе неоднократно происходили сильные землетрясения [Бабаханов, 2017; Кондорская и др., 1977, Михалевский, 1926] нужно отметить, что именно после Шамахинского землетрясения 1902 г., на территории Азербайджана была установлена первая сейсмическая станция, положившая начало инструментальному периоду.

В данной статье мы бы хотели затронуть событие, сыгравшее не маловажную роль в истории нашей страны, унесшее тысячи жизней и превратившее в руины г. Гянджу.

Наряду с Тебризом, Ардебилем, Марагой, Нахчываном, Дербендом, Кабала, Шамахи и Баку, Гянджа является одним из древнейших городов Азербайджана. С тектонической точки зрения Гянджа располагается на юго-западе страны, в пределах Гянджинско-Газахской низменности Малого Кавказа (рис. 1).



Рис. 1. Гянджинская крепость второй половины XVI века (<https://m.zerkalo.az/ukradennye-vrata-rayal/>). / Fig. 1. Gyandzha fortress of the second half of the XVI century (<https://m.zerkalo.az/ukradennye-vrata-rayal/>).

Материалы первоисточников

Данные первоисточников об этом разрушительном землетрясении собраны во-едино из большого количества различных источников, с соответствующими ссылками на них. Гянджинское землетрясение стало первым сейсмическим событием в Азербайджане, последствия которого изучались на достаточно высоком уровне. В эпицентре интенсивность сотрясения достигала, по современным оценкам, 9 баллов. Летописные данные, приведенные в Каталоге землетрясений Российской Империи [Мушкетов и др., 1893] отмечают сильное землетрясение в Гяндже (Елисаветполь), произошедшее в 1139 г.: «При густом тумане гора Алгарак (ныне Кяпяз) обрушилась и заполнила долину; у подножия образовалось озеро».

Данное землетрясение было подробно описано в работах мыслителя и богослова Мхитар Гоша, арабского историка Ибн ал-Асира, историка Киракос Гандзакеци [Ибн ал-Асир, 1940].

Город Гянджа быстро развивался во время правления династии Эльденизов в Азербайджане (1136-1225 гг.). В XII веке Гянджа стала одним из самых великолепных городов Ближнего Востока.

Благодаря такому величию и известности, высокий уровень экономической, социальной и культурной жизни был описан арабским историком Ибн аль-Асиром (1160-1223 гг.) и иранским историком-ученым Рашид ад-Дином (1247-1318 гг.). В своих летописях он писал, как величайший из городов Арана город Гянджа, подвергся ужасному землетрясению в первой половине XII века, а точнее 30 сентября 1139 года. Ибн аль-Асир писал: «В 534 г. хиджры (1139 г.) произошло землетрясение в Гяндже, и других провинциях Арана. Однако самое сильное землетрясение произошло в Гяндже. Было разрушено много домов, погибло бесчисленное количество людей. Сообщается, что число погибших составило 230 000 человек».

Историк Киракос Гандзакеци (1200-1272 гг.) писал: «Произошло страшное землетрясение, город Гянджа обрушился, его здания обрушились на население, землетрясение также взорвало гору Кяпаз и закрыло долину между горами, в результате чего образовалась Гейгель». По его словам, после землетрясения грузинский царь Димитрий I (1125-1156 гг.) напал на город и забрал городские ворота своей страны в качестве военной добычи. Это были ворота, построенные мастером Ибрагимом в 1063 году во время правления правителя Шаддади Шавура I (1049-1067 гг.).

Атабей Гара Сунгур был правителем Арана во время землетрясения. Его резиденция находилась в Гяндже. Когда произошло землетрясение, Гара Сунгура не было в Арране. Источник пишет: «Атабей Гара Сунгур хотел помочь сельджукскому шаху, но, узнав о сильном землетрясении в Гяндже, вернулся в свою столицу, Гянджу». В то время в Гяндже продолжались небольшие землетрясения. Вся семья Гарасонгура погибла в результате Гянджинского землетрясения.

Интересен тот факт, что за год до Гянджинского землетрясения, 11 октября 1138 г. в г. Алеппо (Сирия) произошло одно из самых сильных землетрясений (более 230 тыс. жертв), магнитуда которого была равна 8-ми. Землетрясение было настолько мощным, что его ощутили на территории Ирана, Турции и Азербайджана. Учитывая, то что территория Сирии в тектоническом плане расположена в пределах Аравийской плиты, можно предположить, что оба этих землетрясения связаны с горизонтальными движениями данной плиты в СВ направлении.

Гора Кяпаз, наивысшая точка Кяпазского хребта, высота которой составляет 3066 м над уровнем моря. Горный хребет Кяпаз являясь частью Муровдагского



Рис. 2. Эпицентр Гянджинского землетрясения, произошедшего 30 сентября 1139 г. с магнитудой $M=6,7$. /
 Fig. 2. Epicenter of the Gyandzhaearthquake occurred on September 30, 1139 with a magnitude of $M = 6.7$.

хребта простирается с СЗ направления на 34 км. Во время Гянджинского землетрясения гора обрушилась и обломки горы перекрыли течение реки Ахсу в нескольких местах, в результате чего образовалось семь озер, являющиеся национальным достоянием республики. Самое значительное из этих озер – Гёйгёль (Голубое озеро) расположено в центре дуги (рис. 3).

Уроженец г. Гянджи, крупнейший поэт своей современности Абу Мухаммед Ильяс ибн Юсуф, известный во всем мире как Низами Гянджеви в своей поэме «Искендер-наме» написанная между 1194 и 1202 годами, так описал Гянджинское землетрясение:

*Вся Земля сотряслась, туч метнулась гряда.
 Сотрясенье Земли унесло города.
 Так взъерошился дол, так всклокочились горы,
 Что покрыл тёмный прах всей лазури просторы.
 Закрутилась Земля. Иль пришёл её срок?
 Стал её кувыркать разыгравшийся рок.
 Вострубил Серафим, гор низвергнувши глыбы,
 И напуганный Бык отшатнулся от Рыбы.
 Все оковы небес разомкнуться могли.
 Свёл разгул сотрясенья суставы Земли.
 Заградил в её жилах текучие воды,*

*Гор поранил хребет, в них закрыл он проходы.
Он Юсуфов сражал. Не пугаясь потерь.
Синей краской окрасил он каждую дверь.
Все глаза он подвёл тяжкой скорби сурьюю,
Целый мир он одел безнадежности тьмою.
Сжал он бедную Землю в такие тиски,
Что огромные скалы разбил на куски.
Всё сломал он стекло. И под небом угрюмым
Сотни выступов стен наземь рухнули с шумом.
Тьма сокровищ пропала. Но помним, дрожа:
В эту ночь на субботу исчезла Гянджа.*

(отрывок из поэмы «Искендер-наме») [Низами Гянджеви, 2007]



Рис. 3. Горный хребет Кяпаз – а; озеро Гёйгёл (Голубое озеро) – б. /
Fig. 3. Mountain range Kuyapaz – a; Göygöl Lake (Blue Lake) – b.

Приведенные выше данные позволяют утверждать, что землетрясение в Гяндже произошло 30 сентября 1139 г с интенсивностью 9 баллов. В результате катастрофы погибло около 230 тыс. человек, в общей сложности пострадало 300 тыс. человек, разрушено более 1000 домов (рис. 2).

По данным приведенные в работах [Айвазишвили, Папалашвили, 1973; Мхитар, 1960; Ergin, 1971; Султанова, 1959; Бюс, 1948] координаты землетрясения составили 40,30 и 46,30 \pm 0,2, глубина 15 км (7–30), магнитуда 6,8 \pm 0,7. Так как в районе горы Алгарак происходят сильные обвалы, образуется озеро Гейгель. В связи с этим эпицентр данного землетрясения отнесен к району озера, и в ряде работ данное землетрясение называют гейгельским. Учитывая обвалы, оползни и количество жертв сила в эпицентре оценена на 9 \pm 1 баллов. Отметим, что по данным источника [Guidoboni et al., 1994; Guidoboni, Comastri, 2004] в 1122 г. в той же эпицентральной зоне произошло землетрясение с магнитудой 4,7 \pm 1,0 и интенсивностью 8 баллов.



Рис. 4а. Схема тектонического районирования юго-западной части Азербайджана [Кенгерли и др., 2012]. Зоны Артвин-Карабахской мега зоны: LQ – Лок-Карабахская; GH – Гейча-Акеринская; Qf – Гафанская; Kb – Кяльбаджарская; AA – Нижне-Аразская /

Fig. 4a. Scheme of tectonic zoning of the southwestern part of Azerbaijan [Kengerli et al., 2012]. Zones of the Artvin-Karabakh mega zone: LQ – Lok-Karabakh; GH – Goycha-Hakary; Qf – Gafan; Kb – Kalbajar; AA – Lower Araz

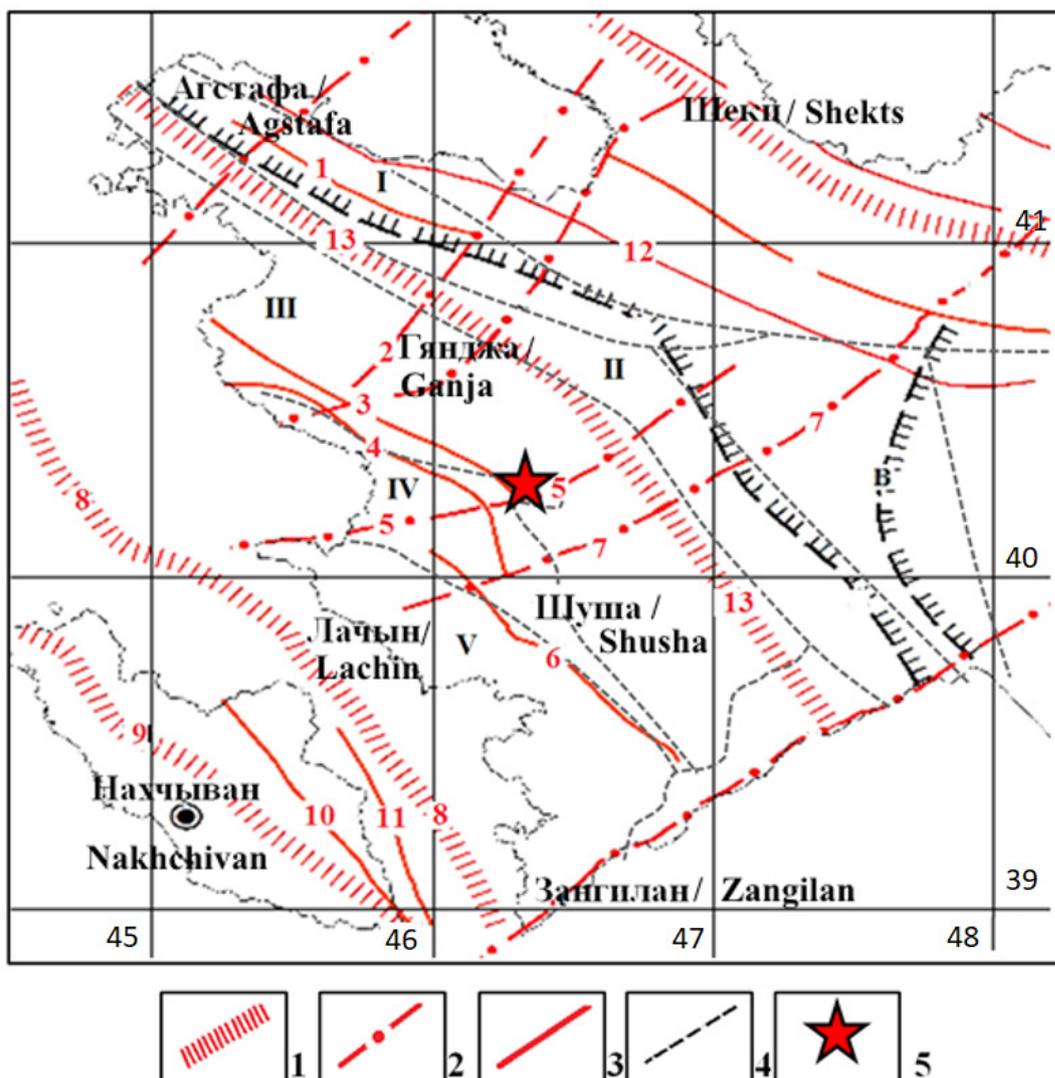


Рис. 4б. Тектоническая карта юго-западной части Азербайджана

(Сост. по материалам Агабекова М. Г., Алиханова Э. Н., Ахмедбейли Ф. С., Гасанова И. С., Кенгерли Т. Н., Шихалибейли Э. Ш., Хаина В. Е.).

Условные обозначения: 1 – краевые разломы; 2 – погребенные разломы; 3 – сбросовые разломы; 4 – тектонические структуры; 5 – эпицентр гянджинского землетрясения. Разломы: 1-Куринский; 2 – Шамкир-Алибадский; 3 – Муровдагский; 4 – Карабахский; 5-Муровдаг-Зодский; 6 – Лачин-Башилибельский; 7 – Хачинчайский; 8 – Уступ-Гирратахский; 9 – Нахичеванский; 10 – Аразский Ордубадский; 11 – Дебаклинский; 12-Эрикдар-Боздаг-Падарсий; 13-Предмалокавказский /

Fig. 4b. Tectonic map of the southwestern part of Azerbaijan (Compiled on the basis of materials of Agabekov M. G., Alikhanov E. N., Akhmedbeyli F. S., Hasanov I. S., Kengerli T. N., Shikhalibeyli E. Sh., Khain V. E.).

Legend: 1 – edge faults; 2 – buried faults; 3 – thrust faults; 4 – tectonic structures; 5 – the epicenter of the Gyandzha earthquake. Faults: 1 – Kura; 2 – Shamkir-Aliabad; 3 – Murovdag; 4 – Karabakh; 5 – Murovdag-Zodsky; 6 – Lachin-Baslibel; 7 – Khachinchai; 8 – Ustup-Girratakh; 9 – Nakhichevan; 10 – Araz Ordubad; 11 – Debaklinsky; 12 – Erikdar-Bozdag-Padarsiy; 13 – Pre-Lesser Caucasian

Тектоническое строение региона

С тектонической точки зрения Гянджинское землетрясение произошло на стыке Гейча-Акеринской и Лок-Карабахской зоны Артвин-Карабахской мегазоны, которая охватывает северные хребты Малого Кавказа и является южным прибортовым

структурным элементом Южно-Кавказской микроплиты, развивавшимся на альпийском этапе тектогенеза в геодинамическом режиме вулканической островной дуги (рис. 4а, б) [Геология Азербайджана, 2005].

Как видно на рисунке 4б эпицентр данного землетрясения располагается на пересечении продольного Муровдагского и поперечного Муровдаг-Зодского разломов. Муровдагский разлом является крайней северо-западной границей граница Гекча-Акеринской офиолитовой и островной дуги Лок-Карабахских зон, с перерывом протягивающийся с долины р. Чорох (Турция) к южным окраинам Ахалкалакского нагорья и далее на восток непрерывно до бассейна р. Тертер. Здесь с посредством поперечных Тертерчай и Хачинчайских разломов смещен к юго-западу и переходит на южный склон Карабахского хребта (Карабахского надвига).

Муровдаг-Зодский разлом представляет собой систему поперечно ориентированных разломов протягивающихся с северо-восточного склона г. Муровдаг в ЮВ направлении по левому берегу р. Тертер через среднее течение рр. Мейданчай и Левчай, далее переходя пределы Зодского перевала в ЮЗ направлении в сторону Арпачая. В северо-восточное направление разлома скрыто под четвертичными отложениями Среднекуринской впадины. По существу разлом является западным уступом или флангом, протяженной рифтогенной структуры, созданный Арпа-Самурским поперечным транскавказским линеаментом.

График повторяемости и механизмы очага Гянджинских землетрясений

Сведения о параметрах очагов землетрясений, содержащихся в различных каталогах, а также в отчетах РЦСС НАНА, систематизированы и сведены в единый каталог региона, куда были включены землетрясения доинструментального периода (с 427 по 1902 гг.) [Аллахвердиева, 2014; Kazimova, 2020]. Уровни представительности землетрясений Азербайджана были в 20-30-е годы 20 века – $MLH \geq 4,5$ или $K \geq 12$; 1951-1970-е годы – $MLH \geq 4,0$ или $K \geq 11$; 1971-2002 – $MLH \geq 3,5$ или $K \geq 10$. Представительность минимальной магнитуды в данной статье оценивалась графическим способом. При построении графика повторяемости землетрясений в широком диапазоне магнитуд, в левой ее части наблюдается отклонение точек $N(M)$ от линии ожидания. Это объясняется пропуском части землетрясений определенной магнитуды при обработке наблюдений, что связано с чувствительности системы регистрирующих сейсмических станций. Представительной считается магнитуда ($M=3,0$), следующая с права от первого левостороннего уклонения точки на графике повторяемости.

Для оценки зависимости между локальной магнитудой и количеством землетрясений, произошедших в пределах исследуемого региона ($\varphi=39,90^\circ-40,60^\circ$; $\lambda=45,80^\circ-47,00^\circ$) нами был использован Закон Гутенберга – Рихтера, который гласит, что магнитуды землетрясений распределяются экспоненциально:

$$\log N = a - bM$$

где M – это магнитуда землетрясения, N – количество землетрясений за 1 год, a и b – положительные параметры, указывающие уровень и характер сейсмичности в рассматриваемом районе [Gutenberg, Richter, 1944]. Константа b обычно равняется 1,0 для сейсмически активных регионов. Это означает, что для каждого события с магнитудой 4,0 обычно приходится 10 землетрясений с магнитудой 3,0 и 100 – с

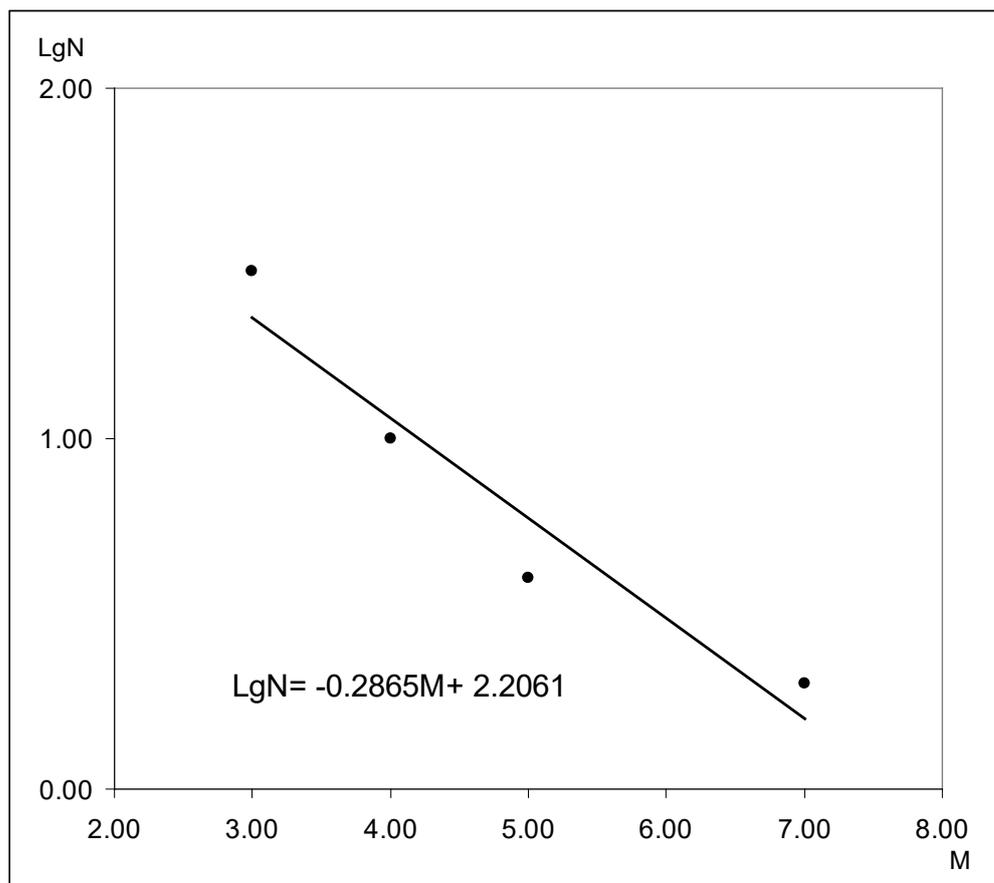


Рис. 5. График повторяемости землетрясений исследуемого региона за последние 1500 лет. /
Fig. 5. Graph of earthquake recurrence in the region under study for the last 1500 years.

магнитудой 2,0.

На рисунке 5 представлен график повторяемости исследуемого региона, полученный за последние 1500 лет. Таким образом, если за один год с $m_l=3,0$ произойдет 1000 землетрясений, то в пределах этого же района в течение одного года произойдет 300 землетрясений с $m_l=4,0$, а с $m_l=5,0$ приблизительно 100 событий. По Кавказу наклон угла повторяемости равен $-0,45$. Для Гянджинского региона значение наклона угла повторяемости составило $-0,28$. Это возможно лишь при аномально низких повторяемостях слабых и проявлении более сильных землетрясений, что и выражается в низком значении наклона графика повторяемости.

Учитывая выше сказанное можно отметить, что вероятность повторения сильного Гянджинского землетрясения 1139 г. в ближайшие 800 лет составила 0,30.

Особенностью сильных землетрясений, происходивших на территории Азербайджана в исторический период, является их коровая природа. Очаги землетрясений в континентальной части находятся, главным образом, в пределах глубин 10-15 км, могут доходить до 20 км. В пределах акватория гипоцентры землетрясений, как правило, располагаются более глубоко, в пределах глубин 30-35 км, распространяясь на нижние разделы коры. Этим во многом объясняется сейсмический эффект от этих землетрясений на поверхности земли.

Для определения механизма очага Гянджинского землетрясения произошедшего в 1139 г. в доинструментальный период был использован закон подобия очагов землетрясений [Coşkun et al. 2017; Coşkun, 2015; Stich et al., 2005; Fukushima et al.,

Таблица 1 / Table 1

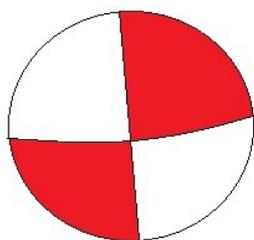
Параметры землетрясений, произошедших в Гянджинском регионе за период 2000-2020 гг. с магнитудой $m_l > 3,0$. / Parameters of the earthquakes occurred in the Gyandzha region for the period 2000-2020 with a magnitude $m_l > 3.0$

<i>Год / Year</i>	<i>Месяц / Month</i>	<i>День / Day</i>	<i>Время / Time</i>	<i>Широта / Latitude</i>	<i>Долгота / Longitude</i>	<i>Глубина / Depth</i>	<i>Локальная магнитуда / Local Magnitude</i>
2012	9	30	05-14-52.20	40.37	46.39	12	3,85
2012	9	30	05-18-27.05	40.36	46.38	12	3,61
2015	7	02	12-27-30.30	40.35	46.31	10	3,01
2017	3	06	06-24-00.67	40.24	46.28	10	3,73
Гянджинское землетрясение / Ganja earthquake							
1139	9	30	-	40.30	46.30	15	6,7

1989]. Учитывая тот факт, что координаты эпицентра данного землетрясения по данным исторических летописей приблизительно равны: широта –40,30 и долгота – 46,30, а глубина очага составила 15 км, нами было выбрано 4 землетрясения произошедшие в пределах данного очага за период 2000-2020 гг. (табл. 1) [Yetirmishli et al., 2017; Telesca et al., 2017].

Для вычисления механизмов очага был использован алгоритм по методу инверсии волновых форм – Time-DomainMomentTensorINVerseCode (TDMTINVC) [Dreger, 2002; Етирмишли и др., 2019]. На основе данного метода мы получили решения тензора момента и моментные магнитуды M_w для 4-ох выбранных землетрясений, произошедших 30 сентября 2012 г., 2 июля 2015 г. и 6 марта 2017 г. (рис. 6-9). В процессе работы изначально были определены функции Грина, которые используются при инверсии наблюдаемых трехкомпонентных широкополосных сигналов (20-100 с) с последующим разложением на скалярный сейсмический момент M_0 и основные параметры ориентации пары сил – азимутальный угол, угол падения и угол скольжения. В процессе обработки были использованы волновые записи, полученные на цифровых станциях с эпицентральным расстоянием от 20 до 350 км. Решениям тензора моментов присваивался коэффициент качества, зависящий от количества станций в инверсии и степени соответствия синтетических и наблюдаемых данных. Кроме того, были переопределены глубины очагов.

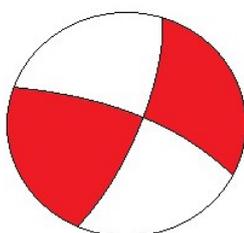
Анализ механизмов очага землетрясений произошедших 30 сентября 2012 г. с магнитудой $m_l=3,9$, 30 сентября 2012 г. с магнитудой $m_l=3,6$ и 2 июля 2015 г. с $m_l=3,0$ характеризуются близгоризонтальными сжимающими и растягивающими напряжениями. Тип движения по обеим крутым ($DP_{1,2}=70-88^\circ$) плоскостям – сдвиг. Сопоставление простирания нодальных плоскостей с тектонической картой разломов на рисунке 10 показывает согласие с линиями системы разломов левостороннего Муровдаг-Зодского поперечного разлома.



30.09.2012 t=05:14, M=3.9 Mw= 3.6 Ganja
40.370 46.390 12.000

Рис. 6. Механизм очага Гянджинского землетрясения, произошедшего 30 сентября 2012 г. с магнитудой ml=3,9. /

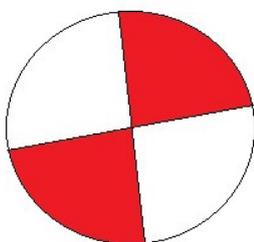
Fig. 6. Focal mechanism of the Gyandzha earthquake occurred on September 30, 2012 with a magnitude ml = 3.9.



30.09.2012 t=05:18, M=3.6, Ganja
40.370 46.380 12.000

Рис. 7. Механизм очага Гянджинского землетрясения, произошедшего 30 сентября 2012 г. с магнитудой ml=3,6. /

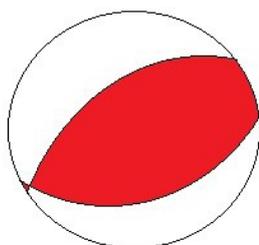
Fig. 7. Focal mechanism of the Gyandzha earthquake occurred on September 30, 2012 with a magnitude ml = 3.6.



02.07.2015 t=12:27, M=3.0, Ganja
40.350 46.310 10.000

Рис. 8. Механизм очага Гянджинского землетрясения, произошедшего 2 июля 2015 г. с магнитудой ml=3,0. /

Fig. 8. Focal mechanism of the Gyandzha earthquake occurred on July 2, 2015 with a magnitude ml = 3.0.



06.03.2017 t=06:24, M=3.7, Ganja
40.240 46.280 10.000

Рис. 9. Механизм очага Гянджинского землетрясения, произошедшего 6 марта 2017 г. с магнитудой ml=3,7. /

Fig. 9. Focal mechanism of the Gyandzha earthquake occurred on March 6, 2017 with a magnitude ml = 3.7.

Таблица 2 / Table 2

Параметры механизмов очага землетрясений, произошедших в Гянджинском регионе за период 2000-2020 с магнитудой $m_l > 3,0$ / Parameters of the focal mechanisms of earthquakes occurred in the Gyandzha region for the period 2000-2020 with a magnitude $m_l > 3.0$

Дата / Date	Широта / Latitude	Долгота / Longitude	Strk	Dp	Slip	Strk	Dp	Slip	Ml	Глубина H (км) / Depth H (km)
2012.09.30	40.37	46.39	356.7	86.3	-18.4	88.0	71.6	-176.1	3,9	12
2012.09.30	40.37	46.38	24.3	80.4	15.3	291.7	74.9	170.1	3,6	12
2015.07.02	40.35	46.31	83.2	89.0	179.5	173.2	89.5	0.96	3,0	10
2017.03.06	40.24	46.28	73.7	26.8	109.9	231.5	64.9	80.2	3,7	10

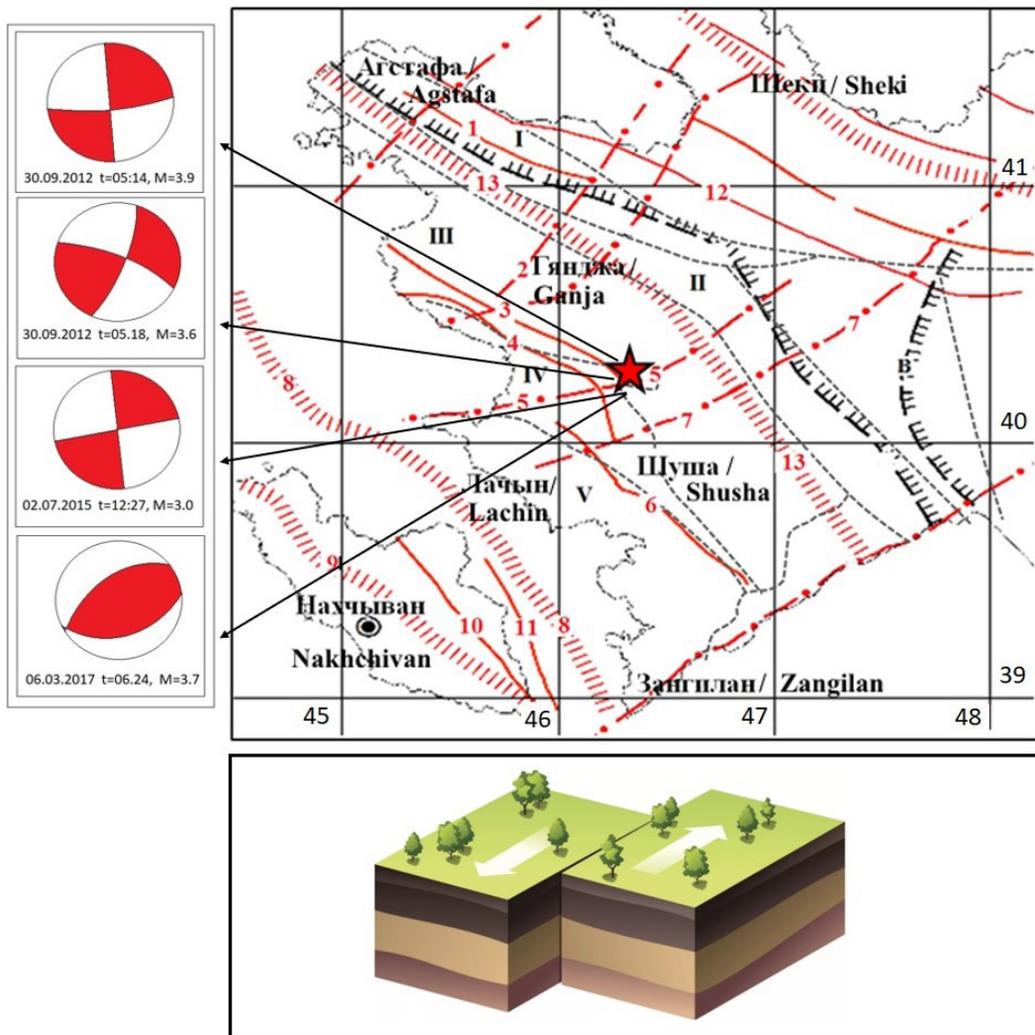


Рис. 10. Тип подвижки – левосторонний сдвиг. /
Fig. 10. Type of the adjustment movement – left-lateral fault.

Выводы

Анализ исторического катастрофического Гянджинского землетрясения произошедшего 30 сентября 1139 г. показал, что землетрясение произошло под действием сжимающих напряжений.

Основываясь на законе подобия очагов землетрясений, а также учитывая тот факт, что координаты эпицентра Гянджинского землетрясения приблизительно равны: широта – 40,30 и долгота – 46,30, а глубина очага составила 15 км, нами было выбрано 4 землетрясения произошедшие в пределах данного очага за период 2000-2020 гг. Таким образом, был установлен тип подвижки левосторонний сдвиг, соответствующий линиям системы разломов левостороннего Муровдаг-Зодского поперечного разлома. Ось сжатия была ориентирована в СВ-ЮЗ-ом направлении, а ось растяжения в СЗ-ЮВ направлении. Для землетрясения, произошедшего 6 марта 2017 г. с магнитудой $m_l=3,7$ был установлен тип подвижки по первой плоскости – надвиг, по второй плоскости – взброс с элементами левостороннего сдвига соответствующий динамике продольного Муровдагского взбросо-надвига. Глубина очага колеблется в пределах 10-12 км. Моментная магнитуда для землетрясений, произошедших 30 сентября составила $M_w=3,6-3,4$, для землетрясения 2 июля 2015 г. $M_w=2,7$ для землетрясения 6 марта 2017 г. $M_w=3,4$.

Анализ графика повторяемости показал, что вероятность повторения сильного Гянджинского землетрясения 1139 г. в ближайшие 800 лет составила 0,30.

Литература

1. Айвазишвили И. В., Папалашвили В. Г. К вопросу сейсмического районирования территории Кавказа. // Труды Инст. Геофизики., АН ГССР. – 1973. – 29 с.
2. Аллахвердиева З. Г. Сейсмическая опасность города Гянджи. // Геология и геофизика Юга России. – 2014. – Т. 4. № 1. – С. 3-7. DOI: 10.23671/VNC. 2014.1.55401
3. Атлас землетрясений в СССР (1911–1957). – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – С. 337.
4. Бабаханов А. Э. Power Bi как инструмент для ГИС-анализа стихийных бедствий на территории Азербайджана. // Интернаука. – 2017. – № 14. – С. 32-36.
5. Бюс Е. И. Сейсмические условия Закавказья. Ч. 1, Хронология землетрясений в Закавказье. – Тбилиси: изд-во АН Груз. ССР, 1948. – 304 с.
6. Геология Азербайджана: В 7-ми т. Т. IV. Тектоника. / Под ред. В. Е. Хаина и Ак. А. Ализаде. – Баку: Nafta-Press, 2005. – 505 с.
7. Гусейнов Р. Сирийские источники XII-XIII вв. об Азербайджане. – Баку: Изд. АН АзССР, 1960.
8. Етирмишли Г. Д., Казымова С. Э., Казымов И. Э. Расчет тензора сейсмического момента землетрясений Азербайджана за период 2012-2015 гг. // Геология и геофизика. – 2019. – Т. 60. № 7. – С. 103-115.
9. Ибн ал-Асир Тарих-ал-камиль. О победе султана Махмуда над курджами. / Перевод П. К. Жузе. Текст воспроизведен по изданию: Материалы по истории Азербайджана из Тарих-ал-камиль (полного свода истории) Ибн-ал-Асира. – Баку: АзФан, 1940. – 138 с.
10. Кенгерли Т. Н., Ахмедбейли Ф. С., Исмаилзаде А. Дж. Карта тектоногеодинамического районирования территории Азербайджанской Республики, 1:750000. Национальный атлас Азербайджана. – Баку: НАНА Институт геологии и геофизики, 2012.

11. Кондорская Н. В., Шебалин Н. В., Хроменецкая Е. А. Новый каталог сильных землетрясений в СССР с древних времен до 1975 года. – М.: Наука, 1977. – 535 с.
12. Малиновский Н. В. Материалы по сейсмическому изучению Азерб. ССР. – Баку: Изд-во Азерб. ФАН СССР, 1940. – С. 10.
13. Михалевский А. А. Землетрясения на Кавказе и их связь с дислокацией края. – Баку: Изв. АГУ. Отд. Естествознания и медицины, 1926. – С. 151-157.
14. Мушкетов И. В., Орлов А. П. Каталог землетрясений Российской Империи. Зап. РГО. – СПб.: Типография Императорской академии наук, 1893. – 583 с.
15. Мхитар Гоги. Албанская хроника. – Баку: Изд. АН АзССР, 1960.
16. Низами Гянджеви. Искендер-наме. – Баку: Изд-во «Чашиоглу», 2007. – 396 с.
17. Султанова З. З. Землетрясения Азербайджана. – Баку: «Гянджлик», 1959. – 89 с.
18. Coşkun Z. Moment Tensor Inversion of Earthquakes in Bartın and Surrounding Cities of Western Black Sea Region. // American Geophysical Union, Fall Meeting. – 2015.
19. Coşkun Z., Yamamoto Y., Kalkan E. E., Pinar A., Kalafat D., Takahashi N., Citak S. Focal Mechanisms in the Sea of Marmara Derived from First Motion Polarities of OBS and Nearby Land Stations. // 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria. – 2017. – p. 6833.
20. Dreger D. S. Time-Domain Moment Tensor INVerseCode (TDMT_INV). // University of California, Berkeley Seismological Laboratory. – 2002. – pp. 18-28.
21. Ergin K. A. Catalogue of Earthquakes of Turkey and Surrounding Area. – Istanbul. – 1971.
22. Fukushima T., Suetsugu D., Nakanishi I., Yamada I. Moment tensor inversion for near earthquakes using long-period digital seismograms. // J. Phys. Earth. – 1989. – Vol. 37. – pp. 1-29.
23. Guidoboni E., Comastri A., Traina G. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to 10th Century. // Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol., Storia Geofis. Ambiente, Bologna, Italy. – 1994.
24. Guidoboni E., Comastri A. Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area From the 11th to the 15th Century. // Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol., Storia Geofis. Ambiente, Bologna, Italy, in press. – 2004.
25. Gutenberg B., Richter C. F. Frequency of Earthquakes in California. // Bulletin of the Seismological Society of America. – 1944. – Vol. 34. – pp. 185-188.
26. Kazimova S. E. Redefinition of Earthquake Hypocenters by the Double Difference Method. // *Geology and Geophysics of Russian South*. – 2020. – Vol. 10 (4). – pp. 41-51. DOI: 10.46698/VNC. 2020.36.81.003.
27. Stich D., Batll J., Maci R., Teves-Costa P., Morales J. Moment tensor inversion with single-component historical seismograms: The 1909 Benavente (Portugal) and Lambesc (France) earthquakes. // *Geophys. J. Int.* – 2005. – Vol. 162. – pp. 850-858.
28. Yetirmishli G. J., Kazimova S. E., Ismailova S. S., Contemporary seismogeodynamic situation of Azerbaijan. // *Seismoprognois observations in the territory of Azerbaijan*. – 2017. – Vol. 14. No. 1. – pp. 36-41.
29. Telesca L., Kadirov F., Yetirmishli G. J., Safarov R., Babayev G., Ismailova S. S. Statistical analysis of the 2003-2016 seismicity of Azerbaijan and surrounding areas. // *Journal of Seismology*. – 2017. – Vol. 21. – pp. 1467-1485.

References

1. Aivazishvili I. V., Papalashvili V. G. The question of seismic zoning of the Caucasus. In: *Proceedings of Institute of Geophysics, Academy of Sciences of the Georgian SSR*. 1973. 29 p. (In Russ.)

2. Allahverdieva Z. G. Seismic hazard of Ganja city. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2014. Vol. 4 (1). pp. 3-7. 10.23671/VNC. 2014.1.55401 (in Russ.).
3. Atlas of earthquakes in the USSR (1911-1957). Moscow. Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1962. p. 337. (In Russ.)
4. Babakhanov A. E. Power Bi as a tool for GIS analysis of natural disasters in Azerbaijan. *Internauka.*, 2017. No. 14. pp. 32-36. (In Russ.)
5. Byus E. I. Seismic conditions of Transcaucasia. Part 1, Chronology of earthquakes in the Caucasus. Tbilisi, Publishing House of Academy of Sciences Gruz. SSR, 1948. 304 p. (In Russ.)
6. Geology of Azerbaijan: In 7 volumes. Vol. IV. Tectonics. Ed. V. E. Khain and Ak. A. Alizadeh. Baku, Nafta-Press, 2005. 505 p. (In Russ.)
7. Guseinov R. Syrian sources of XII-XIII centuries about Azerbaijan. Baku, AS AzSSR, 1960. (In Russ.)
8. Yetirmishli G. D., Kazymova S. E., Kazimov I. E. Calculation of the seismic moment tensor of earthquakes in Azerbaijan for the period 2012-2015. *Geology and Geophysics*, 2019. Vol. 60. No. 7. pp. 103-115. (In Russ.)
9. Ibn al-Athir Tarikh-al-Kamil. About the victory of Sultan Mahmud over the Kurj. Materials on the history of Azerbaijan from Tarikh-al-Kamil (complete collection of history) Ibn-al-Athir. Baku, AzFan, 1940. 138 p. (In Russ.)
10. Kengerli T. N., Akhmedbeili F. S., Ismailzade A. Dzh. Map of tectonogeodynamic zoning of the territory of the Republic of Azerbaijan, 1: 750,000. National Atlas of Azerbaijan. Baku, ANAS Institute of Geology and Geophysics, 2012. (In Russ.)
11. Kondorskaya N. V., Shebalin N. V., Khromenetskaya E. A. New catalog of strong earthquakes in the USSR from ancient times to 1975. Moscow, Nauka, 1977. 535 p. (In Russ.)
12. Malinovsky N. V. Materials on seismic study of Azerb. SSR. Baku, Azerb Publishing House. FAN USSR, 1940. P. 10. (In Russ.)
13. Mikhalevsky A. A. Earthquakes in the Caucasus and their relationship with the dislocation of the region. Baku, Izv. ASU. Dept. Natural Science and Medicine, 1926. pp. 151-157. (In Russ.)
14. Mushketov I. V., Orlov A. P. Catalog of earthquakes of the Russian Empire. Western Russian Geographical Society. Saint-Petersburg. Printing house of the Imperial Academy of Sciences, 1893. 583 p. (In Russ.)
15. Mkhitar Gogi. Albanian Chronicle. Baku, AS AzSSR, 1960. (In Russ.)
16. Nizami Ganjavi. Iskender-name. Baku. "Chashioglu" publishing house, 2007. 396 p. (In Russ.)
17. Sultanova Z. Z. Earthquakes in Azerbaijan. Baku, "Gyandzhlik", 1959. 89 p. (In Russ.)
18. Coşkun Z. Moment Tensor Inversion of Earthquakes in Bartın and Surrounding Cities of Western Black Sea Region. American Geophysical Union, Fall Meeting, 2015.
19. Coşkun Z., Yamamoto Y., Kalkan E. E., Pinar A., Kalafat D., Takahashi N., Citak S. Focal Mechanisms in the Sea of Marmara Derived from First Motion Polarities of OBS and Nearby Land Stations. 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23-28 April, 2017 in Vienna, Austria. 2017. p. 6833.
20. Dreger D. S. Time-Domain Moment Tensor INVerseCode (TDMT_INV). University of California, Berkeley Seismological Laboratory, 2002. pp. 18-28.
21. Ergin K. A. Catalogue of Earthquakes of Turkey and Surrounding Area. Istanbul. 1971.
22. Fukushima T., Suetsugu D., Nakanishi I., Yamada I. Moment tensor inversion for near earthquakes using long-period digital seismograms. *J. Phys. Earth*, 1989. Vol. 37. pp. 1-29.
23. Guidoboni E., Comastri A., Traina G. Catalogue of Ancient Earthquakes in the Mediterranean Area up to 10th Century. *Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol., Storia Geofis. Ambiente*, Bologna, Italy. 1994.

24. Guidoboni E., Comastri A. Catalogue of Earthquakes and Tsunamis in the Mediterranean Area From the 11th to the 15th Century. Ist. Naz. di Geofis. e Vulcanol., Storia Geofis. Ambiente, Bologna, Italy, in press. 2004.

25. Gutenberg B., Richter C.F. Frequency of Earthquakes in California. Bulletin of the Seismological Society of America, 1944. Vol. 34. pp. 185-188.

26. Kazimova S.E. Redefinition of Earthquake Hypocenters by the Double Difference Method. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10 (4). pp. 41-51. DOI: 10.46698/VNC.2020.36.81.003.

27. Stich D., Batll J., Maci R., Teves-Costa P., Morales J. Moment tensor inversion with single-component historical seismograms: The 1909 Benavente (Portugal) and Lambesc (France) earthquakes. *Geophys. J. Int.*, 2005. Vol. 162. pp. 850-858.

28. Yetirmishli G.J., Kazimova S.E., Ismailova S.S. Contemporary seismogeodynamic situation of Azerbaijan. *Seismoprognois observations in the territory of Azerbaijan*. 2017. Vol. 14. No. 1. pp. 36-41.

29. Telesca L., Kadirov F., Yetirmishli G.J., Safarov R., Babayev G., Ismailova S.S. Statistical analysis of the 2003-2016 seismicity of Azerbaijan and surrounding areas. *Journal of Seismology*, 2017. Vol. 21. pp. 1467-1485.

ГЕОТЕКТНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24

DOI: [10.46698/VNC.2021.72.56.006](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.72.56.006)

Оригинальная статья

Особенности связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой Восточного Кавказа

Р. А. Магомедов 

Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН, Россия, 367010, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: ra-mag@yandex.ru

Статья поступила: 21.01.2021, после рецензирования: 18.02.2021, принята к публикации: 10.03.2021

Резюме: Актуальность работы. Возросший интерес к сейсмоактивному региону Восточного Кавказа включая самую сейсмоактивную в европейской части России область диктуется тем, что в сферу повышенных сейсмических воздействий попадают крупные энергетические объекты Сулакского каскада ГЭС, а также строящееся множество малых ГЭС, основные транспортные коммуникации, высоковольтные линии электропередач, нефте-газопроводы федерального и республиканского значений, аэро- и морской порты и крупные, разросшиеся города и поселки региона. Отсутствие исследований по проблеме оценки геодинамической и геотектонической ситуации с привлечением материала по истории геологического развития системы может привести к нежелательным экологическим последствиям. По своим разрушительным действиям, количеству жертв, материальному ущербу и деструктивному воздействию на среду обитания человека, землетрясения занимают одно из первых мест среди других видов природных катастроф. Эти грозные явления природы опасны, прежде всего, потому, что происходят там, где человек живет и работает. Исторически так сложилось, что людям было удобно и экономически выгодно селиться именно там, где время от времени возникают землетрясения. Восточный Кавказ в этом плане не является исключением. Современные геодинамически активные зоны региона в условиях позднеальпийского тектогенеза характеризуются иными геодинамическими условиями по сравнению с герцинской и киммерийской. Альпийский этап тектогенеза характеризуется значительным максимумом своей активизации, с которым связаны современные геодинамические процессы и повышенная современная сейсмическая активность региона. **Цель исследования.** Установление особенностей связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой региона. **Методы исследования.** Основными методами исследования являются палеосейсмогеологический, структурно-тектонический с учетом геодинамического потенциала блоков региона и анализ пространственно-временного распределения сейсмичности за инструментальный период наблюдений. **Результаты исследования.** Установлены особенности связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой региона заключающиеся в том, что области с повышенной современной сейсмической активностью хорошо коррелируются с геодинамическими зонами, имеющими критический геодинамический потенциал и историческую активность. Составлены соответствующие сеймотектонические схемы. Выявлены три субширотные зоны повышенной тектонической активности в Предгорной и Горной частях региона, контролируемые известными субкавказскими разломами. Составлена предварительная схема зон ВОЗ региона.

Ключевые слова: геологическое строение, региональная геотектоника, геодинамика, палеотектоника, современная сейсмичность, палеосейсмичность, современные движения земной коры, очаг землетрясения, зона ВОЗ.

Для цитирования: Магомедов Р. А. Особенности связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой Восточного Кавказа. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 69 – 80. DOI: 10.46698/VNC. 2021.72.56.006.

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

DOI: [10.46698/VNC. 2021.72.56.006](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.72.56.006)

Original paper

Features of relationship between spatial-time distribution of seismicity, the level of geodynamic potential of the earth's crust blocks and fault-block tectonics of the Eastern Caucasus

R. A. Magomedov 

Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, 75 Yaragskogo Str., Makhachkala 367010, Republic of Dagestan, Russian Federation, e-mail: ra-mag@yandex.ru

Received: 21.01.2021, revised: 18.02.2021, accepted: 10.03.2021

Abstract: Relevance. The increased interest in seismically active region of the Eastern Caucasus, including the most seismically active in the European part of Russia, the region is dictated by the fact that elevated seismic effects get a large energy facilities Sulak cascade, and also built many small hydroelectric power station, the main transport lines, high voltage power lines, oil pipelines Federal and Republican values, aerial and sea ports, and a large, sprawling cities and towns of the region. The lack of research on the problem of assessing the geodynamic and geotectonic situation with the involvement of material on the history of the geological development of the system can lead to undesirable environmental consequences. **Aim.** To establish the relationship between the spatial-temporal distribution of seismicity, the level of geodynamic potential of the crustal blocks and the fault-block tectonics of the region. **Methods.** The main research methods are paleoseismogeological, structural-tectonic, taking into account the geodynamic potential of the blocks of the region, and the analysis of the spatial-temporal distribution of seismicity over the instrumental period of observations. **Results.** The features of the relationship between the spatial-temporal distribution of seismicity, the level of geodynamic potential of crustal blocks and the fault-block tectonics of the region are established, which consist in the fact that areas with increased modern seismic activity are well correlated with geodynamic zones with critical geodynamic potential and historical activity. The corresponding seismotectonic schemes are drawn up. Three sublatitudinal zones of increased tectonic activity in the Foothill and Mountainous parts of the region, controlled by known Subcaucasian faults, have been identified. A preliminary map of the WHO zones in the region has been drawn up.

Keywords: geological structure, regional geotectonics, geodynamics, paleotectonics, modern seismicity, paleoseismicity, modern movements of the earth's crust, earthquake source, WHO zone.

For citation: Magomedov R. A. Features of relationship between spatial-time distribution of seismicity, the level of geodynamic potential of the earth's crust blocks and fault-block tectonics of the Eastern Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South* (in Russ.). 2021. 11 (1): 69 – 80. DOI: 10.46698/VNC. 2021.72.56.006.

Введение

В работе сделана попытка установления связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой Восточного Кавказа. Современные геодинамически активные зоны региона в условиях позднеальпийского тектогенеза характеризуются иными геодинамическими условиями по сравнению с герцинской и киммерийской [Короновский, 1994; Милановский, 1968; Хаин, 1973 и др.]. Альпийский этап тектогенеза характеризуется значительным максимумом своей активизации, с которым связаны современные геодинамические процессы и повышенная современная сейсмическая активность региона. Геодинамически активные зоны развиваются, главным образом, в условиях сопряжения неотектонических структур, имеющих различные геодинамические условия, и имеют тектоническое происхождение. В регионе это – предгорная часть (зона коллизии Кавказского складчатого сооружения с Евразийской (Скифской и Туранской) плитой).

Исследуемый регион в геолого-геофизическом отношении считается хорошо изученным [Артюшков, 1979; Брод, 1938; Буторин, Галин, 1972; Геологическая изученность СССР, 1989; Геология и нефтегазоносность Восточного Предкавказья, 1958; Геология и нефтегазоносность юга СССР, 1959; Короновский, 1994; Краснопевцева и др., 1966; Криволицкий, 1954; Маркус, 1986; Милановский, 1968; Милановский, Хаин, 1963; Vachmanov et al., 2017; Imaeva et al., 2017; Vornyaakov et al., 2017 и др.]. Поскольку наиболее изучен и достаточно хорошо подкреплён фактическим материалом северо-восточный сегмент Восточного Кавказа, в работе упор делается именно на этот участок, как объект нашего исследования. В основу изучения глубинного строения Восточного Кавказа положены представления о блоковом строении субстрата в горно-складчатых областях, которое формируется в результате подвижек по системе глубинных разломов разного заложения.

Цель исследования

Восточный Кавказ представляет собой энергонасыщенный блок земной коры, который в свою очередь состоит из блоков меньшего порядка, среди которых имеются блоки с аномальными по интенсивности (амплитуде) и импульсивности (скорости) проявлениями геодинамических процессов (с высоким геодинамическим потенциалом). Геодинамический потенциал обладает пространственно-временной нестабильностью, которая проявляется в квазипериодичности разного пространственно-временного масштаба [Магомедов, 2014 и др.; Магомедов, Мамаев, 2019]. На фоне выраженной региональной дифференцированности напряженного состояния земных недр имеют место локальные аномальные проявления современных геодинамических процессов (геодинамические аномалии). Отмечаются пространственно-временные закономерные связи между геодинамическим и флюидодинамическим режимами осадочного чехла (Вартанян, 1979; Вартанян, Куликов, 1983; Каракин, 1990; Касьянова, 1994; Киссин, 1985; Магомедов, 2001 и др.) и т. д. Целью данного исследования являлось установление особенностей связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой региона.

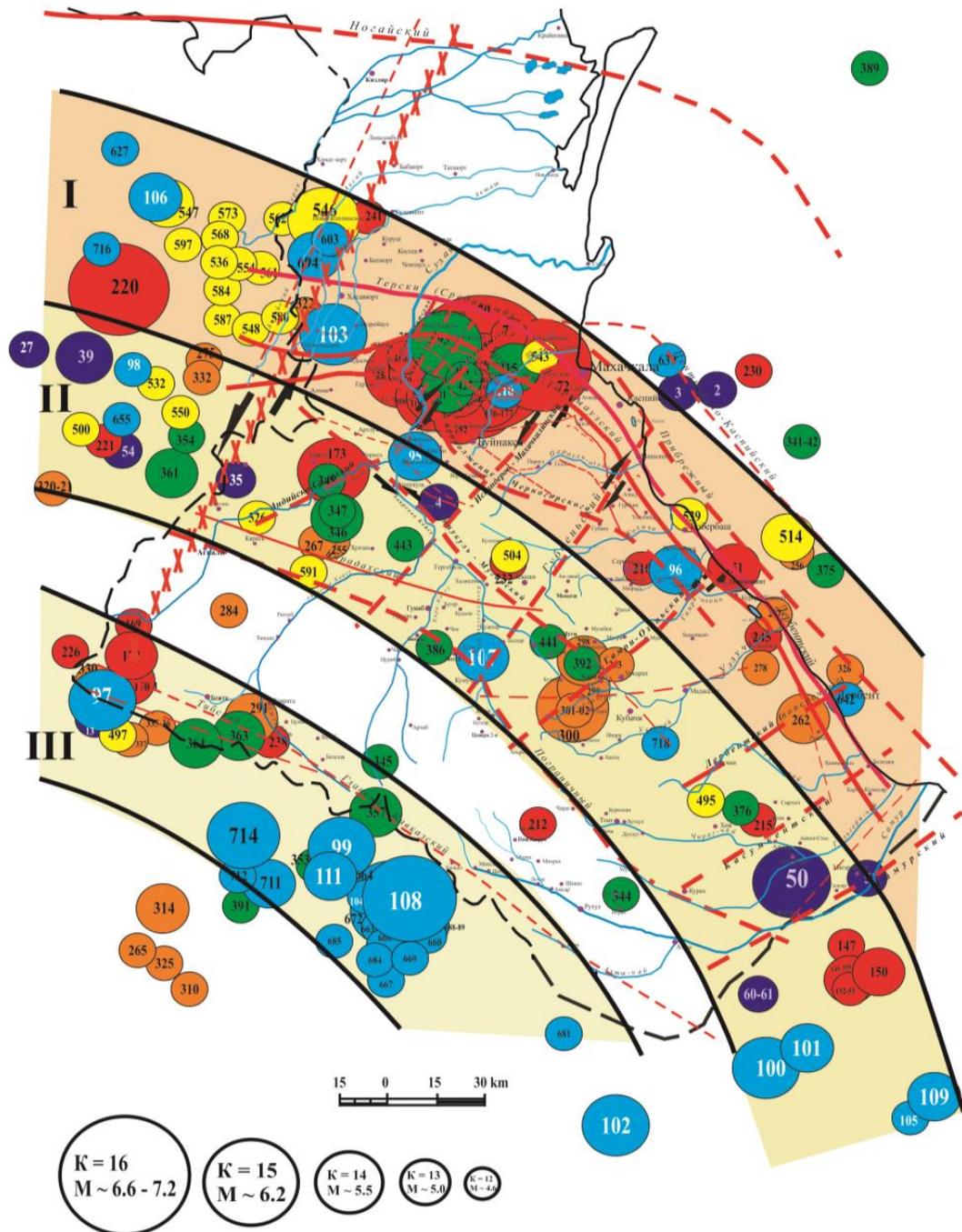


Рис. 1. Субширотные зоны повышенной тектонической активности на северо-восточном сегменте Восточного Кавказа.

Условные обозначения: Зоны повышенной тектонической активности: I – Предгорная, II – Центральная, III – Горная. Эпицентры землетрясений с энергетической характеристикой (в хронологическом порядке): 1960-69 гг. (фиолетовый цвет), 1970-1979 гг. (красный цвет), 1980-1990 гг. (коричневый цвет), 1991-2001 гг. (зеленый цвет), 2002-2010 гг. (желтый цвет), 2011-2020 гг. (синий цвет) /

Fig. 1. Sublatitudinal zones of increased tectonic activity in the northeastern segment of the Eastern Caucasus.

Legend: Zones of increased tectonic activity: I – Foothill, II – Central, III – Mountain. Earthquake epicenters with energy characteristics (in chronological order): 1960-1969 (purple), 1970-1979 (red), 1980-1990 (brown), 1991-2001 (green), 2002-2010 (yellow), 2011-2020 (blue color)

Методы исследования

Структурно-тектонический анализ показал что, существенная роль в формировании современного структурного плана Восточного Кавказа принадлежит разрывным нарушениям субширотного и субмеридионального направлений четко выраженным в рельефе фундамента и определяющих его блоковое строение. Основными методами исследования явились палеосейсмогеологический, структурно-тектонический с учетом геодинамического потенциала блоков региона [Магомедов, 2020] и анализ пространственно-временного распределения сейсмичности за инструментальный период наблюдений (<http://www.seme.gsras.ru>).

Результаты исследований

В результате проведенных исследований, на северо-восточном сегменте Восточного Кавказа нами выделены 9 квазиоднородных блоков местного порядка, а в пределах каждого – по 4 блока наименьшего порядка и определены их геодинамические потенциалы в условных единицах [Магомедов, 2020]. Условный геодинамический потенциал – энергия, необходимая для образования блока земной коры того размера и формы, который он имеет в настоящее время в данной структуре. Под значением геодинамического потенциала понимается функция, отражающая энергетическое состояние блоков литосферы. На следующем этапе исследований стояла задача определения особенностей связи между пространственно-временным распределением сейсмичности и разломно-блоковой тектоникой региона, а также, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры региона.

Анализ распределения сейсмичности за инструментальный период наблюдений (1960-2020 гг.) выявил 3 субширотные зоны повышенной тектонической активности в Предгорной и Горной частях региона, контролируемые известными крупными разломами субширотного (кавказского) простирания (I – Предгорная, II – Центральная, III – Горная) (рис. 1).

Первая, наиболее активная – контролируется Терским (Срединным) разломом, переходящим в юго-восточном направлении на Прибрежный и Дербентский разломы, а также, Пшекыш-Тырныаузским разломом, который ориентирован параллельно первому.

Вторая зона контролируется Унцукуль-Мугибским предполагаемым глубинным разломом с продолжением в юго-восточном направлении в сторону Азербайджана и Пограничным разломом, который также ориентирован параллельно первому.

Третья зона контролируется так называемым Главным Кавказским разломом.

Все три зоны отмечены высокой современной тектонической и сейсмической активностью (рис. 1) и согласуются с исторической активностью (рис. 2).

На этом основании зонам повышенной тектонической активности присвоена потенциальная сейсмическая активность и составлены сеймотектонические схемы в соответствующем масштабе. Результаты применения метода сеймотектонических аналогий для региона представлены в табличной форме (табл. 1).

Проекции гипоцентров современных и исторических землетрясений с магнитудами более 5 на дневную поверхность отражают их пространственные положения на смесителях глубинных разломов при глубинах от ~ 20 до 80 км, что соответствует инструментальным данным и моделям сочленения Скифско-Туранской плиты и Кавказского складчатого сооружения [Милановский, 1968, 1987; Хаин, 1973; и т. д.].

Таблица 1 / Table 1

**Субширотные зоны повышенной тектонической активности СВ сегмента
Восточного Кавказа / Sublatitudinal zones of increased tectonic activity
of the NE segment of the Eastern Caucasus**

Зоны повышенной тектонической активности / Zones of increased tectonic activity	$M_{\max}^{\text{набл.}} / M_{\max}^{\text{obs.}}$	Интервал глубин очагов, км / Depth interval of foci, km	Сейсмичность, балл / Seismicity, point
I – Предгорная / Piedmont	6,6 (1970)	8-17, 25-40	9
II – Центральная / Central	5,8 (1988)	10-33, 50, 60	8
III – Горная / Mountain	5,8 (1988, 2012)	10-80	9

Примечание: При выделении зон максимальная наблюдаемая в зоне магнитуда принималась в качестве M_{\max} . / Note: When identifying zones, the maximum observed magnitude in the zone was taken as M_{\max} .

Первая зона повышенной тектонической активности выделяется среди остальных своей активностью и уровнем геодинамического потенциала. Здесь отмечается наибольшее количество глубинных поперечных активных разломов, таких как Чиркей-Экибулакский, Ахатлы-Кумторкалинский, Какаюртовский, Пираузский, Зурамакентский, Искандерон-Махачкалинский, Губденьский, Гамри-Озеньский, Дербентский (поперечный), Касумкентский, Самурский и др. Эпицентры землетрясений с магнитудами более 5 тяготеют к зонам пересечений этих разломов с субширотными.

Высокая концентрация эпицентров землетрясений с M более 5 отмечается на стыке геодинамического блока (Чиркей-Буйнакск-Махачкалинская зона), имеющего наибольший геодинамический потенциал и современную активность [Магомедов, 2020]. Это высокосейсмичный район к западу от Махачкалы и приурочен он к вершине поперечного поднятия Дагестанского выступа и одновременно к вероятному продолжению Пшекиш-Тырныузской шовной зоны. Эта зона современной сейсмической активности также одновременно приурочена к зоне сочленения Сулакского выступа с Капчугайским грабеном по Чиркей-Экибулакскому глубинному разлому. Здесь же простираются узкие (шириной несколько км) линейно-вытянутые в субкавказском направлении, межблоковые зоны (участки новейших поднятий и опусканий земной коры) – район Миатлов, Шамхал-Булака и Экибулака, где в майкопское время отмечалось интенсивное грабенообразование, в которых мощность осадков в 2 и более раз превышала значения в сопряженных блоках. Глубины гипоцентров в горстах в среднем составляют 25 км, а в смежных грабенах – около 10 км, что однозначно свидетельствует об их принадлежности к наклонным сейсмофокальным пластинам, о чем свидетельствует и интенсивность сотрясаемости до 9 баллов при разных глубинах гипоцентров.

Таким образом, вышеизложенное, а также, распределение современной сейсмичности и уровень геодинамического потенциала блока 5б позволяет нам принять эту область за потенциальную зону ВОЗ (рис. 3).

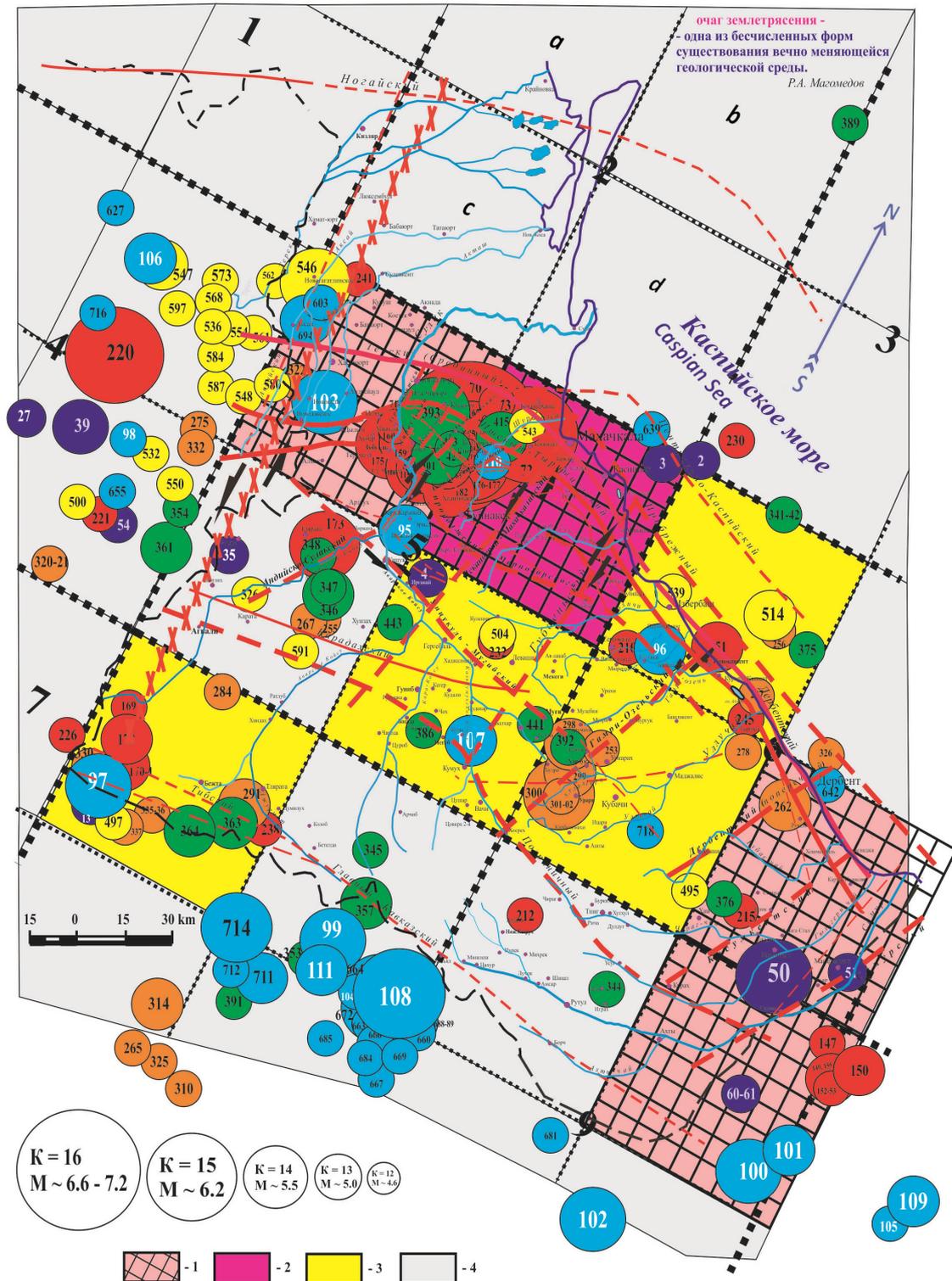


Рис. 3. Карта эпицентров землетрясений с магнитудами более 5 наложенная на схему геодинамических блоков с разломно-блоковой структурой северо-восточного сегмента Восточного Кавказа с вычисленными геодинамическими потенциалами (с 1960 по 2020 гг.).
 Условные обозначения: 1 – потенциальные зоны ожидания возможных очагов сильных землетрясений, имеющие суммарные значения геодинамического потенциала, в условных единицах, в пределах от 3,8 до 5,8. 2 – блок, имеющий наибольший геодинамический потенциал (5,8) и современную активность. 3 – блоки, имеющие критический (более 2,9 ед. – 50% барьер) геодинамический потенциал. 4 – прочие блоки, имеющие геодинамический потенциал ниже критического. Остальные условные обозначения – как на рисунке 1 /

Fig. 3. Map of earthquake epicenters with magnitudes greater than 5 superimposed on a diagram of geodynamic blocks with a fault-block structure of the north-eastern segment of the Eastern Caucasus with calculated geodynamic potentials (from 1960 to 2020).

Legend: 1 – potential waiting zones for possible foci of strong earthquakes, having the total values of the geodynamic potential, in conventional units, ranging from 3.8 to 5.8. 2 – the block with the highest geodynamic potential (5.8) and current activity. 3 – blocks that have a critical (more than 2.9 units – 50% barrier) geodynamic potential. 4 – other blocks that have a geodynamic potential below the critical one. The remaining symbols are as shown in Figure 1

Следующей активной зоной является Дербентская, с приграничной с Азербайджаном областью, где также отмечается повышенная современная и историческая сейсмическая активность и критический уровень геодинамического потенциала. Помимо отмеченных зон выделяются еще две потенциальные зоны ВОЗ: Лагодехи-Белоканы-Закаталинская и Чеченская (Аргун-Гудермес-Хасавюртовская), где также отмечается высокая современная и историческая сейсмическая активность.

Следует обратить внимание и на область пересечения Гамри-Озеньского глубинного разлома с Унцукуль-Мугибским (Дейбук-Харбук-Уркарахская зона), где концентрируются активные разломы осадочного чехла и отмечается повышенная сейсмическая активность в инструментальный период наблюдений, которая не наблюдалась, по историческим данным, за последние 400 лет (зона сейсмического затишья) [Мамаев и др., 2009].

В результате проведенных исследований составлена предварительная схема зон ВОЗ региона (рис. 4).

Заключение

В результате проведенных исследований:

1. Выявлены 3 субширотные зоны повышенной тектонической активности в Предгорной и Горной частях региона, контролируемые известными субкавказскими разломами.

2. Установлены особенности связи между пространственно-временным распределением сейсмичности, уровнем геодинамического потенциала блоков земной коры и разломно-блоковой тектоникой региона заключающиеся в том, что области с повышенной современной сейсмической активностью хорошо коррелируются с геодинамическими зонами, имеющими критический (50%-й барьер и выше) геодинамический потенциал и историческую активность.

3. Предварительно, в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа, выделены потенциальные зоны ВОЗ. Составлена предварительная схема зон ВОЗ региона.

Конечно, многие узловые вопросы геотектоники региона до сих пор являются дискуссионными. Возникновение очагов землетрясений в регионе, по результатам наших исследований, является следствием повышенной новейшей (голоценовой) тектонической активности, следствием которой является накопление тектонических напряжений, возникающих как вдоль основных разломов (Пшекиш-Тырныузский, Терский или Срединный, Черногорский и др.), так и сдвигов внутри самих блоков вдоль поперечных разломов (Чиркей-Экибулакский, Искандерон-Махачкалинский, Губденский, Гамри-Озеньский, Аграхано-Тбилиско-Левантийский 1-го порядка и др.).

Предварительно выделенные потенциальные зоны ВОЗ в уточненном варианте, могут послужить основанием для постановки дополнительных геофизических и GPS (ГЛОНАС) – наблюдений, а также геодеформационных наблюдений (совмест-

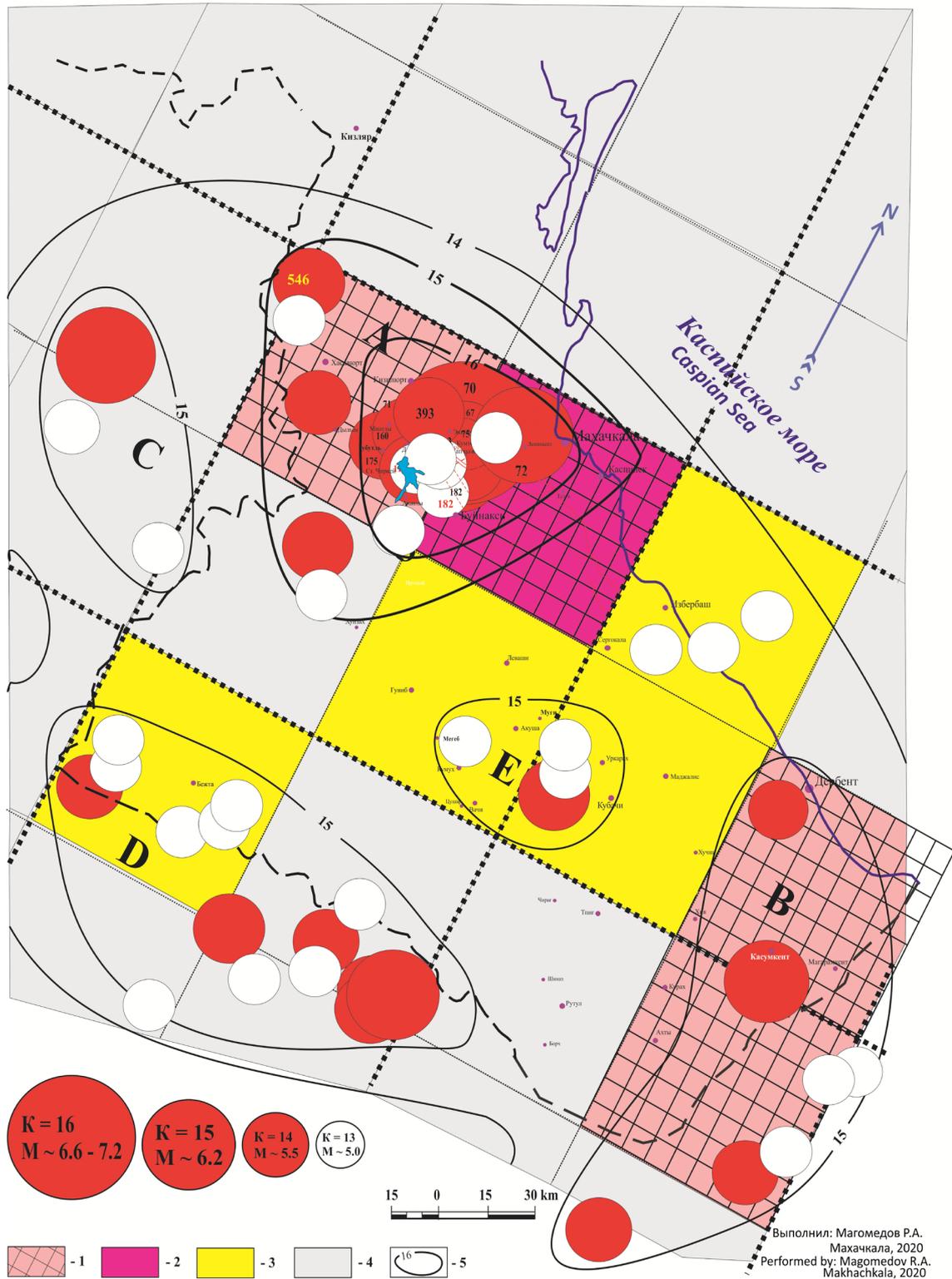


Рис. 4. Предварительная схема зон ВОЗ северо-восточного сегмента Восточного Кавказа. Условные обозначения: зоны ВОЗ: А – Чиркей-Буйнакск-Махачкалинская, В – Дербентская, С – Чеченская, D – Лагодехи-Белоканы-Закаталинская, E – Дейбук-Харбук-Уркарахская. 5 – изолинии K_{max} . Остальные условные обозначения – как на рисунке 3 /

Fig. 4. Preliminary map of WHO zones in the north-eastern segment of the Eastern Caucasus. Legend: WHO zones: A – Chirkei-Buinaksk-Makhachkala, B – Derbent, C-Chechen, D-Lagodekhi-Belokany-Zakatala, E – Deibuk-Harbuk-Urkarakh. 5 – K_{max} isolines. The remaining symbols are as shown in Figure 3

но с наблюдением за ГГД-полем) в режиме мониторинга и полевых работ по картированию палеосейсмодислокаций и палеодеформаций [Таймазов и др., 2019].

Применение дополнительных геолого-геофизических методов и поиск признаков палеосейсмичности позволит уточнить предварительно выделенные потенциальные зоны ВОЗ, оценить максимально возможные магнитуды и снизить риск экологических последствий современной сейсмичности.

Литература

1. Артющков Е. В. Геодинамика. – М.: Наука, 1979. – 327 с.
2. Брод И. О. Тектоника и нефтеносность Восточного Предкавказья. // Советская геология. – 1938. – Т. VIII. № 7. – С. 3-23.
3. Буторин Г. Д., Галин В. Л. Тектоника передовой складчатой зоны Дагестанского выступа в связи с поисками залежей нефти и газа. // Советская геология. – 1972. – № 9. – С. 127-133.
4. Геологическая изученность СССР. Дагестанская АССР. Т. 13. Период 1971-75 гг. Вып. 1. Министерство геологии СССР. Северокавказское производственное геологическое объединение «Севкавгеология», ДГРЭ. – Москва: Недра, 1989.
5. Геология и нефтегазоносность Восточного Предкавказья. Вып. 1. Тр. КЮГЭ. / Под ред. И. О. Брода. – Ленинград: Гостоптехиздат, 1958. – 622 с.
6. Геология и нефтегазоносность юга СССР. Дагестан. Вып. 4. Тр. КЮГЭ. / Под ред. И. О. Брода. – Ленинград: Гостоптехиздат, 1959. – 432 с.
7. Короновский Н. В. Аграхан-Тбилиско-Левантийская левосдвиговая зона – важнейшая структура Кавказского региона. // Доклады РАН. – 1994. – Т. 337. № 1. – С. 83-89.
8. Краснопевцева Г. В. и др. Результаты глубинного сейсмического зондирования земной коры Кавказа. // В кн.: Глубинное строение Кавказа. – М.: Наука, 1966. – С. 43-56.
9. Криволицкий Н. В. Тектонические характеристики области Известнякового Дагестана. // Труды ВНИГРИ. – 1954. – № 4. – С. 148-193.
10. Магомедов Р. А., Мамаев С. А. Некоторые результаты исследований геотектонических условий и современной сейсмичности Восточного Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 1. – С. 29-42. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26786.
11. Магомедов Р. А. Геодинамический потенциал блоков Восточного Кавказа. // Труды ИГ ДНЦ РАН. – 2020. – № 3. – С. 56-63.
12. Магомедов Р. А. Дизъюнктивная тектоника и современная сейсмичность территории Восточного Кавказа // Отечественная геология. – 2014. – № 3. – С. 69-77.
13. Мамаев С. А. и др. Наблюдения за микросейсмической эмиссией на территории Дагестана. Ресурсы подземных вод Юга России и меры по их рациональному использованию, охране и воспроизводству. // Труды ИГ ДНЦ РАН. – 2009. – Вып. 55. – С. 279-281.
14. Маркус М. А. Долгоживущие структуры Восточного Кавказа. // Советская геология. – 1986. – № 10. – С. 63-69.
15. Милановский Е. Е. Новейшая тектоника Кавказа. – М.: Недра, 1968. – 484 с.
16. Милановский Е. Е. Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез в подвижных поясах). – М.: Недра, 1987.
17. Милановский Е. Е., Хаин В. Е. Геологическое строение Кавказа. – М.: Изд-во МГУ, 1963. – 240 с.
18. Таймазов Д. Г., Мамаев С. А., Мамаев А. С. О перспективных направлениях развития средств и методов повышения сейсмической безопасности территории Дагестана. // Геология и Геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 4. – С. 126-139. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44536.
19. Хаин В. Е. Общая геотектоника. – М.: Недра, 1973. – 512 с.
20. Bachmanov D. M., Kozhurin A. I., Trifonov V. G. The active faults of Eurasia database. // Geodynamics & Tectonophysics. – 2017. – Vol. 8 (4). – pp. 711-736.
21. Imaeva L. P., Gusev G. S., Imaev V. S., Ashurkov S. V., Melnikova V. I., Serechkina A. I. Geodynamic activity of modern structures and tectonic stress fields in northeast Asia. // Geodynamics & Tectonophysics. – 2017. – Vol. 8 (4). – pp. 737-768.

22. 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. – Vol. 8 (4). – pp. 989-998.

References

1. Artyushkov E. V. *Geodynamics*. Moscow, Nauka, 1979. 327 p. (In Russ.)
2. Brod I. O. Tectonics and oil-bearing capacity of the Eastern Ciscaucasia. *Soviet Geology*, 1938. Vol. VIII. No. 7. pp. 3-23. (In Russ.)
3. Butorin G. D., Galin V. L. Tectonics of the forward fold zone of the Dagestan uplift in connection with the search for oil and gas deposits. *Soviet Geology*, 1972. No. 9. pp. 127-133. (In Russ.)
4. Geological study of the USSR. Dagestan ASSR. Vol. 13. Period 1971-75. Issue 1. Ministry of Geology of the USSR. North Caucasian Production Geological Association "Sevkavgeologiya", DGRE. Moscow. Nedra, 1989. (In Russ.)
5. Geology and oil and gas content of the Eastern Ciscaucasia. Issue 1. Proceedings of KYuge. Leningrad. Gostoptekhizdat, 1958. 622 p. (In Russ.)
6. Geology and oil and gas content of the south of the USSR. Dagestan. Issue 4. Proceedings of KYuge. Leningrad. Gostoptekhizdat, 1959. 432 p. (In Russ.)
7. Koronovskii N. V. The Agrakhan-Tbilisi-Levantine left-lateral shear zone is the most important structure of the Caucasus region. *Reports of RAS*, 1994. Vol. 337. No. 1. pp. 83-89. (In Russ.)
8. Krasnopevtseva G. V. et al. Results of deep seismic sounding of the Earth's crust in the Caucasus. In: *The deep structure of the Caucasus*. Moscow. Nauka, 1966. pp. 43-56. (In Russ.)
9. Krivolitskii N. V. Tectonic characteristics of the Limestone Dagestan region. In: *Proceedings of VNIGRI*, 1954. No. 4. pp. 148-193. (In Russ.)
10. Magomedov R. A., Mamaev S. A. Some results of research of geotectonic conditions, geodynamics and modern seismicity East Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. Vol. 9 (1). pp. 29-42. DOI: 10.23671/VNC. 2019.1.26786. (In Russ.)
11. Magomedov R. A. Geodynamic potential of the blocks of the Eastern Caucasus. In: *Proceedings of the IG DSC RAS*, 2020. No. 3. pp. 56-63. (In Russ.)
12. Magomedov R. A. Disjunctive tectonics and modern seismicity of the territory of the Eastern Caucasus. *Otechestvennaya geologiya*, 2014. No. 3. pp. 69-77. (In Russ.)
13. Mamaev S. A. et al. Observations of microseismic emission in the territory of Dagestan. Groundwater resources of the South of Russia and measures for their rational use, protection and reproduction. In: *Proceedings of the IG DSC RAS*, 2009. Issue. 55. pp. 279-281. (In Russ.)
14. Markus M. A. Long-lived structures of the Eastern Caucasus. *Soviet Geology*, 1986. No. 10. pp. 63-69. (In Russ.)
15. Milanovskii E. E. *The latest tectonics of the Caucasus*. Moscow. Nedra, 1968. 484 p. (In Russ.)
16. Milanovskii E. E. *Rifting in the history of the Earth (rifting in mobile belts)*. Moscow. Nedra, 1987. (In Russ.)
17. Milanovskii E. E., Khain V. E. *Geological structure of the Caucasus*. Moscow. Publishing house of MSU, 1963. 240 p. (In Russ.)
18. Taymazov D. G., Mamaev S. A., Mamaev A. S. On the promising areas for the development of tools and methods of improving the seismic safety of the territory of Dagestan. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2019. Vol. 9 (4). pp. 126-139. DOI: 10.23671/VNC. 2019.4.44536x. (In Russ.)
19. Khain V. E. *General geotectonics*. Moscow. Nedra, 1973. 512 p. (In Russ.)
20. Bachmanov D. M., Kozhurin A. I., Trifonov V. G. The active faults of Eurasia database. *Geodynamics & Tectonophysics*, 2017. Vol. 8 (4). pp. 711-736.
21. 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. Vol. 8 (4). pp. 737-768.
22. 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. Vol. 8 (4). pp. 989-998.

ГЕОТЕКТНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.2.01

DOI: [10.46698/VNC.2021.15.66.007](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.15.66.007)

Оригинальная статья

Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями

Х. О. Чотчаев , **О. Г. Бурдзиева** , **В. Б. Заалишвили** 

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

Статья поступила: 26.01.2021, после рецензирования: 25.02.2021, принята к публикации: 05.03.2021

Резюме: Актуальность работы. Геотектонические, литологические и ландшафтно-морфологические особенности территорий, функционирующих туристско-рекреационных комплексов Центрального Кавказа, определяют платформенный характер развития Скифской плиты, южной окраиной вовлеченной совместно с причлененными микроплитами-террейнами (Предкавказская, Бечасынская, Восточно-Кавказская) в горообразовательный процесс Большого Кавказа. Иной характер геологического развития претерпели территории южного склона Большого Кавказа, вовлеченные в горообразовательный процесс как океанические плиты – террейны (Закавказская плита, Южная микроплита – сложенные толщиной чередующегося флиша глинистых сланцев с прослоями песчаников, мергелей, известняков). Прижатая к жесткой Скифской плите с юга Закавказской плитой, подпираемой Аравийской платформой, Южная микроплита подверглась интенсивной деформации, глубинным тектоническим проявлениям субширотной ориентировки, являющимся каналами активного проявления эндогенных геодинамических процессов. Создание туристско-рекреационного комплекса на Южном склоне Центрального Кавказа предполагает прогноз темпов геоэкологической эволюции в условиях активной геодинамики и интенсивного проявления опасных геологических процессов. **Цель исследований** – зонирование интенсивностей уровней геоэкологических нагрузок геодинамических и климатических воздействий для дифференцированного целевого использования соответствующих площадей. В процессе исследований выявлены геодинамические и климатические факторы, характерные для территории и реализовано ранжирование интегральных воздействий на исследуемой территории. **Методика** заключалась в разбиении территории на элементы площади размерами 4×4 кв. км, учете значимых факторов воздействия на элемент площади и суммировании интенсивностей, определяемых экспертными оценками ранжирования, обусловленных каждым из природных воздействий. В процессе решения **задач** были определены геодинамические и климатические факторы, характерные для территории; дифференцированы геотектонические и геоморфологические условия их проявления; проведена экспертная оценка интенсивности воздействия каждого фактора по пятибалльной системе и установлен суммарный максимально возможный потенциал воздействия. **Результаты** исследований стали основой составления соответствующей карты – схемы зонирования исследуемой территории на зоны с интенсивностями, характеризующими различные уровни геоэкологической нагрузки.

Ключевые слова: Южный склон, Центральный Кавказ, опасные геодинамические процессы, геоэкологическая нагрузка, зонирование.

Для цитирования: Чотчаев Х. О., Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б. Зонирование высокогорных территорий по геоэкологическим нагрузкам, обусловленным геодинамическими и климатическими воздействиями. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 81 – 94. DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007.

DOI: [10.46698/VNC.2021.15.66.007](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.15.66.007)

Original paper

Zoning of high mountainous areas by geoeological loads caused by geodynamic and climatic influences

Kh. O. Chotchaev^{id}, **O. G. Burdzieva**^{id}, **V. B. Zaalishvili**^{id}

Geophysical Institute, Vladikavkaz Scientific Centre, Russian Academy of Sciences, 93a Markova Str., Vladikavkaz 362002, Russian Federation, e-mail: chotho@yandex. ru

Received: 26.01.2021, revised: 25.02.2021, accepted: 05.03.2021

Abstract: Relevance. The geotectonic, lithological and landscape-morphological features of the territories where tourist and recreational complexes are functioning in the Central Caucasus determine the platform nature of the development of the Scythian plate. The southern margin of this plate is involved, together with the attached microplate-terrane (Ciscaucasia, Bechasynskaya, East Caucasian), in the mountain-forming process of the Greater Caucasus. The territories of the southern slope of the Greater Caucasus, involved in the mountain-forming process as oceanic plates – terranes (Transcaucasian plate, South microplate – folded by a layer of alternating flysch of clay shales with interlayers of sandstones, marls, limestones) have undergone a different character of geological development. The Southern microplate is pressed against the rigid Scythian plate from the south by the Transcaucasian plate, supported by the Arabian platform. It has undergone intense deformation, deep tectonic manifestations of sublatitudinal orientation, which are channels for the active manifestation of endogenous geodynamic processes. The creation of a tourist and recreational complex on the southern slope of the Central Caucasus presupposes a forecast of the geoeological evolution rate in conditions of active geodynamics and intensive manifestation of dangerous geological processes. **The Aim** of the study is the zoning of the intensity levels of the geoeological loads of geodynamic and climatic influences for the differentiated target use of the corresponding areas. In the course of research, geodynamic and climatic factors characteristic for the territory were identified and the ranking of integral impacts on the studied territory was implemented. **The methods** consisted in dividing the territory into area elements of 4×4 square km., taking into account the significant factors of influence on the element of the area and summing up the intensities determined by expert estimates of the ranking caused by each of the natural impacts. In the process of solving the problems, the geodynamic and climatic factors characteristic for the territory were determined; differentiated geotectonic and geomorphological conditions of their manifestation; an expert assessment of the intensity of the impact of each factor was carried out according to a five-point system and the total maximum possible impact potential was established. **Results** of the study became the basis for the compilation of the corresponding map – the zoning scheme of the study area into zones with intensities characterizing different levels of geoeological load.

Keywords: Southern slope, Central Caucasus, dangerous geodynamic processes, geoeological load, zoning.

For citation: Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Zoning of high mountainous areas by geoeological loads caused by geodynamic and climatic influences. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (1): 81 – 94. DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007.

Введение

Рассматривая земную поверхностную оболочку не только как среду генерирующую энергию за счет биологической деятельности [Вернадский, 1967], но и как область воздействия активных неорганических агентов эндогенной природы, не-

трудно объяснить природу, масштабы и темпы возникновения современной коры выветривания, широкое развитие четвертичных образований, составляющих основу большинства опасных геологических процессов.

Длительное разрушающее воздействие статических напряжений и физико-химических полей на породы определяют причинно-следственную зависимость эндогенных и экзогенных геодинамических процессов, подтверждением чего служит повсеместная приуроченность очагов опасных экзогенных процессов к активным тектоническим нарушениям и их линеаментам. Активные тектонические нарушения обладают к тому же биологическим действием через физические поля-индикаторы, влияющие не только на геоэкологию территории, но и на экологическую эволюцию [Cesnulevicius, 2005; Gentili et al., 2010; Pope et al., 2010].

Интенсивность геодинамического воздействия зависит от геодинамической активности литосферы (эндогенная геодинамика), литологического состава осадочного чехла, условий взаимодействия геологической среды с атмосферой, климатических изменений (экзогенная геодинамика). Геодинамические и климатические процессы определяют геоэкологическое состояние среды обитания и эволюцию Земли в целом. Критериями такой оценки рассматриваются сейсмичность (редко и тектонические подвижки) и пораженность территории экзогенными процессами [Абалаков, 2007; Спивак, Кишкина, 2004; Яроцкий, Чотчаев, 2016] как факторы доступные человеку для исследования. Но связь даже этих двух проявлений земной эволюции на тонком уровне (комплекса физических полей – деформационных, дислокационных, электромагнитных, геохимических, тепловых) остается неясной.

Анализ любого экзогенного природного геологического процесса, независимо от агента воздействия, показывает, что объект к событию длительно подготавливается эндогенным геодинамическим воздействием, выраженным различными факторами [Persaud, Pfiffner, 2004].

Одним из главных факторов широкого развития четвертичных отложений является длительное воздействие эндогенных процессов на коренные породы и формирование современной коры выветривания. Далее начинается экзогенный процесс ее разрушения и переотложения [Dill, 1994; Пхарое, Евдокимов, 2020].

Уровень воздействия на геоэкологическую среду эндогенных и экзогенных геодинамических процессов характеризуют широко развитые по площади различные генетические типы четвертичных образований, формирующие многочисленные очаги опасных экзогенных процессов [Guzzetti et al., 1999].

Эндогенная активность является причинным фактором активизации экзогенных процессов и одним из признаков этого является устойчивая приуроченность последних к тектоническим нарушениям и узлам разноранговых разрывных структур, очаговым зонам сейсмической и вулканоплутонической активности [Шемпелев, 2007; Шемпелев и др., 2015], отмечаемая на всем пространстве развития Альпийской складчатости.

Влиянием эндогенных процессов можно объяснить не только активизацию экзогенных геологических процессов, но и многие климатические изменения (локальные парниковые эффекты, альbedo, экспозиция, поглощение, рассеивание и многое другое) [Folguera et al., 2004]. Концепция климатических изменений за счет озоновых дыр, возникающих из-за выброса в атмосферу хлор- и фторсодержащих фреонов, выглядит уже не столь догматично, и параллельно рассматриваются геодинамические факторы климатической зависимости [Безверхний, 2019].

Объекты, представляющие очаги опасных геологических процессов, связанные с ледниками и ледовокаменными глетчерами типичны для высокогорных районов

современных альпид. Они в геоэкологических преобразованиях играют значительную роль динамическим воздействием разрушительного характера (глубокие рытвины, оголенные склоны, сучивание крупнообломочного материала).

Постледниковый этап активного геодинамического воздействия отчетливо проявляется на участках абляции ледников, где обнажаются активные глубинные разломы. В их пределах, в виде коротких разрывов трещинного типа, возникают нарушения, кулисообразно расположенные к глубинному разлому, и составляющие с ними единые линейменты, ориентированные согласно орогену. Эти нарушения возникают не за счет землетрясений, а как остаточные деформации в периоды сейсмического затишья. Наблюдения в Швейцарских Альпах показали, что максимальной скорости подъема поверхности (1,6 мм/год), подвержены участки последними сбросившие ледяной панцирь [Newsome et al., 2013].

Новейшими проявлениями глубинных геодинамических процессов являются и сейсмотектонические разрывы, которые, как правило, тяготеют к крупнейшим тектоническим разрывам. Максимальная их концентрация фиксируется по Тибскому и Нарскому разломам. По протяженности и ширине полосы развития Нарская зона новейших сейсмотектонических разрывов не имеет себе равных на всем Северном Кавказе.

Основные геодинамические факторы и интенсивность их влияния на геоэкологическую ситуацию

Для количественной оценки геоэкологического воздействия геодинамических факторов сделана выборка всех проявляющихся геодинамических и климатических факторов [Masek et al., 1994; Sobel, Strecker, 2003; Hilley, Coutand, 2010; Varga et al., 2011; Yang, Eitel, 2016], интенсивность воздействия каждого из которых на окружающую среду оценена по пятибалльной системе. При этом в основе балльности рассматривается не сила сотрясения, а способность геодинамического фактора к ускорению денудации пород, ослаблению их инженерных свойств, развитию четвертичных отложений, опасных геологических процессов и, в конечном счете, ускоренному изменению геоэкологической ситуации.

Максимальный ранг воздействия отдельного фактора устанавливался на основе методологии экспертных оценок [Гольцман, 1976, 1980] в виде учета массопереноса (обвалы-осыпи, сели, оползни и т. п.) ландшафтно-геоморфологических изменений (подвижки ледников, сход лавин) ожидаемых длительных или краткосрочных последствий (тектонические, вулcano-плутонические проявления, землетрясения, сейсмдислокации). Принято, что воздействие на геоэкологическую ситуацию N факторов каждая интенсивностью в один ранг или единичный ранг соответствует наименьшему влиянию данного фактора на геоэкологическое состояние, а уровень 5 ранга – наибольшему.

Необходимо отметить, что при ранжировании геодинамических факторов присутствует элемент субъективизма, но с увеличением их числа, суммарная ошибка за субъективизм приближается к минимуму.

Для расчета риска R реализации воздействия использовалось следующее соотношение:

$$R = W \times D \quad (1)$$

где: W – суммарное, максимально возможное воздействие всех учтенных факторов $W = \sum W_{\max i}$; ранг;

D – уязвимость или геоэкологическое состояние конкретной локальной площадки, ранг.

R_i – риск проявления воздействия отдельного фактора W_i и реакция локальной площадки на воздействие данного фактора D_i , соответственно,

$R_i = W_i \times D_i$, ранг.

$$R = \sum R_i \quad (2)$$

Необходимо отметить, что при ранжировании геодинамического фактора присутствует элемент субъективизма, но с увеличением их числа, суммарная ошибка за субъективизм приближается к минимуму.

На основе геодинамических факторов, распространенных на исследуемой территории, составлены две таблицы. В таблице 1 приведены количественные характеристики воздействий геодинамических процессов на геоэкологическое состояние площадки, обусловленных литологическими, геоморфологическими, эндогенными, экзогенными геологическими и природно-климатическими факторами. В таблице 2 приведены результаты расчетов риска R_i проявления воздействия отдельного фактора с потенциалом W_i на площадку и ее геоэкологической уязвимостью D_i на соответствующий фактор.

Таблица 1 / Table 1

Факторы воздействия геодинамических и климатических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий / Factors of geodynamic and climatic processes influence on the geoeological state of high-mountainous territories

№ п/п / No.	Виды воздействия / Types of influence	Уровень воздействия / Influence level			
		Слабый / Weak	Средний / Mean	Высокий / High	Регрессивный / Regressive
1	2	3	4	5	6
1	Землетрясения в ближней зоне ($R=50$ км), сейсмическая интенсивность в баллах / Earthquakes in the near zone ($R = 50$ km), seismic intensity in points	<6	6-7	7-8	8-9
2	Зона активного нарушения (плотность нарушений в км/км ²) / Active rupture zone (density of ruptures in km/km ²)	0,01	0,02	0,03	0,04
3	Зона пересечения субширотных и субмеридиональных нарушений от одного до четырех и выше (пересечение) / Zone of intersection of sub-latitudinal and sub-meridional ruptures from one to four and above (intersection)	1	2	3	4
4	Зона развития трещинной тектоники различной плотности в км/км ² / Zone of fractural tectonics of different density propagation in km/km ²	0,03	0,05	0,07	0,09
5	Зоны, подверженные воздействию статических геофизических, геохимических полей в радиусе действия событий до 50 км, расстояние в км: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 / Zones exposed to static geophysical, geochemical fields within the range of events up to 50 km, distance in km: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50	3	4	5	6

6	Зоны проявления от одного до трех и более события сейсмодислокации в пределах структурного блока / Zones of one to three or more seismic dislocation events manifestation within a structural block	1	2	3	3
7	Распространение четвертичных образований на интервалах высот: 1700-2000; 2000-2300; 2300-2600; 2600 и выше / Distribution of Quaternary formations at the altitude intervals: 1700-2000; 2000-2300; 2300-2600; 2600 and higher	1700-2000	2000-2300	2300-2600	>2600
8	Коренные породы мягкие (до 50 МПа), обнаженность 40%; 50%; 60%; 70% и более / Soft bedrock (up to 50 MPa) with the exposure 40%; 50%; 60%; 70% and more	40%	50%	60%	70% и >
9	Базис эрозии 1000 м и более, на высотах от 2000 и выше, с учетом оледенения / Baselevel is 1000 m and more, at an altitude of 2000 and higher, taking glaciation into account	2000-2500	2500-3000	3300-3500	3500-4000
10	Базис эрозии 500 м на высотах от 1500 и выше / Baselevel is 500 m at an altitude of 1500 and higher	1500-1700	1700-1800	1800-1900	1900-2000
11	Базис эрозии до 500 м на высотах от 1500 м и ниже / Baselevel is 500 m at an altitude of 1500 and lower	1300-1500	1100-1300	1000-1100	>1000
12	Рельеф с углами наклона поверхности до 15° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles up to 15° according to genetic soil types	обваль-но-осыпные /	моренные отложения /	селевые /	оползне-вые /
13	Рельеф с углами наклона поверхности 15-20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles of 15-20° according to genetic soil types	обваль-но-осыпные /	обваль-но-осыпные /	селевые /	оползне-вые /
14	Рельеф с углами наклона поверхности >20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles > 20° according to genetic types of soils	обваль-но-осыпные /	обваль-но-осыпные /	селевые /	оползне-вые /
15	Мощность четвертичных отложений 0-5 м, при различных углах наклона, град. / Thickness of Quaternary sediments 0-5 m at different slope angles, degrees	12-15	15-20	20-25	25 и >
16	Мощность четвертичных отложений 5-12 м при различных углах наклона, град. / Thickness of the Quaternary sediments 5-12 m at different slope angles, degrees	12-15	15-20	20-25	25 и >
17	Мощность четвертичных отложений более 12 м, при различных углах наклона, град. / Thickness of the Quaternary sediments more than 12 m, at different slope angles, degrees	12-15	15-20	20-25	25 и >
18	Сели, от одного до 5 и выше за сезон, объемом от 10 тыс. м ³ и более / Mudflows, from one to 5 and more per season, with a volume of 10 thousand m ³ and more	2	3	4	5
19	Оползни в общем объеме за год от 10 тыс. м ³ до 2 млн м ³ / Landslides in total volume for the year from 10 thousand m ³ to 2 million m ³	50	75	100	150
20	Обвалы – осыпи до 5000 м ³ тыс. м ³ / Landslides – debris streams up to 5000 thousand m ³	75	100	150	200
21	Плоскостной сыв, площадью от 0,05 до 0,10 км ² и выше на км ² площади / Sheet wash, with an area of 0.05 to 0.10 km ² and more per km ² of area	0,05	0,06	0,07	>0,1

22	Эрозионная деятельность рек от 1 до 5 м/ч боковой эрозии / Erosivity of rivers from 1 to 5 m/h of lateral erosion	1,0	2,5	4,0	5,0
23	Солифлюкция при мощности захвата процессом по вертикали от 1-го до 4-х метров / Solifluction with a vertical capture thickness from 1 to 4 meters	1,0	2,0	3,0	4,0
24	Струйная эрозия на склонах 20° и более / Channel erosion on the slopes of 20° or more	20	25	30	35 и >
25	Карстообразование, от одного до трех и выше проявлений на км ² площади / Karstification from one to three and more events per km ² area	1	2	3	>3
26	Лавины, до 4-х и более сходов за сезон / Avalanches, up to 4 and more falls per season	1	2	3	4
27	Ледники и глетчеры до трех и выше событий паводкового типа на территорию / Glaciers and gletchers up to three and more flood-type events per territory	1	2	3	>3

Таблица 2 / Table 2

Ранжирование воздействий геодинамических климатических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий / Ranking the influences of geodynamic climatic processes on the geocological state of high-mountainous areas

№ п/п / No.	Виды воздействия / Types of influence	Весовой рейтинг события, W_{maxi} / Weight rating of an event, W_{maxi}	Уровень воздействия / Influence level			
			Слабый, $W_i \times D_i$ / Weak, $W_i \times D_i$	Средний, $W_i \times D_i$ / Mean, $W_i \times D_i$	Высокий, $W_i \times D_i$ / High, $W_i \times D_i$	Регрессивный, $W_i \times D_i$ / Regressive, $W_i \times D_i$
1	2	3	4	5	6	7
I Факторы эндогенного воздействия / Factors of the endogenous influence						
1	Землетрясения в ближней зоне ($R=50$ км), сейсмическая интенсивность в баллах / Earthquakes in the near zone ($R = 50$ km), seismic intensity in points	5	1	2	3,5	5
2	Зона активного нарушения (плотность нарушений в км/км ²) / Active rupture zone (density of ruptures in km/km ²)	3	1	1,5	1	3
3	Зона пересечения субширотных и субмеридиональных нарушений от одного до четырех и выше (пересечение) / Zone of intersection of sub-latitude and sub-meridional ruptures from one to four and above (intersection)	4	1	2	3	4
4	Зона развития трещинной тектоники 0,03 до 0,10 км/км ² и выше / Zone of fractural tectonics of different density propagation in km/km ²	5	1	2	3,5	5

5	Зоны, подверженные воздействию статических геофизических, геохимических полей в радиусе действия событий до 50 км, расстояние в км: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50 / Zones exposed to static geophysical, geochemical fields within the range of events up to 50 km, distance in km: 10-20; 20-30; 30-40; 40-50	2	1	1	2	2
6	Зоны проявления от одного до трех и более события сейсмодислокации в пределах структурного блока / Zones of one to three or more seismic dislocation events manifestation within a structural block	3	1	2	3	3
II Литологические факторы / Lithological factors						
7	Коренные породы мягкие (до 50 МПа), обнаженность 40%; 50%; 60%; 70% и более / Soft bedrock (up to 50 MPa) with the exposure 40%; 50%; 60%; 70% and more	3	1	1,5	2	3
8	Базис эрозии 1000 м и более, на высотах от 2000 и выше, с учетом оледенения / Baselevel is 1000 m and more, at an altitude of 2000 and higher, taking glaciation into account	3	1	1,5	2	3
III Геоморфологические факторы / Geomorphological factors						
9	Базис эрозии до 500 м на высотах от 1500 м и ниже / Baselevel is 500 m at an altitude of 1500 and lower	4	4	3	2	1,5
10	Рельеф с углами наклона поверхности до 15° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles up to 15° according to genetic soil types	3	1	1,5	2	3
11	Рельеф с углами наклона поверхности 15-20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles of 15-20° according to genetic soil types	2	1	1,5	2	2
12	Рельеф с углами наклона поверхности >20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles > 20° according to genetic types of soils	2	1	1	2	2
13	Рельеф с углами наклона поверхности >20° по генетическим типам грунтов / Relief with surface slope angles > 20° according to genetic types of soils	3	1	1,5	2,5	3

14	Зона активного нарушения (плотность нарушений в км/км ²) / Active rupture zone (density of ruptures in km/km ²)	4	2	2,5	3	4
IV Факторы экзогенного и природно-климатического характера / Factors of exogenous and natural-climatic character						
15	Мощность четвертичных отложений 0-5 м, при углах наклона 12-25° и более / Thickness of Quaternary sediments 0-5 m at slope angles of 12-25° and more	2	1	1	1,5	2
16	Мощность четвертичных отложений 5-12 м, при углах наклона 12-25° и более / Thickness of Quaternary sediments 5-12 m at slope angles of 12-25° and more	3	1	1	2	3
17	Мощность четвертичных отложений более 12 м, при углах наклона 12-25° и более / Thickness of Quaternary sediments over 12 m at slope angles of 12-25° and more	3	1	1,5	1,5	3
18	Сели, от одного до 5 и выше за сезон, объемам от 10 тыс. м ³ и более / Mudflows, from one to 5 and more per season, with a volume of 10 thousand m ³ and more	5	2	3	4	5
19	Оползни в общем объеме за год от 10 тыс. м ³ до 2 млн. м ³ / Landslides in total volume for the year from 10 thousand m ³ to 2 million m ³	3	1	1,5	2	3
20	Обвалы – осыпи до 5000 м ³ тыс. м ³ / Landslides – debris streams up to 5000 thousand m ³	4	1,5	2	3	4
21	Плоскостной смыв, площадью от 0,05 до 0,10 км ² и выше на км ² площади / Sheet wash, with an area of 0.05 to 0.10 km ² and more per km ² of area	3	1	1	2	3
22	Эрозионная деятельность рек от 1 до 5 м / час боковой эрозии /	4	1,5	2,5	3	4
23	Солифлюкция при мощности захвата процессом по вертикали от 1-го до 4-х метров / Solifluction with a vertical capture thickness from 1 to 4 meters	3	1	1,5	2,5	3
24	Струйная эрозия на склонах 20° и более / Channel erosion on the slopes of 20° or more	3	1	1,5	2,5	3
25	Карстообразование, от одного до трех и выше проявлений на км ² площади / Karstification from one to three and more events per km ² area	3	1	1,5	2	3

26	Лавины, до 4-х и более сходов за сезон / Avalanches, up to 4 and more falls per season	5	2	3	4	5
27	Ледники и глетчеры до трех и выше событий паводкового типа на территорию / Glaciers and gletchers up to three and more flood-type events per territory	4	1,5	2,5	3	4
Сумма максимальных воздействий факторов $W = \sum W_{\max i}$ и суммы рисков $R = \sum Ri$, ранг / The sum of the maximum impacts of factors $W = \sum W_{\max i}$ and the sum of the risks $R = \sum Ri$, rank		95	34,5	48,0	64,0	91,5
Уязвимость $D = R/W$ или геоэкологическое состояние площадки / Vulnerability $D = R/W$ or geoeological state of the site		1	0,363	0,505	0,674	0,964

Зонирование геоэкологической нагрузки (рис. 1) проведено на основе весового вклада каждого из факторов, которые составили 4 центроидные группы: нагрузка слабая, 30-40%; нагрузка средняя, 40-55%; нагрузка высокая, 55-70%; нагрузка регрессивная, выше 70%. Расчеты выполнялись для 105 таксонов (4×4 км) в ГИС-технологиях [Zaalishvili, 2020a, 2020b].

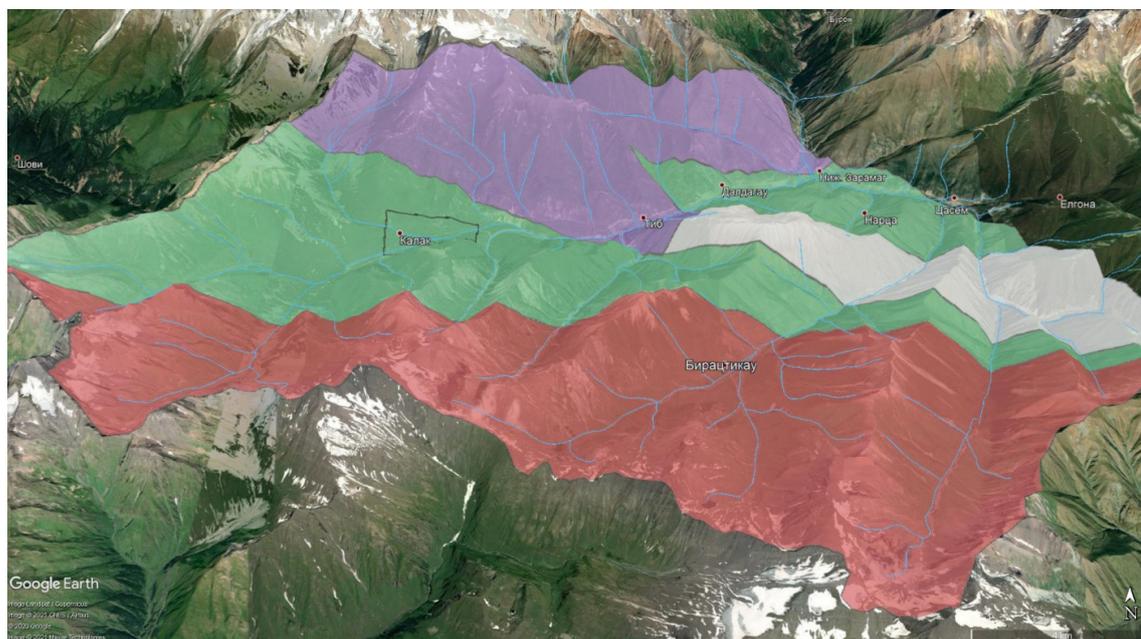


Рис. 1. Схема зонирования интенсивности геоэкологической нагрузки на высокогорной территории.

Уровни геоэкологической нагрузки от геодинамических воздействий: 1 – слабый; 2 – средний; 3 – высокий; 4 – регрессивный /

Fig. 1. Zoning scheme of the intensity of the geoeological load in the high-mountainous territories. Levels of geoeological load from geodynamic influences: 1 – weak; 2 – mean; 3 – high; 4 – regressive

При зонировании территории по степени геоэкологической нагрузки использованы данные блоковой дифференциации территории и развития активных тектонических нарушений [Несмеянов, 2003] Казбекского сегмента мегасвода Большого Кавказа и современная неотектоника, выявленная под покровом четвертичных отложений геофизическими исследованиями [Чотчаев, 2020].

Выводы

1. Устойчивая приуроченность проявлений опасных экзогенных геологических процессов к активным глубинным тектоническим нарушениям и связанной с ними трещинной тектонике постледникового проявления неотектонической активности подтверждает определяющую роль эндогенных процессов в активизации экзогенных процессов и в интенсификации геоэкологической эволюции.

2. Зоны активных разломов территории представляют собой ослабленные зоны из-за повышенной раздробленности, трещиноватости, флюидопроницаемости, разуплотнения горных пород за счет массопереноса движущимися водами, выщелачивания, в пределах которых активно развиваются процессы эрозионного разрушения. Трещины и особенно зоны повышенной их концентрации, как и разломы, снижают прочностные свойства и повышают проницаемость рассекаемых ими пород и по этой причине благоприятствуют развитию вдоль них целого генетического ряда экзогенных процессов и, как следствие, значительных геоэкологических нагрузок.

3. В табличном формате разработан комплекс типичных для территории геодинамических факторов эндогенного, экзогенного типов геологической природы и климатического характера, классифицированных по их максимальным расчетным воздействиям на геоэкологическую ситуацию в пятибалльной системе, сумма которых представляет потенциал возможной геоэкологической нагрузки на определенный таксон.

4. Для каждого из 105 таксонов (4×4 кв. км) территории на основе экспертных оценок рассчитана суммарная интенсивность геоэкологической нагрузки под воздействием геодинамических процессов с учетом геологических и геоморфологических условий развития. Объединение таксонов с близкими величинами позволило построить карту – схему, включающую четыре зоны с различной интенсивностью геоэкологической нагрузки. Особо выделяется зона с регрессивным проявлением воздействия, где уровень геоэкологической нагрузки значительно возрастает в результате одновременного воздействия геологических факторов различной природы.

Литература

1. Абалаков А. Д. Экологическая геология. – Иркутск: Изд-во Иркутского гос. ун-та, 2007. – С. 28-32.
2. Безверхний В. А. О 100 тысячилетней ритмичности в геодинамике и палеоклимате. // Институт физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН. – 2019. – № 3. – С. 117-125.
3. Вернадский В. И. Биосфера. – М.: Мысль, 1967. – 227 с.
4. Гольцман Ф. М. Комплексирование наблюдений при распознавании геофизических объектов. // Физика Земли. – 1976. – № 7. – С. 40-54.
5. Гольцман Ф. М. Информационная содержательность эксперимента и учет корреляции нечисловых признаков при распознавании геофизических объектов. // Физика Земли. – 1980. – № 10. – С. 71-85.
6. Спивак А. А., Кишкина С. Б. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды. // Физика Земли. – 2004. – № 7. – С. 35-49.

7. Шемпелев А. Г. Результаты глубинных геофизических исследований вдоль Геналдонского профиля. // Труды Международной научно-практической конференции. Владикавказ. – 2007. – С. 457-463.
8. Шемпелев А. Г., Кухмазов С. У., Чотчаев Х. О., Невский Л. Н. Структура Большого Кавказа – результат пологого надвига земной коры Скифской плиты на консолидированную кору микроплит южного Кавказа. // Геология и геофизика юга России. – 2015. – № 4. – С. 129-145.
9. Несмеянов С. А., Боголюбова Н. П., Воейкова О. А., Миндель И. Г. Активные разрывы и разрывный крип на горной части трассы магистрального трубопровода «Голубой поток». // Геоэкология. – 2003. – № 5. – С. 387-404.
10. Пхарое Б. Л., Евдокимов А. Н. Состав и реконструкция источников сноса терригенных отложений на северо-западе ЮАР. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. № 4. – С. 124-149. DOI: 10.46698/VNC. 2020.48.31.008.
11. Чотчаев Х. О., Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б. Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. № 4. – С. 70-100.
12. Яроцкий Г. П., Чотчаев Х. О. Тектоническая предопределенность Хаилинского землетрясения на Юго-Западе Корьякского нагорья. // Геология и геофизика Юга России. – 2016. – № 4. – С. 129-140.
13. Cesnulevicius A. Relief dynamic state of urban territories and tendency of its development. // 6th International Conference Environmental Engineering. – 2005. – Vol. 1-2. – pp. 63-68.
14. Dill H. G. Facies variation and mineralization in central-Europe from the late Paleozoic through the Cenozoic. // Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists. – 1994. – Vol. 89 (2). – pp. 268-287. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.89.2.268>
15. Folguera A., Ramos V.A., Hermanns R. L., Naranjo J.A. Neotectonics in the foothills of the southernmost central Andes (37–38S): evidence of strike – slip displacement along the Atinir Copahue fault zone. // Tectonics. – 2004. – No. 23. doi:10.1029/2003TC001533.
16. Gentili R., Armiraglio S., Rossi G., Sgorbati S., & Baroni C. Floristic patterns, ecological gradients and biodiversity in the composite channels (Central Alps, Italy). // Flora. – 2010. – Vol. 205 (6). – pp. 388-398. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.12.013>
17. Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., & Reichenbach P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. // Central Italy. Geomorphology. – 1999. – Vol. 31 (1–4). – pp. 181-216; 1787, 2014.
18. Hilley G. E., Coutand I. Links between topography, erosion, rheological heterogeneity, and deformation in contractional settings: Insights from the central Andes. // Tectonophysics. – 2010. – Vol. 495 (1-2). – pp. 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.017>
19. Masek J. G., Isacks B. L., Gubbels T. L., Fielding E. J. Erosion and tectonics at the margins of continental plateaus. // Journal of Geophysical Research. – 1994. – Vol. 99. – pp. 13941-13956.
20. Newsome D., Moore S.A., & Dowling R. K. Natural area tourism: Ecology, impacts and management (2nd ed.). – Bristol: Channel View Publications, 2013.
21. Persaud M., Pfiffner O.A. Active deformation in the eastern Swiss Alps: post-glacial faults, seismicity and surface uplift. // Tectonophysics. – 2004. – Vol. 385. – pp. 59-84.
22. Pope N., Harris T. B., & Rajakaruna N. Vascular plants of adjacent serpentine and granite outcrops on the Deer Isles, Maine, USA. // Rhodora. – 2010. – Vol. 112 (950). – pp. 105-141
23. Sobel E. R., Strecker M. R. Uplift, exhumation, and precipitation: tectonics and climatic control of Late Cenozoic landscape evolution in the northern Sierras Pampeanas, Argentina. // Basin Research. – 2003. – No. 15.
24. Varga A., Ujvari G., Raucsik B. Tectonic versus climatic control on the evolution of a loess-paleosol sequence at Beremend, Hungary: An integrated approach based on paleoecological, clay mineralogical, and geochemical data. // Quaternary International. – 2011. – Vol. 240 (1). – pp. 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.10.032>

25. Yang, X. P., & Eitel, B. Understanding the Interactions between Climate Change, Landscape Evolution, Surface Processes and Tectonics in the Earth System: What Can the Studies of Chinese Deserts Contribute? [Article]. // *Acta Geologica Sinica-English Edition*. – 2016. – Vol. 90 (4). – pp. 1444-1454. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12778>

26. Zaalishvili V.B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O. G., Melkov D. A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. // *Geology and Geophysics of Russian South*. – 2020a. – Vol. 10 (3). – pp. 94-113. DOI: 10.46698/VNC. 2020.47.51.006.

27. Zaalishvili V.B., Kanukov A. S., Fidarova M. I. GIS-technologies in geophysical information databases processing. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 913. – 2020b. – pp. 052050. doi:10.1088/1757-899X/913/5/052050

References

1. Abalakov A. D. Environmental geology. Irkutsk. Publishing house of the Irkutsk state University, 2007. pp. 28-32. (In Russ.)

2. Bezverkhniy V. A. About 100 thousand-year rhythm in geodynamics and paleoclimate. Institute of Atmospheric Physics after A. M. Obukhov RAS. 2019. No. 3. pp. 117-125. (In Russ.)

3. Vernadskii V. I. Biosphere. Moscow. Mysl', 1967. 227 p. (In Russ.)

4. Gol'tsman F. M. Integration of observations in their recognition of geophysical objects. *Physics of the Earth*. 1976. No 7. pp. 40-54. (In Russ.)

5. Gol'tsman F. M. Information content of the experiment and taking in to account the correlation of non-numerical features in their cognition of geophysical objects. *Physics of the Earth*. 1980. No. 10. pp. 71-85. (In Russ.)

6. Spivak A. A., Kishkina S. B. Study of the microseismic background in order to determine the active tectonic structures and geodynamic characteristics of the environment. *Physics of the Earth*. 2004. No. 7. pp. 35-49. (In Russ.)

7. Shempelev A. G. Results of deep geophysical surveys along the Genaldon profile. In: *Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*. Vladikavkaz. 2007. pp. 457-463. (In Russ.)

8. Shempelev A. G., Kukhmazov S. U., Chotchaev Kh. O., Nevskii L. N. The structure of the Greater Caucasus is the result of a low-angle overthrust of the earth's crust of the Scythian plate onto the consolidated crust of the microplates of the South Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2015. No. 4. pp. 129-145. (In Russ.)

9. Nesmeyanov S. A., Bogolyubova N. P., Voelikova O. A., Mindel' I. G. Active faults and ruptural creep on the mountainous part of the Blue Stream trunk pipeline. *Geocology*. 2003. No. 5. pp. 387-404. (In Russ.)

10. Pkharoe B. L., Evdokimov A. N. Composition and reconstruction of drift sources for terrigenous deposits in the north-west of South Africa. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No. 4. pp. 124-149. DOI: 10.46698 / VNC. 2020.48.31.008. (In Russ.)

11. Chotchaev Kh. O., Burdzieva O. G., Zaalishvili V. B. The influence of geodynamic processes on the geoecological state of high-mountainous territories. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No. 4. pp. 70-100. (In Russ.)

12. Yarotskii G. P., Chotchaev Kh. O. Tectonic predetermination of the Khailin earthquake in the Southwest of the Koryak Upland. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2016. No. 4. pp. 129-140. (In Russ.)

13. Cesnulevicius A. Relief dynamic state of urban territories and tendency of its development. 6th International Conference Environmental Engineering. 2005. Vol. 1-2. pp. 63-68.

14. Dill H. G. Facies variation and mineralization in central-Europe from the late Paleozoic through the Cenozoic. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*. 1994. Vol. 89 (2). pp. 268-287. <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.89.2.268>

15. Folguera A., Ramos V. A., Hermanns R. L., Naranjo J. A. Neotectonics in the foothills of the southernmost central Andes (37–38S): evidence of strike – slip displacement along the Atinir Copahue fault zone. *Tectonics*. 2004. No. 23. doi:10.1029/2003TC001533.

16. Gentili R., Armiraglio S., Rossi G., Sgorbati S., & Baroni C. Floristic patterns, ecological gradients and biodiversity in the composite channels (Central Alps, Italy). *Flora*. 2010. Vol. 205 (6). pp. 388-398. <https://doi.org/10.1016/j.flora.2009.12.013>
17. Guzzetti F., Carrara A., Cardinali M., Reichenbach P. Landslide hazard evaluation: a review of current techniques and their application in a multi-scale study. Central Italy. *Geomorphology*. 1999. Vol. 31 (1-4). pp. 181-216; 1787, 2014.
18. Hilley G.E., Coutand I. Links between topography, erosion, rheological heterogeneity, and deformation in contractional settings: Insights from the central Andes. *Tectonophysics*. 2010. Vol. 495 (1-2). pp. 78-92. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2009.06.017>
19. Masek J.G., Isacks B.L., Gubbels T.L., Fielding E.J. Erosion and tectonics at the margins of continental plateaus. *Journal of Geophysical Research*. 1994. Vol. 99. pp. 13941-13956.
20. Newsome D., Moore S.A., & Dowling R.K. *Natural area tourism: Ecology, impacts and management* (2nd ed.). – Bristol: Channel View Publications, 2013.
21. Persaud M., Pfiffner O.A. Active deformation in the eastern Swiss Alps: post-glacial faults, seismicity and surface uplift. *Tectonophysics*. 2004. Vol. 385. pp. 59-84.
22. Pope N., Harris T.B., Rajakaruna N. Vascular plants of adjacent serpentine and granite outcrops on the Deer Isles, Maine, USA. *Rhodora*. 2010. Vol. 112 (950). pp. 105-141
23. Sobel E.R., Strecker M.R. Uplift, exhumation, and precipitation: tectonics and climatic control of Late Cenozoic landscape evolution in the northern Sierras Pampeanas, Argentina. *Basin Research*. 2003. No. 15.
24. Varga A., Ujvari G., Raucsik B/ Tectonic versus climatic control on the evolution of a loess-paleosol sequence at Beremend, Hungary: An integrated approach based on paleoecological, clay mineralogical, and geochemical data. *Quaternary International*. 2011. Vol. 240 (1). pp. 71-86. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2010.10.032>
25. Yang, X. P., Eitel, B. Understanding the Interactions between Climate Change, Landscape Evolution, Surface Processes and Tectonics in the Earth System: What Can the Studies of Chinese Deserts Contribute? [Article]. *Acta Geologica Sinica-English Edition*. 2016. Vol. 90 (4). pp. 1444-1454. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.12778>
26. Zaalishvili V.B., Pinar A., Erdik M., Burdzieva O.G., Melkov D.A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020a. Vol. 10 (3). pp. 94-113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.
27. Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Fidarova M.I. GIS-technologies in geophysical information databases processing. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 913. 2020b. pp. 052050. doi:10.1088/1757-899X/913/5/052050

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.34+550.341

DOI: [10.46698/VNC.2021.24.94.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.24.94.008)

Оригинальная статья

О картах ОСР в ускорениях

Ф. Ф. Аптикаев 

ФБГУН Институт физики Земли РАН, Россия, 123242, Москва, ул. Большая Грузинская, 10, стр. 1, e-mail: felix@ifz.ru

Статья поступила: 15.02.2021, доработана: 25.02.2021, одобрена в печать: 11.03.2021

Резюме: Актуальность работы. Задание сейсмических воздействий в отечественных строительных нормах практически не меняется в течение последних 60 лет. Накопленные эмпирические данные по сильным движениям позволяют коренным образом усовершенствовать методику расчета зданий и сооружений на сейсмостойкость. Ожидается снижение погрешностей расчета примерно вдвое. **Цель работы.** В последнее время много внимания уделяется проблемам построения карт сейсмической опасности в ускорениях. Однако по традиции в нашей стране такие карты оценивают сейсмическую опасность в баллах шкалы сейсмической интенсивности. В большинстве стран сейсмическая опасность оценивается именно в ускорениях. Строились такие карты и в нашей стране. В частности, карты ОСР-97 и ОСР-2012 имели вариант и в ускорениях. Построение карт сейсмической опасности в ускорениях не имеет принципиальных трудностей. Проблема в том, что ускорения не являются адекватной мерой сейсмических воздействий. Более половины века тому назад американские ученые на эмпирическом материале показали, что связь ускорений с баллами, а, следовательно, и с повреждаемостью зданий неоднозначна: шкалы сейсмической интенсивности различны для разных расстояний и грунтов. Ошибка в оценке последствий землетрясения по ускорениям грунта может достигать 2 баллов. Следовательно, расчет ожидаемых воздействий следует производить с учетом других характеристик сейсмических волн. К тому же, попытки построения карт сейсмической опасности строились без учета данных инженерной сейсмологии и с нарушениями правил теории вероятностей и поэтому обладают не только определенными достоинствами, но и серьезными недостатками. Некоторые исследователи считают, что скорости колебаний лучше коррелируются с повреждениями сооружений, по крайней мере, многоэтажных зданий и подземных трубопроводов. **Методы работы.** Однако анализ эмпирических данных показал, что использование ускорений, скоростей и смещений характеризуется примерно одинаковой точностью. Рассмотрены способы построения карт общего сейсмического районирования. В действующей шкале сейсмической интенсивности ГОСТ Р 57546.2017 приведены оценки корреляции повреждаемости зданий с различными параметрами сейсмических колебаний: ускорениями, скоростями, смещениями, мощностью колебаний грунта. Оценено влияние продолжительности колебаний. **Результаты работы.** Показано, что дальнейшее повышение надежности расчетов объектов на сейсмостойкость связана с представлением сейсмических воздействий не с амплитудами колебаний, а с энергетическими характеристиками сейсмических волн.

Ключевые слова: Строительные нормы, сейсмические воздействия, сейсмическая интенсивность, ускорение, скорость, смещение, мощность, энергия сейсмических колебаний, карты ОСР в ускорениях.

Для цитирования: Аптикаев Ф.Ф. О картах ОСР в ускорениях. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 95 – 103. DOI: 10.46698/VNC.2021.24.94.008.

DOI: [10.46698/VNC.2021.24.94.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.24.94.008)

Original paper

About GSZ maps in acceleration units

F. F. Aptikaev 

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10/1 Bolshaya Gruzinskaya, Moscow 123242, Russian Federation, e-mail: felix@ifz.ru

Received: 15.02.2021, revised: 25.02.2021, accepted: 11.03.2021

Abstract: Relevance. The specification of seismic effects in domestic building codes has remained practically unchanged over the past 60 years. The accumulated empirical data on strong ground notions make it possible to radically improve the methodology for calculating buildings and other structures for seismic resistance. It is expected that the calculation errors will be reduced by about half. **Aim.** Recently, much attention has been paid to the problems of developing seismic hazard maps in accelerations. However, by tradition in our country, such maps assess the seismic hazard in terms of the seismic intensity scale. In most countries, seismic hazard is assessed in terms of accelerations. Such maps were also built in our country. In particular, OSR-97 maps also had a variant in acceleration. The construction of seismic hazard maps in accelerations has no fundamental difficulties. The problem is that accelerations are not an adequate measure of seismic effects. More than half a century ago, American scientists, using empirical material, showed that the relationship between accelerations and points, and, consequently, with the damage to buildings, is ambiguous: the seismic intensity scales are different for different distances and grounds. The error in assessing the consequences of an earthquake in terms of ground acceleration can reach 2 points. Therefore, the calculation of the expected impacts should be based on other characteristics of the seismic waves. In addition, attempts to construct seismic hazard maps were built without taking into account the data of engineering seismology and with violations of the rules of probability theory and therefore have not only certain advantages, but also serious drawbacks. Some researchers believe that vibration velocities correlate better with structural damage, at least in multi-storey buildings and underground pipelines. However, the analysis of empirical data showed that the use of accelerations, velocities and displacements is characterized by approximately the same accuracy. **Methods.** Methods for constructing maps of general seismic zoning, which have a higher accuracy in comparison with existing maps, are considered. In the current scale of seismic intensity GOST R 57546.2017 estimates of the correlation of damage to buildings with various parameters of seismic vibrations are given: accelerations, velocities, displacements, power of ground vibrations. The influence of the duration of the oscillations is estimated. **Results.** It is shown that a further increase in the reliability of calculations of objects for seismic resistance is associated with the representation of seismic effects not with vibration amplitudes, but with the energy characteristics of seismic waves.

Keywords: Building codes, seismic effects, seismic intensity, acceleration, velocity, displacement, power, seismic vibration energy, OCP maps in accelerations.

For citation: Aptikaev F. F. About GSZ maps in acceleration units. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (1): 95 – 103. DOI: 10.46698/VNC.2021.24.94.008.

Введение

Розовой мечтой проектировщиков является карта сейсмической опасности в ускорениях. Однако по традиции в нашей стране параметром таких карт являются баллы шкалы сейсмической интенсивности. В настоящее время карта в ускорениях построена для территории Республики Казахстан. Это воспринято как крупнейшее достижение и пример для изыскателей в СНГ. Строились такие карты и в

нашей стране. В 1996 г. методами детального сейсмического районирования была построена карта в ускорениях для Ставропольского края [Составление..., 1999]. Карта ОСР-97 вошла составной частью в опубликованную под эгидой ООН мировую карту сейсмической опасности (Global Seismic Hazard Project). Поскольку карта GSHAP строилась в ускорениях, то и карта ОСР-97-А имела такой вариант [Уломов, 1999]. Заметим, что для пересчета баллов в ускорения шкала MSK-64 не подошла, поскольку в этой шкале ускорения сопоставляются с нижними границами соответствующих диапазонов сейсмической интенсивности [Медведев, 1978; Уломов, 1994, 2012]. В итоге для пересчета баллов в ускорения использовались соотношения из [Аптикаев, Шебалин, 1988]. Последние соотношения практически вошли в действующую шкалу сейсмической интенсивности [ГОСТ Р, 2017]. В 2012 г. в Институте физики Земли был составлен комплект карт ОСР-97* в ускорениях для периодов повторяемости 100, 500, 1000, 2500, 5000 и 10000 лет [Уломов, 2012]. Карты ОСР-2016 также имели варианты и в баллах и в ускорениях [Завьялов и др., 2018]. Построение карт сейсмической опасности в ускорениях или других характеристиках воздействий не имеет принципиальных трудностей. Проблема в том, что ускорения не являются адекватной мерой сейсмических воздействий [Neumann, 1954; Murphy, O'Brien, 1977; Nuttly, 1976; Аптикаев, 2012; Курбацкий, Косауров, 2016; ГОСТ Р, 2017; Тяпин, 2019; Huang et al., 2020]. Эмпирические данные показали, что связь ускорений с баллами шкалы, а, следовательно, и с повреждаемостью зданий неоднозначна. В этих работах на эмпирическом материале показано, что связь ускорений с баллами шкалы сейсмической интенсивности различна для разных расстояний и грунтов. Из материалов работы Ньюмана следует, что при фиксированной интенсивности в баллах уровень ускорений изменяется с расстоянием по закону $\lg PGA = 0,36 \lg R$. Следовательно, при одинаковой интенсивности амплитуды ускорений могут различаться в три раза и более. Разумеется, Ньюман отдавал себе отчет, что расстояние оказывает влияние на сейсмическую интенсивность не само по себе. Кроме ускорений существуют и другие параметры, влияющие на сейсмическую интенсивность, роль которых усиливается с расстоянием. Из других факторов Ньюман отмечал грунтовые условия. При этом роль грунтов отнюдь не сводилась только к изменению уровня колебаний. Поиск параметров, определяющих повреждаемость зданий и других сооружений, Ньюман не занимался из-за ограниченности материала. В работе Мерфи и О'Брайена по 900 записям сильных движений неоднозначность связи баллов и ускорений была подтверждена.

Способы построения карт ОСР в ускорениях

Оценку ожидаемых ускорений более надежно можно проводить не путем пересчета баллов в ускорения, а путем использования параметров очага и среды. Входными данными будут магнитуда землетрясения, тип подвижки по разлому (подвиг, взброс, сдвиг, сброс), кратчайшее расстояние до поверхности разлома, грунтовые условия. При этом неоднозначности оценок не будет. Эмпирические данные показывают, что погрешности оценок все равно остаются недопустимо большими. Классическим примером того, что ускорения не являются адекватной мерой сейсмических воздействий, являются последствия Мексиканского землетрясения 1985 г. и афтершока Ташкентского землетрясения 1966 г. При семибалльном афтершоке Ташкентского землетрясения 1966 года ускорение составило 0,69 g. При Мексиканском землетрясении в Мехико при 9 баллах ускорения не превышали 0,175 g.

Каково!? Интенсивность в Мехико на два балла выше, чем в Ташкенте, а ускорение почти в 4 раза ниже. Заметим, что скорости колебаний и при афтершоке Ташкентского землетрясения и при Мексиканском землетрясении более соответствовали наблюдаемой интенсивности в баллах. Действительно, в ряде случаев, скорости колебаний лучше коррелируются с повреждаемостью зданий. Поэтому в последнее время многие проектировщики начинают отдавать предпочтение не ускорениям, а скоростям колебаний, например, [Yin-Min Wu et al., 2003; Akkar, Bommer, 2007; Lanzano et al., 2013]. По эмпирическим данным точность задания воздействий в скоростях не намного лучше, чем в ускорениях. Можно считать, что погрешности при использовании ускорений, скоростей и смещений примерно одинаковы [Аптикаев, 2012]. Но оценки интенсивности по ускорениям, скоростям и смещениям в общем случае не совпадают. Важным фактором, влияющим на повреждаемость объектов, является продолжительность колебаний, фактор, в наших нормах не учитываемый. За рубежом длительность колебаний учитывается [Arias, 1970]. Фактор длительности колебаний тоже вносит свой вклад в неоднозначность связи баллов и амплитуд [Аптикаев, 2012].

В США практически для всех сейсмоактивных зон имеются записи сильных землетрясений. Таким образом, в таких случаях для каждого района приводятся реальные (или слегка масштабированные) акселерограммы. Заметим, что акселерограммы характеризуются не только амплитудой, но и спектром, продолжительностью колебаний и другими параметрами. Этот метод осуществлен в США благодаря наличию около тысячи станций сильных движений и периоду наблюдений почти 100 лет. По понятным причинам для нашей страны этот путь пока недоступен, хотя в наших нормах рекомендуется иметь записи не то, чтобы для каждого региона, но и для каждой строительной площадки.

Второй путь – построение карт на основании теоретических моделей очагов землетрясений и среды. Точность этого метода пока низка, поскольку этот метод базируется на ряде допущений и предположений, многие из которых противоречат эмпирическим данным. Для применения теоретического метода все равно требуется иметь записи сильных движений в исследуемом регионе. Развитие теоретических методов расчета связано с переходом от двумерной модели очага к трехмерной. При построении карт ОСР в нашей стране оценивались максимально возможные магнитуды, причем приводятся оценки, округленные до 0,5 магнитудных единиц. Только за счет округления ошибка оценки амплитуд ускорений превышает 30% для ближней зоны и более 50% для дальней зоны. Да и сама оценка магнитуды в виде $M=M\pm 0,2$, говорит о том, что используется 50% вероятность для приведенного значения магнитуды.

К третьему способу можно отнести наиболее часто используемый в нашей стране – пересчет оценок опасности в баллах в значения ускорений. О недостатках этого метода говорилось ранее. Фиксированным интенсивностям в баллах соответствует диапазон ускорений, более высокого порядка.

Оценка надежности карт в амплитудах сейсмических колебаний

Оценками надежности карт в ускорениях никто не занимался. Для карт в баллах принято считать, что вероятность превышения уровня воздействий составляет 10%, 5% и 1% для карт ОСР А, В и С соответственно. Заметим, что при этом для

расчетов принята дискретная П-образная модель распределения интенсивности. В действительности наблюдается нормальное распределение оценок сейсмической интенсивности [Кулиев, Шебалин 1970; Шебалин, 1975; Жунусов, 1990; Ципенюк, 1987; Ордынская, 2010; ГОСТ Р, 2017]. Стандартное отклонение макросейсмических оценок составляет около 0,4 балла. По эмпирическим данным стандартное отклонение амплитуды ускорений в ближней зоне составляет 0,17 единиц логарифма, что соответствует 0,425 балла. Оценки погрешности, полученные различными способами, не соответствуют оценкам превышения воздействий в 10%.

Сопоставление формы реального распределения амплитуд пиковых ускорений в диапазоне 7-9 баллов, показано на рисунке 1.

Хорошо видно, что реальное распределение плохо согласуется с дискретными моделями. Лишь 50% данных попадают в пределы диапазона, отведенного общепринятой дискретной моделью для заданной сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64. И это не результат округления. При заданной интенсивности ускорение грунта в инженерном диапазоне может изменяться более чем на порядок.

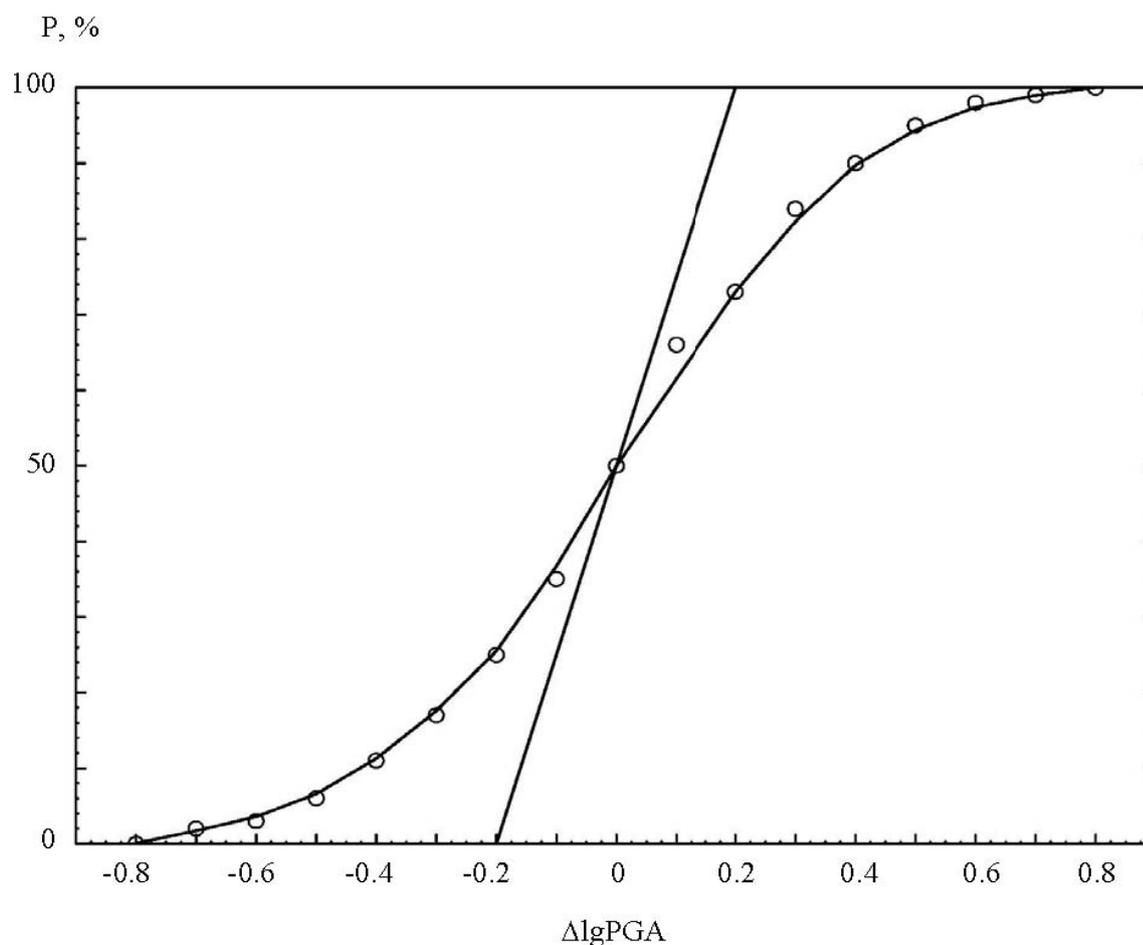


Рис. 1. Форма интегральных распределений ускорений грунта для фиксированной интенсивности: прямая линия – для дискретной П-образной модели шкалы ГОСТ Р 57546.2017; кружки – эмпирические значения по 488 записям сильных движений /

Fig. 1. Form of integral distributions of ground accelerations for a fixed intensity: straight line is for a discrete U-shaped model of the GOST R 57546.2017 scale; circles are empirical values from 488 strong movement records

Сейсмическая шкала ГОСТ Р 57546.2017 в инженерном диапазоне основана на оценках степеней повреждения. Шкала степеней повреждений насчитывает 6 градаций, включая нулевую. Заметим, что градации степени повреждения представляют собой тоже не числа, а наименования градаций. Сейсмические шкалы семейства Меркалли можно отнести к категории шкал интервалов [Аптикаев и др., 2008]. Для таких шкал использование дробных значений баллов вполне допустимо. Проблема состоит только в точности оценок. На инженерный диапазон интенсивности (7-9 баллов) приходится 6 степеней повреждения, включая нулевую. Таким образом, точность инженерных обследований последствий землетрясения позволяет вести градацию сейсмического эффекта через полбалла. Заметим, что при инженерном обследовании последствий землетрясения, как правило, статистически получают дробные значения средних степеней повреждений.

Построение карт ОСР с градацией в полбалла существенно уменьшит погрешность, связанную с округлением оценок интенсивности до целочисленных значений. Впрочем, если оценка результатов сейсмических воздействий в баллах вполне адекватно описывает последствия землетрясений, то амплитуды колебаний этим качеством не обладают.

При использовании шкалы MSK-64 превышение ускорений составит около 33%, а при использовании новой шкалы (изменение амплитуды в 2,5 раза на балл) 28%. Эта погрешность связана только с принятой моделью распределения амплитуд при фиксированной интенсивности в баллах. Сейсмический эффект определяется не только уровнем ускорений, но и уровнями скоростей и смещений, а оценки повреждаемости зданий и сооружений по этим параметрам будут в общем случае не совпадать.

Влияние продолжительности колебаний на сейсмическую интенсивность

На сейсмическую интенсивность большое влияние оказывает и продолжительность колебаний. За рубежом этот фактор учитывается при использовании модели Ариаса [Arias, 1970]. В шкале ГОСТ Р 57546.2017 имеется аналог такого воздействия. Учет длительности колебаний существенно снижает погрешность оценок. В работе [Аптикаев, 2012] приводятся стандартные отклонения корреляции сейсмических воздействий в баллах с различными параметрами сейсмического движения грунта. Для логарифмов пиковых ускорений стандартное отклонение равно 0,6 балла. Вариации связаны с погрешностями оценок ускорений и интенсивности. Для скорости колебаний аналогичная оценка составляет 0,55 балла. Для величины $(\lg PGA + 0,5 \lg \tau)$ – аналога функции Ариаса – стандартное отклонение равно 0,35 балла. Здесь τ – продолжительность колебаний, определяемая как интервал времени, в течение которого амплитуда превышает половину максимального значения. Наконец, если коррелировать степень повреждения с логарифмом мощности волны $(\lg PGA + \lg PGV)$ стандартное отклонение составит 0,26 балла. Надо думать, что наивысшую точность будет иметь энергия сейсмической волны $(\lg PGA + \lg PGV + \lg \tau)$. Это следует из законов механики. Необходимость задания сейсмических воздействий в энергетических параметрах отмечали С. W. Housner, J. A. Blume, N. M. Newmark, V. V. Bertero, и другие ученые США, Италии, Японии, а в нашей стране – А. А. Долгая, М. А. Клячко, И. Л. Корчинский, А. А. Петров, Ю. Л. Рутман, А. М. Уздин, и другие. Без решения этой проблемы ожидать существенного прогресса в области сейсмостойкого строительства не приходится.

Выводы

Создание карт сейсмической опасности в ускорениях не решает задачу повышения надежности проектирования сейсмостойких зданий и сооружений. Резкое повышение надежности расчетов возможно только путем задания сейсмических воздействий в энергетических характеристиках колебаний грунта.

Литература

1. Аптикаев Ф. Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности. / Ф. Ф. Аптикаев; Российская акад. наук, Ин-т физики Земли им. О. Ю. Шмидта. – М.: Наука и образование, 2012. – 175 с.
2. Аптикаев Ф. Ф. Новые строительные нормы: шаг вперед, два шага назад. // Геология и геофизика юга России. – 2020. – № 10 (2). – С. 171-181.
3. Аптикаев Ф. Ф., Эртелева О. О., Мокрушина Н. Г. Категория сейсмических шкал семейства Меркалли. // Вулканология и сейсмология. – 2008. – № 3. – С. 74-78.
4. ГОСТ Р 57546.2017. Национальный стандарт Российской Федерации Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. – М.: Стандартинформ, 2017. – 28 с.
5. Жунусов Т. Ж. Оценка сейсмостойкости сооружений. – Алма-Ата: Рауан, 1990. – 270 с.
6. Завьялов А. Д., Перетокин С. А., Данилова Т. И., Медведева Н. С., Акатова К. Н. Общее сейсмическое районирование от карт ОСР-97 к ОСР-2016 и картам нового поколения в параметрах физических характеристик. // Вопросы инженерной сейсмологии. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2018. – Т. 46. № 4. – С. 47-68.
7. Кулиев Ф. Т., Шебалин Н. В. О возможности статистической интерпретации балльности. // Сильные землетрясения Средней Азии и Казахстана. – Душанбе: Дониш, 1970. – Вып. 1. – С. 94-118.
8. Курбацкий Е. М., Косауров А. П. К вопросу о пересчете балльности в ускорения колебаний грунта. // Инженерные изыскания. – 2016. – № 14. – С. 50-60.
9. Медведев С. В. Определение интенсивности колебаний. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1978. – Вып. 19. – С. 108-116.
10. Ордынская А. П. Интегральная оценка интенсивности проявлений в природной среде и техносфере. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2010. – № 5. – С. 45-53.
11. Составление карты детального сейсмического районирования Ставропольского края. – 1 – 6. – М.: Изд-во ИФЗ РАН, 1999.
12. Тяпин А. Г. Некоторые соображения о нормах нового поколения. Часть 1: Общие положения и задание сейсмического воздействия. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2019. – № 5. – С. 7-18.
13. Уломов В. И. Районирование сейсмической опасности на территории России. // Федеральная система сейсмологических наблюдений и прогноза землетрясений. Информационно-аналитический бюллетень Министерства Российской Федерации по чрезвычайным ситуациям. – 1994. – Т. 1. № 1. – С. 41-52.
14. Уломов В. И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсмобезопасность России». // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2012. – Т. 39. № 1. – С. 5-38.
15. Ципенюк И. Ф. Повреждаемость и надежность крупнопанельных зданий при сейсмических воздействиях. // Вопросы инженерной сейсмологии. – 1988. – Вып. 29. – С. 141-153.
16. Шебалин Н. В. Распределение степеней повреждения зданий и использование его для оценки балльности. // Сейсмическая шкала и методы измерения сейсмической интенсивности. – 1975. – С. 87-109.

17. Arias A. A measure of earthquake intensity. // *Seismic design for nuclear power plants.* / R. J. Hansen, ed. – MIT Press, Cambridge, Massachusetts. – 1970. – pp. 438-483.
18. Akkar S., Bommer J. J. Empirical Prediction Equation for Peak Ground Velocity Derived from Strong-Motion Records from Europe and the Middle East. // *BSSA.* – 2007. – Vol. 97 (2). – pp. 511-530.
19. Huang Jyun-Yan, Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Chun-Hsiang Kuo, Kuo-Liang Wen, Chun-Te Chen. Progress of Soil Nonlinearity Researches of Recent Years in Russia and Taiwan. // *Geology and Geophysics of Russian South.* – 2020. – Vol. 10 (2). pp. 95-112. DOI: 10.46698/VNC. 2020.28.93.007.
20. Lanzano G., Salzano E., Santucci F., Fabbrocino G. Performance assessment of continuous buried pipelines under earthquake loadings. // *Chemical Engineering Transactions.* – 2013. – Vol. 31. – pp. 631-636.
21. Murphy J. R., O'Brien L. J. The correlation of peak acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters. // *BSSA.* – 1977. – Vol. 67 (3). – pp. 877-915.
22. Neumann R. Earthquake intensity and related ground motion. – Seattle, Univ. Wash. Press, 1954. – 77 p.
23. Nuttli O. W. by Jack F. Evernden. Comments on “Seismic intensities size of earthquakes and related parameters. // *BSSA.* – 1976. – Vol. 66 (1). – pp. 331-338.
24. Ulomov V. I. Seismic hazard of Northern Eurasia. // *Annali di geofisica.* – 1999. – Vol. 42 (6). – pp. 1023-1038.
25. Yin-Min Wu, Ta Liang Teng, Tzay-Chyn Shin, Nai-Chi Hsiao. Relationship between PGA, Ground PGV and I (MM) in Taiwan. // *BSSA.* – 2003. – Vol. 93 (1). – pp. 386-396.

References

1. Aptikaev F. F. Instrumental scale of seismic intensity. Science and education publishing, 2012. 176 p. (In Russ.)
2. Aptikaev F. F. New building codes: one step forward, two steps back. *Geology and Geophysics of the South of Russia*, 2020. Vol. 10 (2). pp. 171-181. (In Russ.)
3. Aptikaev F. F., Erteleva O. O., Mokrushina N. G. Category seismic scales family of Mercalli. *Volcanology and seismology*, 2008. No. 3. pp. 74-78. (In Russ.)
4. GOST R 57546.2017. National standard of the Russian Federation of the Earthquake. Scale of seismic intensity. Moscow. Standartinform, 2017. 28 p. (In Russ.)
5. Zhunusov T. Zh. Assessment of the seismic resistance of structures. Alma-Ata. Rauan, 1990. 270 p. (In Russ.)
6. Zavyalov A. D., Peretokin S. A., Danilova T. I., Medvedeva N. S., Akatova K. N. General Seismic Zoning from Maps GSZ-97 to GSZ-2016 and New-Generation Maps in the Parameters of Physical Characteristics. *Seismic Instruments*, 2019. Vol. 55. No. 4. pp. 495-463. (In Russ.)
7. Kuliev, F. T., Shebalin N. V. About the possibility of a statistical interpretation of intensity. Strong earthquake in Central Asia and Kazakhstan. Dushanbe. Donish, 1970. Vol. 1. pp. 94-118. (In Russ.)
8. Kurbatsky E. M., Kosaurov A. P. On the question of recalculation of the score in the acceleration of ground vibrations. *Engineering survey*, 2016 No. 14. pp. 50-60. (In Russ.)
9. Medvedev S. V. Determination of vibration intensity. *Questions of engineering seismology*, 1978. Is. 19. pp. 108-116. (In Russ.)
10. Ordynskaya A. P. Integral assessment of the intensity of manifestations in the natural environment and technospheres. *Seismic construction. Safety of structures*, 2010. No. 5. pp. 45-53. (in Russ.)
11. Drawing up a map of detailed seismic zoning of the Stavropol Territory. T. 1–6. Moscow. IPZ RAN, 1999. (In Russ.)
12. Tyapin A. G. Some considerations about new generation norms. Part 1: General provisions and the task of seismic impact. *Seismic construction. Safety of structures*, 2019. No. 5. pp. 7-18. (in Russ.)

13. Ulomov V.I. Seismic hazard zoning in Russia Federal system of seismological observations and earthquake prediction. Information-analytical Bulletin of the Ministry of the Russian Federation for emergency situations, 1994. Vol. 1. No. 1. pp. 41-52. (In Russ.)
14. Ulomov V.I. Updating of normative seismic zoning as part of the unified information system "Seismic Safety of Russia". Questions of engineering seismology. 2012. Vol. 39. No. 1. pp. 5-38. (In Russ.)
15. Tsipenyuk I.F. Damageability and reliability of large-panel buildings under seismic forces. Questions of engineering seismology, 1988. Vol. 29. pp. 141-153. (In Russ.)
16. Shebalin N. V. The distribution of the degrees of damage to buildings and use it to evaluate the intensity. Seismic scale and methods of measuring seismic intensity, 1975. pp. 87-109. (In Russ.)
17. Arias A. A Measure of Earthquake Intensity. Seismic Design for Nuclear Power Plants. R. J. Hansen, ed. MIT Press, Cambridge, Massachusetts. 1970. pp. 438-483.
18. Akkar S., Bommer J. J. Empirical Prediction Equation for Peak Ground Velocity Derived from Strong-Motion Records from Europe and the Middle East. BSSA, 2007. Vol. 97 (2). pp. 511-530.
19. Huang Jyun-Yan, Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Chun-Hsiang Kuo, Kuo-Liang Wen, Chun-Te Chen. Progress of Soil Nonlinearity Researches of Recent Years in Russia and Taiwan. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10 (2). pp. 95-112. DOI: 10.46698/VNC.2020.28.93.007.
20. Lanzano G., Salzano E., Santucci F., Fabbrocino G. Performance Assessment of Continuous Buried Pipelines Under Earthquake Loadings. Chemical Engineering Transactions, 2013. Vol. 31. pp. 631-636.
21. Murphy J.R., O'Brien L.J. The correlation of peak acceleration amplitude with seismic intensity and other physical parameters. BSSA, 1977. Vol. 67 (3). pp. 87
22. Nuttli O. W. by Jack F. Evernden. Comments on "Seismic intensities size of earthquakes and related parameters. BSSA. 1976. Vol. 66 (1). pp. 331-338.
23. Neumann R. Earthquake intensity and related ground motion. Seattle, Univ. Wash. Press, 1954. 77 p.
24. Ulomov V.I. Seismic hazard of Northern Eurasia. Annali di geofisica. 1999. Vol. 42 (6). pp. 1023-1038.
25. Yin-Min Wu, Ta Liang Teng, Tzay-Chyn Shin, Nai-Chi Hsiao. Relationship between PGA, Ground PGV and I (MM) in Taiwan. BSSA. 2003. Vol. 93 (1). pp. 386-396.

УДК 550.343

DOI: [10.46698/VNC.2021.53.34.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.53.34.009)

Original paper

Substantiation of the main concepts for the deformation model of the crustal earthquake source preparation

A. K. Pevnev 

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10/1 Bolshaya Gruzinskaya Str., Moscow 123995, Russian Federation, e-mail: an. pevnev@yandex. ru

Received: 14.01.2021, revised: 03.02.2021, accepted: 19.02.2021

Abstract: Relevance. The article reasonably shows that the uppermost layer of the Earth's crust up to 25 kilometers is seismogenic. **Aim.** The article provides the evidence that crustal seismicity is generated not by regional stress fields of a homogeneous shear, as it was adopted in the strategy for solving the problem of earthquake forecast, but by local fields of exponential elastic stress. Such fields arise in one or another section of a seismogenic fault due to the occurrence of a stress concentrator in this section. According to the Saint Venant principle, such a stress concentrator (an additional load in the system) generates a local stress field of an exponential form. In this field the maximum stress is localized in the areas of an increment load application (in the fault) and decreases very quickly (exponentially) on both sides of the fault. Such stress concentrators arise in those areas of a seismogenic fault, where displacements along the fault stop due to various reasons. G. A. Gamburtsev foresaw this situation and very precisely called such concentrators as "seams". The origin of a local stress field at the place, where a seam appears, is caused by the following fact: the power impulse generated by the seam is small compared to the linear momentum of the entire system of blocks of the considered fault and, therefore, it will stop the displacement of blocks only within the seam; but the displacements of blocks outside the seam will continue in the same mode. One can single out the following reasons causing stress concentrators in the fault: variations in different stress fields, changing the value of the friction coefficient in the fault; variations in fluid processes; the influence of temperature and pressure; mechanical "hooks" of blocks due to irregularities of their contacting surfaces, etc. **Methods.** The fact of the existence of the considered local stress fields is confirmed by geodetic studies, i. e. the results of repeated geodetic measurements in the epicentral zones of strong earthquakes. **Results.** These results allow drawing the following conclusions: 1) the sign of the preparation of a crustal earthquake source was reliably determined. This sign means the increasing deformation of the elastic bending of rocks in the source in the course of time; 2) from the standpoint of solving the problem of earthquake forecast, the main and decisive result of these studies is that the deformation processes occurring in the impending source also capture the Earth's surface, because this is precisely what opens up great opportunities in solving this problem; 3) with the help of special geodetic systems (forecast profiles), one can detect the places of the impending earthquake source preparation, i. e. make an accurate forecast of the site of a future earthquake; 4) since the energy of the earthquake source is functionally related to its size, one can realize the correct prediction of the maximum possible intensity of the future earthquake by determining the length of the seismogenic fault section, elastically deformed by the preparation of the earthquake using the forecast profiles.

Keywords: regional and local stress fields, Saint Venant principle, elastic bending, geodetic monitoring, earthquake forecast.

For citation: Pevnev A. K. Substantiation of the main concepts for the deformation model of the crustal earthquake source preparation. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. 11 (1): 104 – 120. DOI: 10.46698/VNC.2021.53.34.009.

DOI: [10.46698/VNC.2021.53.34.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.53.34.009)

Оригинальная статья

Обоснование основных положений деформационной модели подготовки очага корового землетрясения

А. К. Певнев 

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

Статья поступила: 14.01.2021, доработана: 03.02.2021, одобрена в печать: 19.02.2021

Резюме: Актуальность работы. В статье обоснованно показано, что сейсмогенным является самый верхний слой земной коры мощностью до 25 километров. **Цель работы.** В статье приведены доказательства того, что коровая сейсмичность порождается вовсе не региональными полями напряжений однородного сдвига, как это было принято в стратегии решения проблемы прогноза землетрясений, а локальными полями упругих напряжений экспоненциального вида. Такие поля возникают в том или ином участке сейсмогенного разлома из-за появления на этом участке концентратора напряжений. Согласно принципу Сен-Венана такой концентратор напряжений (дополнительная нагрузка в системе) порождает локальное поле напряжений экспоненциального вида. Максимальная величина напряжения в этом поле расположена в месте приложения дополнительной нагрузки (в разломе) и очень быстро (экспоненциально) убывает в обе стороны от разлома. Такие концентраторы напряжений возникают на тех участках сейсмогенного разлома, на которых в силу тех или иных причин прекращаются смещения по разлому. Г. А. Гамбурцев провидчески предвидел данную ситуацию и очень метко такие концентраторы назвал «спайками». Возникновение локального поля напряжений в месте появления спайки обусловлено тем, что импульс силы, порождаемый спайкой мал по сравнению с количеством движения всей системы блоков рассматриваемого разлома и, следовательно, он остановит смещение блоков лишь в пределах спайки, но смещения блоков вне спайки будут продолжаться в прежнем режиме. Среди причин, порождающих концентраторы напряжений в разломе можно назвать следующие: вариации различных полей напряжений, изменяющие величину коэффициента трения в разломе; влияние температуры и давления; вариации флюидных процессов; механические «зацепы» блоков из-за неровностей их соприкасающихся поверхностей и др. **Методы исследования.** Факт существования рассматриваемых локальных полей напряжений подтвержден геодезическими исследованиями – результатами повторных геодезических измерений в эпицентральных зонах сильных землетрясений. **Результаты работы.** Эти результаты позволяют сделать следующие выводы: 1) достоверно определен признак подготовки очага корового землетрясения, которым является нарастающая во времени деформация упругого изгиба горных пород в его очаге; 2) с позиций решения проблемы прогноза землетрясений главным и определяющим результатом этих исследований является то, что происходящие в готовящемся очаге деформационные процессы захватывают и земную поверхность, ибо именно это открывает большие возможности в решении этой проблемы; 3) с помощью специальных геодезических систем (прогнозных профилей) можно обнаруживать места подготовки очагов готовящихся землетрясений, т. е. осуществлять точный прогноз места будущего землетрясения; 4) так как энергия очага землетрясения функционально связана с его размерами, то определив с помощью прогнозных профилей длину участка сейсмогенного разлома, упруго деформированного подготовкой землетрясения, можно осуществить и точный прогноз максимально возможной силы будущего землетрясения.

Ключевые слова: региональные и локальные поля напряжений, принцип Сен-Венана, упругий изгиб, геодезический мониторинг, прогноз землетрясений.

Для цитирования: Певнев А. К. Обоснование основных положений деформационной модели подготовки очага корового землетрясения. *Геология и Геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 104 – 120. DOI: 10.46698/VNC.2021.53.34.009

Introduction

Regarding the issue of earthquake forecast, one ought to bear in mind that the Earth is exposed to the crustal and the deep-focus seismicity. The earthquakes of the first type occur in the Earth's crust, and the second ones take place in the Earth's mantle which is located under the Earth's crust. This article deals with the forecast of crustal earthquakes.

Taking considerations of G.A. Gamburtsev into account, one has a reason to believe that the crustal type of seismicity is a consequence of the Earth tectonic activity, caused by deep endogenous processes that are displayed on the surface of the Earth in its continuous movement. Due to these processes energy the mountains and depressions are forming and the continents and vast areas of the deep-sea floor are moving. They split the lithosphere into a lot of blocks and make these blocks move relative to each other along the deep faults separating them. The velocities of block systems' relative displacements along the mentioned faults have significant differences for various tectonic structures of the Earth. The highest displacement velocity is observed in the blocks in orogens, i. e. in tectonically active mountain structures of the Earth. These velocities are measured in centimeters per year. Thus, this velocity on the San Andreas Fault in California (Fig. 1) is 5 cm/year, and in Pamir and Tien Shan conjunction zone (Vakhsh thrust) is 2.5 cm/year. The Pacific Ocean bed is shifting with the maximum, measured by geodetic methods, speed which is equal to 10 cm/year.

The blocks of the Earth's crust have much lower displacement velocities in tectonically less active structures of the Earth. Platforms, i. e. large plain areas of the Earth's crust, are referred to such structures. The displacement velocities of blocks on platforms are by an order lower than in orogens. They are measured in millimeters and even tenths of a millimeter per year.

Structures with high displacement velocities in faults are considered as the most seismically hazardous. And tectonically low-active structures are less seismically hazardous. G.A. Gamburtsev foresaw it: "Relatively slow young and modern movements of the Earth's crustal blocks may not be accompanied by strong earthquakes" [Gamburtsev G.A., 1960, p. 431].



Fig. 1. The San Andreas Fault, like a giant scar, crosses the Carrizo Plain in California, according to: [Bolt, 1981]

Thus, one can draw a conclusion about the direct correlation between the tectonic structures' seismic activity and the displacement velocities of crustal blocks in these structures. Therefore, the reason of seismicity should be sought in the features of the behavior of these velocities. The type of velocity variations at which the initiation of an earthquake source is possible in a particular section of the fault is determined quite simple. The case when the block surfaces, which are separated by the fault, hinder their movement (i. e. the blocks seem to "slide" relative to each other) excludes the possibility of the origination of a strong crustal earthquake in this segment of the fault. However, if a stress concentrator arises in any section of a seismogenic fault, which prevents the free movement of blocks in this section of the fault, then conditions arise for the initiation of an earthquake source. G. A. Gamburtsev very precisely called such stress concentrators as "seams" [Gamburtsev, 1982, p. 306].

In the theory of elasticity, such situations correspond to the following Saint Venant principle: "If a balanced system of forces is applied in any small part of the body, then it causes stresses in the body that very quickly decrease with distance from this part (exponential decay of stresses)" [Bezukhov, Luzhin, 1974, p. 6].

The origin of a local stress field at the place, where a seam appears, is caused by the following fact: the power impulse generated by the seam is small compared to the linear momentum of the entire system of blocks of the considered fault and, therefore, it will stop the displacement of blocks only within the seam, but the displacements of blocks outside the seam will continue in the same mode.

Variations in different stress fields, changing the value of the friction coefficient in the fault; variations in fluid processes; the influence of temperature and pressure; mechanical "hooks" of blocks due to irregularities of their contacting surfaces, etc. can be considered as the reasons causing stress concentrators in the fault.

Thus, studying the possible reasons of the earthquake source initiation, i. e. the start of the process of seismogenic deformations' accumulation in this source, it is suggested that the beginning of these processes is due to tectonic movement stop in a certain section of the seismogenic fault.

Theoretical considerations about the reality of the occurrence of sections of displacement delays in seismogenic faults are as follows: a tectonic crustal earthquake is the rapid destruction of a certain volume of rocks (an earthquake source) that generates seismic waves, caused by the ultimate elastic deformations (stresses) accumulated in this source.

Thus, a required condition for the earthquake source preparation is the existence in the fault zone of a mechanically strong, consolidated medium (rigid inclusion). This medium has elastic properties and due to this it is capable of potential elastic energy accumulation.

So, an earthquake source in the phase of initiation (i. e. at the stage of potential elastic energy accumulation) has to be a stable, plastically slightly deformable inclusion in the seismogenic layer of the Earth's crust.

Thus, it can be considered that the main condition for the initiation of the crustal earthquake source is the occurrence of a stress concentrator (seam), which prevents tectonic displacements in the place of its formation.

This seam, which means the stopping of block displacements in one or another section of the fault, with the permanent motion of two extended, mutually displacing systems of blocks, will generate an elastic stress field in this section, i. e. this area will be the nucleus of the earthquake focus.

The following condition is necessary and sufficient for the formation of a strong earthquake source: the source, initially or at the stage of formation, must be a body, the predominant deformations of which are elastic seismogenic deformations. This is the way of origination and formation of the source of a crustal earthquake.

The existence of “Gamburtsev’s seams” can also be considered according to the variations of the seismic regime in the earthquake source during its preparation and immediately after the destruction (strong earthquake). During the preparation of the source, it is either completely aseismic or generates rare seismic impulses, the so-called foreshocks (weak earthquakes that occur before a strong earthquake). Previously, scientists hoped to use the foreshocks in the problem of forecasting earthquakes; however, they did not come true, since it was not possible to find a logical connection between the preparing source and the so-called foreshocks. And this is not surprising, since foreshocks do not differ from ordinary weak earthquakes and they are recognized only after strong earthquakes.

After a strong earthquake, the seismic regime in the source changes very sharply: it is accompanied by a trail of aftershocks (weak earthquakes), which can last for many months or more decreasing with time.

This abrupt change in the seismic regime after a strong earthquake in the source is an objective indicator that the source of the impending earthquake was a consolidated volume of rocks with one modulus of elasticity – in the case of mechanically homogeneous rocks in the earthquake source, this will be their natural modulus of elasticity. As for the modulus of elasticity in the impending source with mechanically heterogeneous rocks, it can be assumed that an effective modulus of elasticity arises in such a source.

The modulus of elasticity, which is common in the rocks of the source, allows accumulating ultimate elastic stresses in the entire volume of the source, and that is why, during the accumulation of these stresses, it either doesn’t emit or emits weakly this energy. After the discharge of the main part of the accumulated energy (strong earthquake), this consolidated body returns to its original state and in it, in the form of aftershocks, the final discharge of the seismic energy accumulated in the focus occurs.

Considering the question of possible reasons for the occurrence of an effective elastic modulus in an incipient source, in which there are blocks of rocks with different elastic moduli, one can bear in mind the following. During the earthquake source initiation, its entire volume is in the local field of compressive stresses, which compact the rocks. It can be believed that due to this compaction, an effective modulus of elasticity arises.

The occurrence of strong earthquakes in the upper layer of the crust indicates that in seismogenic faults of this layer, in certain parts of them, conditions for the accumulation of ultimate elastic seismogenic deformations in a particular volume of rocks arise for one or another reason.

Thus, it can be considered that the main condition for the origin of a crustal earthquake source is the occurrence of a stress concentrator, which prevents tectonic displacements in the place of its formation and leads to the formation of a mechanically strong, consolidated volume of rocks (seam) in a particular fault zone.

So, one can conclude that the reason for the crustal seismicity, which is caused by mutual tectonic displacements of blocks of the Earth’s crust, is a delay in these displacements of blocks in one or another section of the seismogenic fault.

It is necessary to notice that the seismic energy emitted in the course of earthquakes is a very insignificant fraction of the tectonic energy, which is spent on tectonic displacements of block systems along the faults separating them. Considering the studies of

Yu. V. Riznichenko [Riznichenko, 1985], this share does not exceed 1% for the Caucasus region. It is hardly to imagine what would happen on Earth in case of this share were equal, for example, 40-60%. It is reputed that, fortunately for us, the system of tectonic displacements of the blocks of the Earth's crust works with a small "defect", which, nevertheless, is very tangible for the Earth.

Methods

The type and size of real deformation fields generated by local fields of elastic stresses of the exponential form. Deformation precursor of the preparation of the crustal earthquake source

According to the above considered Saint Venant principle, due to the stress concentrator (seam), a local elastic stress field arises, being maximum at the place where the seam originates (in the fault) and exponentially decreasing with distance from this section of the fault.

It is quite obvious that a local elastic stress field with exponential decay of stresses should generate an exponential field of elastic deformation of rocks in the impending earthquake source, i. e. rocks must be elastically bent.

Thus, we have obtained a theoretical basis for the type of deformation precursor of a crustal earthquake – **this is the elastic bending of rocks in the impending earthquake source.**

With the help of the existing geodetic experimental data one can check the rightness of these theoretical considerations. These data are the results of recurrent geodetic measurements that have been performed before and after strong crustal earthquakes in their epicentral zones (Fig. 2) [Gamburtsev, 1960; Kasahara, 1985].

The data of repeated triangulations carried out in the epicentral zones after the strong earthquakes are shown in the Fig. 2. Vertical lines denote seismogenic faults, along which horizontal movements occurred in the process of the earthquakes. The dots are fixed off-sets of triangulation points; the scale of displacements is shown on the vertical axis. The abscissa denotes the location of these points from the certain fault.

According to the figure, the same pattern is traced for all the five earthquakes given above. The displacements are maximum in the vicinity of the fault and rapidly (exponentially) decrease with distance from it. For different earthquakes, these displacements become minimal (zero) at distances from 20 to 40 km from the fault. This suggests that the exponential distribution of the displacements of geodetic points on the curved lines in Figure 2, as well as the manifestation of these displacements no further than 40 km from the fault, reflect the actual form of stress fields and their sizes, caused by the earthquakes, that generated them. The validity of this assumption is substantiated below (see Fig. 3).

These data and other sources [Kanamori et al., 2006; Ohta et al., 2012; Tong et al., 2012; Wang et al., 2013, 2020; Zeng, Shen, 2017; Zeng et al., 2018; Liu, Rogozhin, 2018; Bulut et al., 2019; Toulkeridis et al., 2019; Kazimova, Kazimov, 2020; Li et al., 2020] also convincingly indicate that the displacements of geodetic points which take place in the course of strong earthquakes carry the information about the unified mechanism for the preparation of these earthquakes. It should also be noted the fact that this mechanism is the same for different continents. It can be believed that it is universal.

They also confirmed the previously expressed theoretical considerations that the process of crustal earthquake preparation is the accumulation of elastic bending seismogenic deformations in its source, and therefore the deformation sign (precursor) of preparation

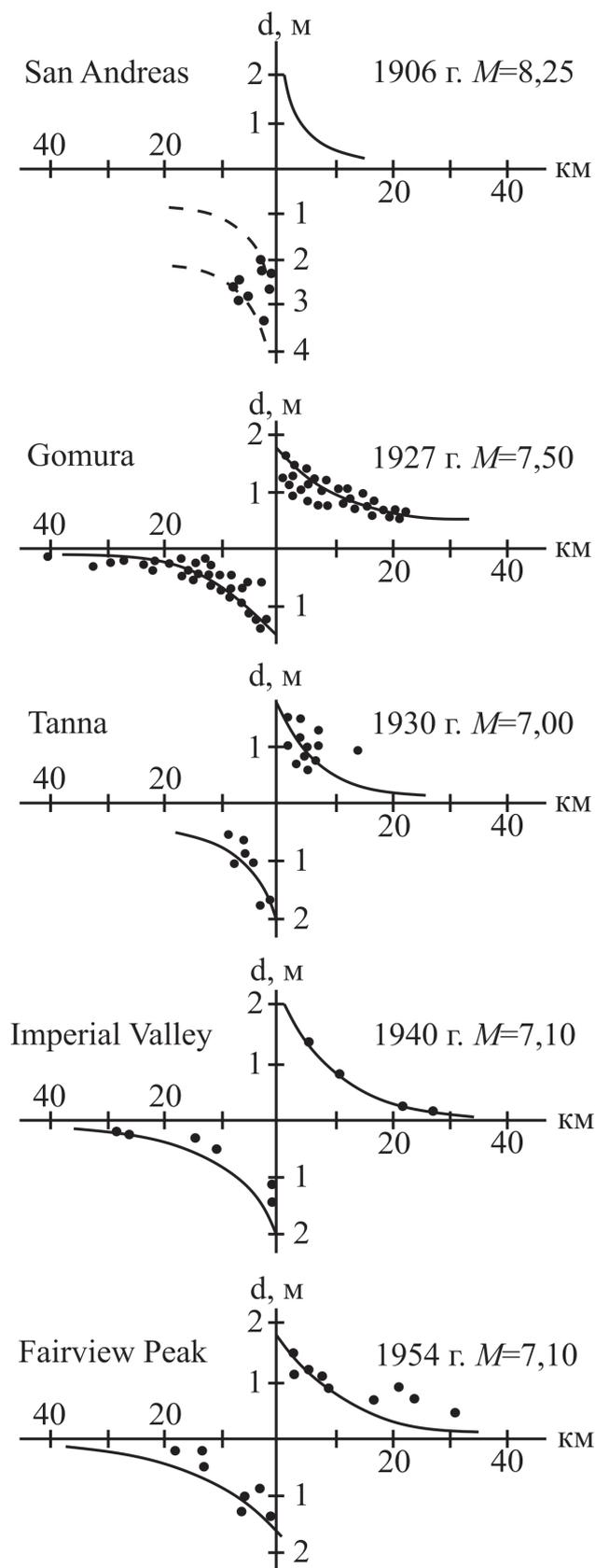


Fig. 2. Actual distribution of displacements of triangulation points (d) in zones of seismogenic faults during strong crustal earthquakes depending on the distance of geodetic points from faults, according to [Gamburtsev, 1960; Kasahara, 1985]

and maturation of the crustal earthquake source is **the elastic bending of rocks in this source**.

One should note that according to the information of this figure, one can determine the width of the earthquake source, which can be considered equal to the width of the zones of penetration of elastic displacements into the bodies of the crustal blocks contacting along the fault. In order to realize this, it is necessary to determine the interval between the points of these blocks exponential curves exit to the asymptotes. These distances are evaluated in several tens of kilometers (from 40 to 60m) agreeably the data in Fig. 2.

However, in the light of the problem under discussion, the main importance of these data lies in the fact that they contribute to the real forecast of earthquakes as they confirm the participation of the Earth's surface in the process of the earthquake source preparation.

Local stress fields generating sources of crustal earthquakes arise due to the appearance of stress concentrators in a seismogenic fault, which are fault sections in which displacements along the fault have ceased for one or another reason. As noted above, such stress concentrators G.A. Gamburtsev called "seams". According to the Saint Venant principle, "seams" represent additional loads in the system of shifting blocks of the Earth's crust. It is they that generate local fields of elastic stresses of an exponential type, which is confirmed by geodetic studies.

So, based on the analysis of geodetic data in Fig. 2, the following conclusions can be drawn:

1. Crustal seismicity is generated by local exponential stress fields ranging in size from 20 to 40 km.
2. The similarity of the identified displacements of geodetic points for all five earthquakes convincingly suggests that these data carry information about a single mechanism for the preparation of these earthquakes.
3. The process of crustal earthquake preparing is the accumulation of elastic bending seismogenic deformations in its source. The deformation sign of the preparation of the crustal earthquake source is the elastic bending of rocks in this source.
4. The process of preparing the earthquake source also captures the Earth's surface, which is the upper surface of the impending earthquake focus, and this is what makes it possible to track this process directly on this surface.
5. The process of preparation of earthquake sources can be monitored only by geodetic methods, which allow determining the elastic displacements of the Earth's surface at bases of tens of kilometers, thereby determining the actual shape of the curve of the line of these displacements.

For better understanding the above-mentioned considerations, we should consider the reason for the appearance of regular displacements of triangulation points during earthquakes (Fig. 2). It is clearly demonstrated in Fig. 3.

Vertical line in figure 3A shows the same section of a seismogenic fault at times t_0 , t_1 , and t_2 , which correspond to different stress states of rocks. The directions of tectonic displacements on the fault are denoted by arrows. Moment t_0 – there are no seismogenic stresses in the rocks, which is shown by the straight line **ab**. Moment t_1 – rocks are extremely stressed by a local field of exponential elastic stresses (elastic bending): curve **ab**. Moment t_2 – the position of rocks after the earthquake, in which the following events occurred: the main rupture of rocks in the source; displacement of rocks along this rupture and, due to this, the discharge of the previously accumulated flexural seismogenic deformations – straight line segments **a** and **b**.

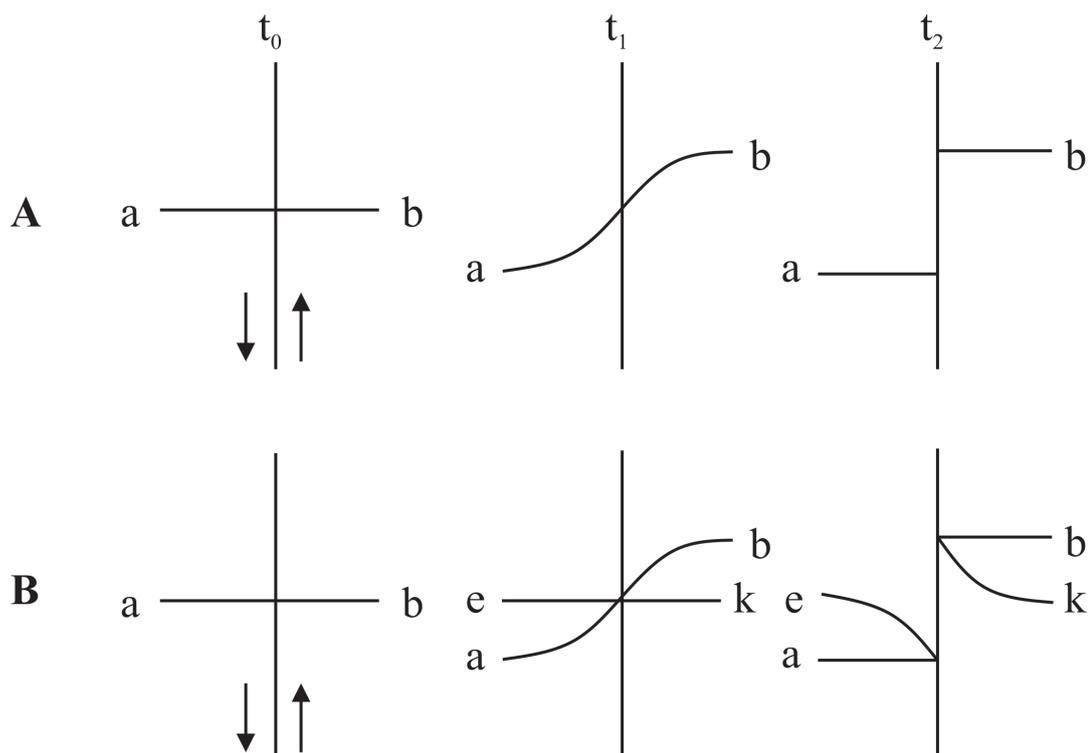


Fig. 3. An explanation of the phenomenon of the exponential distribution of displacements of geodetic points in the epicentral zones of strong crustal earthquakes

Now let's turn to Figure 3B. This figure has only one difference compared to the Figure 3A: it has a straight line **ek**, which means a rectilinear geodesic construction (geodesic profile) formed at time t_1 , over the maturing earthquake source. At first glance it seems that the view of the rectilinear geodesic profile is characterized by paradoxical changes after the earthquake, changing into two curved segments that are displaced relative to each other. But it is easily explained by the following. Due to the conditions of the problem, we know that the profile was formed over the rocks that already have been distorted by elastic bending of the impending earthquake source. It appears from this that the rocks have been displaced along the fault and straightened at the same time in the course of the elastic stress release. As for the rectilinear geodesic profile above the source, it turned into two curved segments. They have retained the curvature of the **ab** curve.

E and **k** curved segments are a mirror image of two halves of the **ab** elastic curve. It is explained by the fact that the curve **ab** and the straight line **ek** exchanged their shapes due to the earthquake. Hence these curved segments kept the information about the elastic deformations magnitude that have been accumulated in the source to the moment of this geodetic profile formation.

According to this conclusion, there is a reason to believe that in all the cases shown in Fig. 1, the initial triangulation measurements were performed over the already impending earthquake sources, i. e. they have already accumulated, by the time of the initial (performed before the earthquake) triangulation, seismogenic stresses. If it was otherwise, then in the course of an earthquake, initially rectilinear geodesic profile would only be broken at the fault line but did not experience any bending. It would be represented by two rectilinear segments similar to the behavior of rocks at the moment t_2 . This indicates the fact that strong earthquakes are being prepared for many tens and more years.

Thus, we successfully explained the mysterious occurrence of the curves in Figure 2.

Seismogenic layer of the Earth's crust

Taking the considered by us problem into account, it is essential to know whether the entire thickness of the Earth's crust is seismic. It is very important as the probability of the impending source detection is greater the shallower it is located in the Earth's crust.

It is traditionally assumed in seismology that crustal earthquakes take place at depths of up to 70 km. However, this does not correspond to reality, since not the entire crust is seismically active, but only its upper horizons [New catalog..., 1977; Rogozhin, 2013].

The rheological heterogeneity of the rocks of the Earth's crust along the vertical is the explanation of this phenomenon. According to [Bott, 1974; Sherman, 1977; Zharkov, 1983; Pavlenkova, 1988; Pevnev, 1988, 2014, 2020] the Earth's crust can be divided in the first approximation into elastic and plastic layers.

The upper layer of the Earth's crust, which is considered as conditionally cold and has a thickness of 10-25 km, is seismogenic, i. e. elastic, capable of accumulating significant elastic deformations and brittle fracture when the accumulated elastic stresses reach the ultimate strength of rocks. If we consider the rocks of the plastic, conditionally hotter layer, which do not have elastic properties, then this layer is considered as aseismic. It is explained by the fact that such rocks are plastic or viscoplastic.

Let's present the existing theoretical considerations and experimental data to substantiate this statement.

The English geophysicist M. Bott writes about the state of rocks in the upper part of the Earth's crust in his book:

"The results of experimental studies have shown that the mechanical properties of rocks at a depth of 10-25 km undergo two significant changes. First, there is a transition from a brittle state to a plastic one; Griggs, Turner and Hird... did not observe sudden cracks in any rocks except quartzite at pressures above 5 kbar and temperatures above 500° C, which corresponds to the conditions at a depth of about 20 km. Second, the compressive strength should be expected to decrease with depth under the dominant influence of temperature; for example, the tensile strength of dunite, pyroxenite and granite under all-round compression of 5 kbar decreases from 20 kbar at 25° C to 10 kbar at 500° C and to 7 kbar at 800° C" [Bott, 1974, p. 280].

"There is reason to believe that the lower part of the crust under the condition of a sufficiently high temperature and large stress differences can experience noticeable deformations in the form of unstationary and stationary creep" [Bott, 1974, p. 281].

The division of the lithosphere material into layers with different elastic characteristics in a vertical section is also confirmed by the distribution of mechanical quality factor (Q_μ) in it. Now let's quote the work of V.N. Zharkov:

"The quantity Q_μ can also be considered as a "measure of ideality" of the elasticity of the medium. The larger the value of Q_μ , the smaller part of the mechanical energy dissipates during vibrations and turns into heat, the closer the medium is to ideally elastic" [Zharkov, 1983, p. 90].

"The outer hard layer of the Earth (its lithosphere) is divided into three zones: high-quality factor (0-19 km), $Q_\mu \sim 600$; medium quality factor (19-38 km) $Q_\mu \sim 300$, and low-quality factor (38-90 km), $Q_\mu \sim 150$ " [Zharkov, 1983, p. 92] (Fig. 4).

It is worth mentioning the good agreement between the proved by Bott boundary of the transition of crustal rocks into a plastic state at a depth of about 20 km, and the thickness of the layer of the Earth's crust with the highest quality factor, equal to 0-19 km. It should be noted that this is the maximum figure of merit not only in the lithosphere but also in the Earth's mantle (Fig. 4).

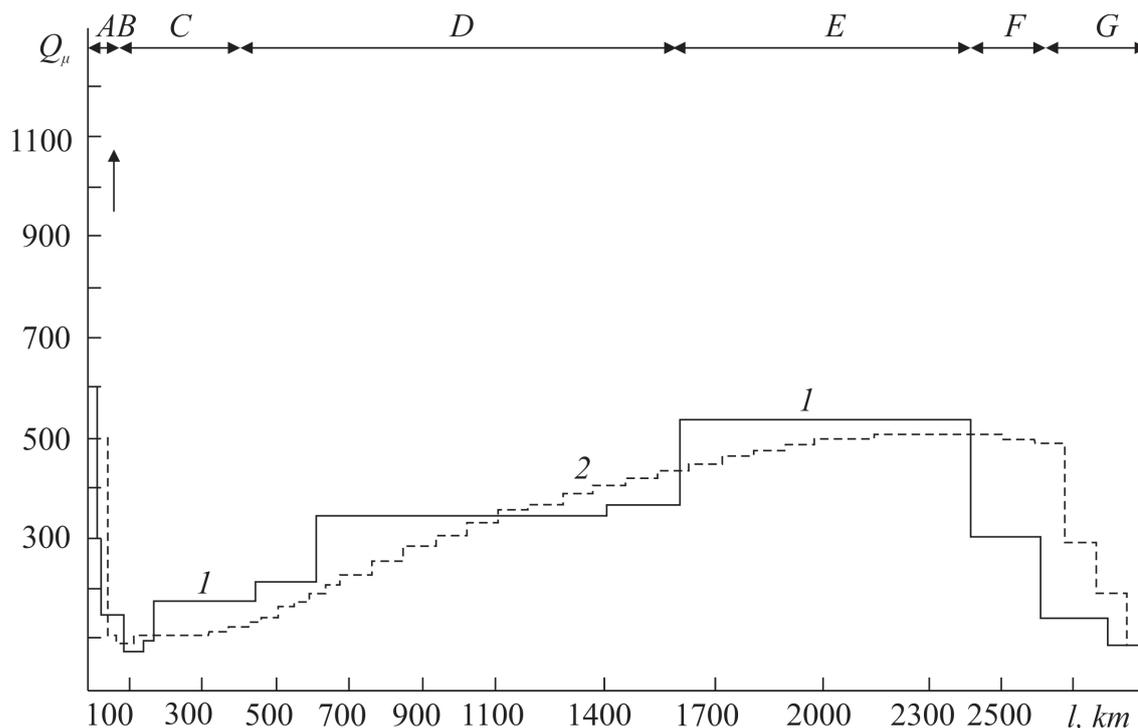


Fig. 4. Distribution of mechanical quality factor $Q_{\mu}(l)$ in the crust and mantle of the Earth. A (0-38 km) – 1st zone of high Q_{μ} (elastic lithosphere); B (38-90 km) – inelastic lithosphere; C (90-450 km) – 1st zone of low Q_{μ} ; D (450-1600 km) – 1st zone of intermediate Q_{μ} ; E (1600-2400 km) – 2nd zone of high Q_{μ} ; F (2400-2600 km) – 2nd zone of intermediate Q_{μ} ; G (2600-2885 km) – 2nd zone of low Q_{μ} . 1 – modified distribution Q_{μ} obtained by V.M. Dorofeev and V.N. Zharkov (1978); 2 – model SL8 (Anderson, Hart, 1978), according to [Zharkov, 1983]

It is very interesting to consider the diagram of the fault structure in Figure 5, proposed by D. I. Sherman in relation to the considered problem.

According to D. I. Sherman crustal rocks in the fault retain elastic properties (to one degree or another) only in the first three horizons shown in Figure 7 (I, II and III). The total thickness of these horizons is approximately 25 km. Within these 25 km, with increasing depth, there is a transition from brittle fracture (Hookian solid) – an approximate depth interval of 0-5 km – to quasi-brittle fracture (Burgers viscoelastic body) at approximately 5-10 km depths and, finally, to a quasi-plastic flow (Maxwell viscoelastic body) at depths of about 10-25 km. At greater depths (horizons IV and V), only plastic deformations take place: plastic flow (Saint-Venant plastic body) in horizon IV transforms into a viscous flow (Bingham viscoplastic body) in horizon V.

Data on the distribution of the depths of aftershocks of strong crustal earthquakes confirm and vividly illustrate the division of the Earth's crust into two layers by rheological parameters, the reliability of the location of the most elastic layer in its uppermost part and the reality of the above-mentioned thickness of this layer. Aftershocks are weaker earthquakes that occur in the source zone of a strong earthquake. Actually, aftershocks remove the elastic stresses remaining in the source after a strong earthquake, i. e. “finish off” what the main seismic shock did not do. Consequently, aftershocks can occur only in a medium capable of accumulating elastic seismogenic deformations (stresses). Therefore, one can determine the thickness of the seismogenic layer in the area under study with the help of studying the aftershocks' distribution in the depth. Racha earthquake of 1991 can be considered as the typical example of such data (Fig. 6).

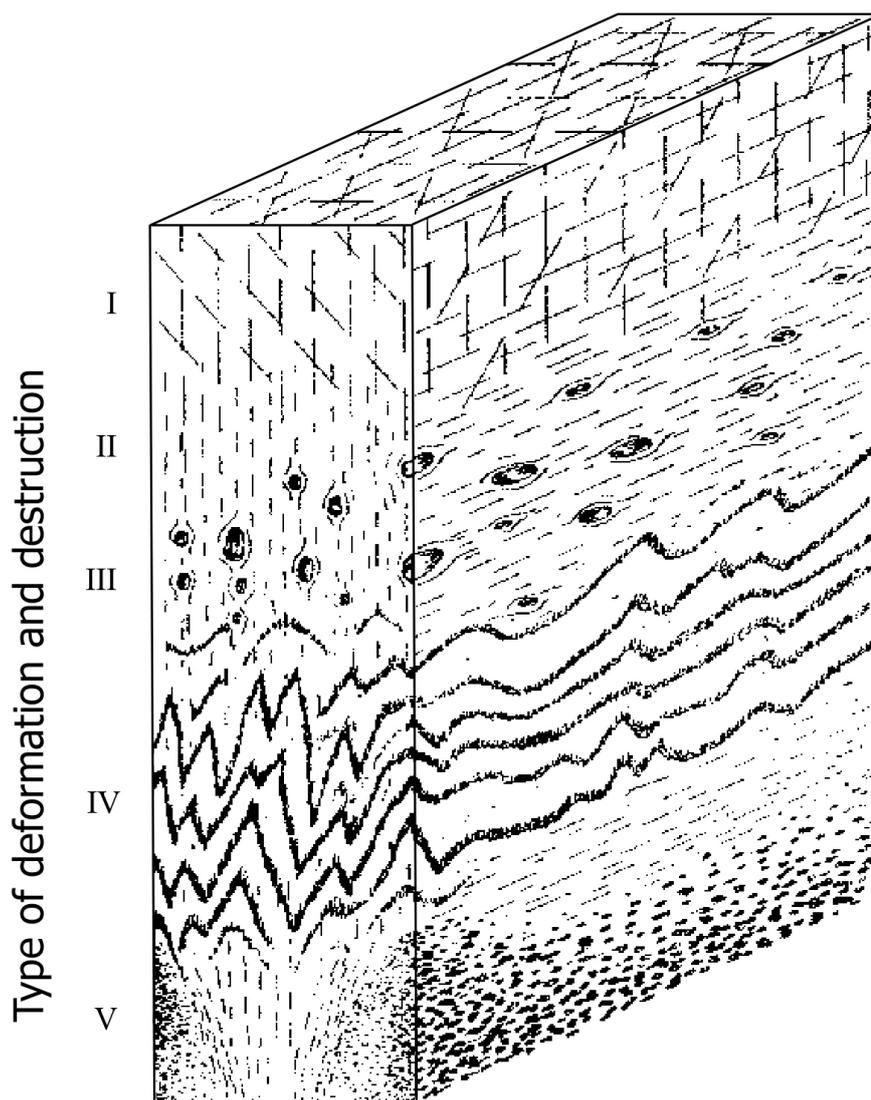


Fig. 5. Scheme of the structure of the general fault along the vertical section (I – brittle fracture, II – quasi-brittle fracture, III – quasi-plastic flow, IV – plastic injection, V – viscous flow), according to [Sherman, 1977]

Figure 6 clearly shows that after the earthquake the elastic stresses were relieved in the Earth's crust with the thickness of 0-25 km. Nevertheless, the most homogeneous aftershock field occupies only the 0 to 10 km depth interval. The number of aftershocks drastically decreases with the depth, and only single aftershocks are recorded at the maximum depth, equal to 25 km. Based on the information about such a distribution of aftershocks one can assume that this layer of the Earth's crust is responsible for crustal seismicity, i. e. it is the very layer, that can be considered as seismogenic.

Thus, we can assume that the thickness of the seismogenic layer is 10-15 km in the studying area. It cannot be doubted that such investigations of aftershocks are the most reliable method for determining the seismogenic layer thickness in those areas where the existing seismic grid allows recording weak earthquakes and determining the depths of earthquake hypocenters with sufficient accuracy within 1-5 km.

As it is known, there is a dense network of seismic stations at the San Andreas Fault in California with the help of which it is possible to record even very weak earthquakes

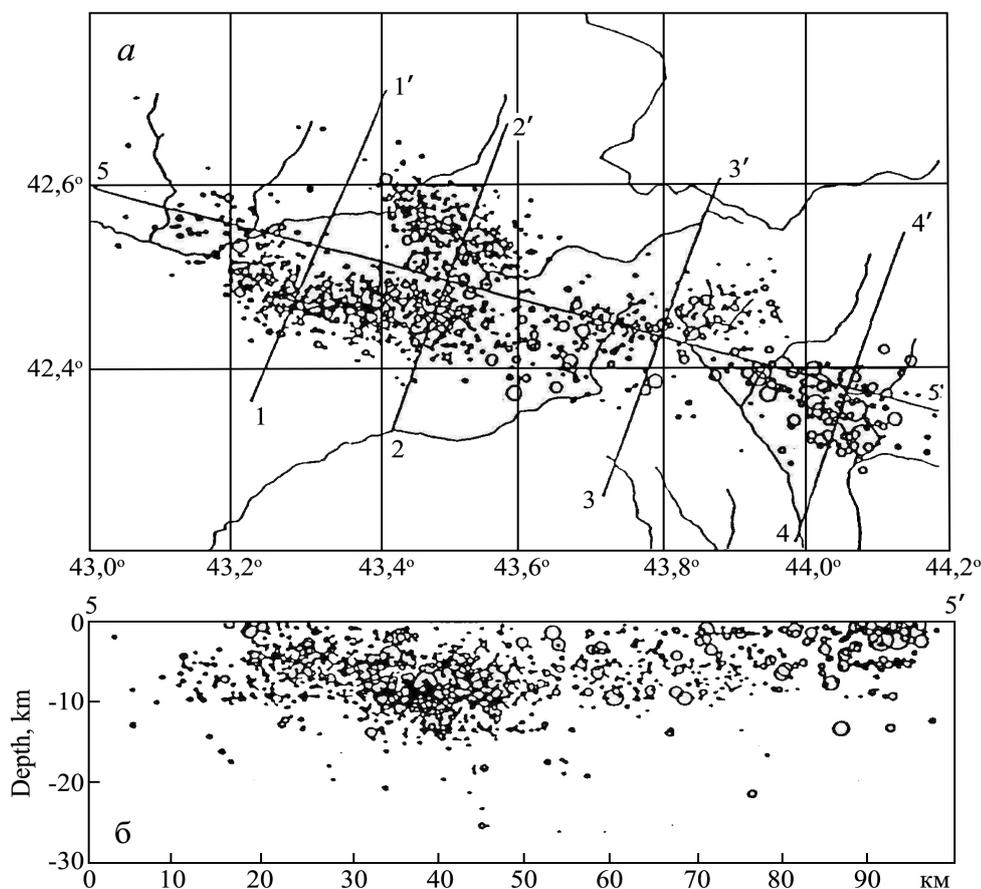


Fig. 6. Map of the epicenters of the Racha earthquake (a) and a vertical section along the 5-5' line (b), according to [Arefiev et al., 1993].

All seismic events for the aftershock period are projected onto the cutting plane. The depth of the main shock is 10 km, the source is about 100 km long, and the magnitude is 7.3

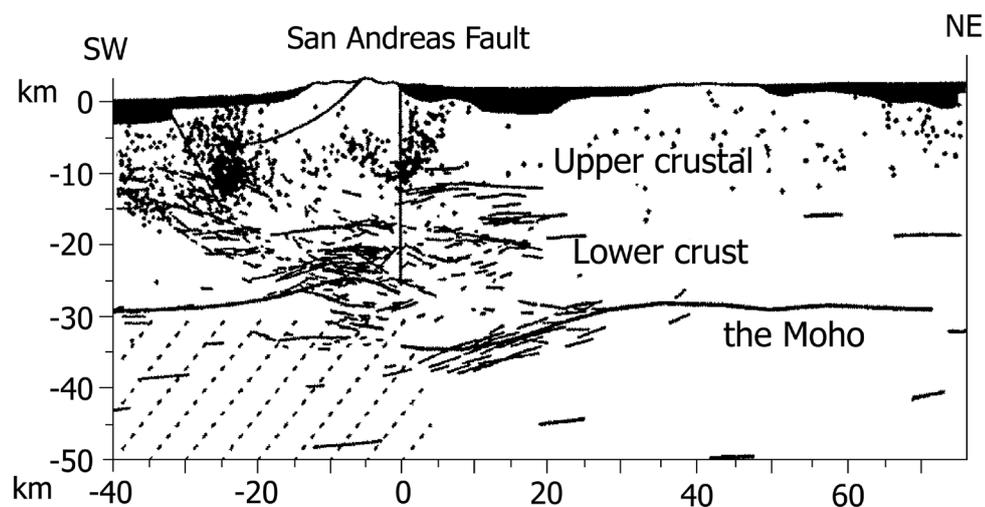


Fig. 7. Seismic profile in the Los Angeles area, according to [Koronovskiy et al., 2001].

Thick lines are the Moho and other interfaces, thin lines are reflectors. Diagonal shading denotes abnormally high-velocity upper mantle according to seismic tomography. Points are hypocenters of earthquakes for the period from 1981 to 1998

and determine with high accuracy the depths of the hypocenters of all local earthquakes. Field seismological observations in the San Andreas Fault confirm the above concepts about the thickness of the seismogenic layer of the Earth's crust. Figure 7 illustrates some of such observations results.

Based on the data of Figure 7 it can be reliably indicated that the seismicity of the San Andreas Fault is presented only to the depth of 15 km.

The fact that the thickness of the seismogenic layer of the Earth's crust is indeed 10-25 km is confirmed both by theoretical considerations, and experimental laboratory studies, and field seismological observations. It is also defined that seismogenic, elastic stresses accumulate in the entire thickness of the mentioned layer. And the main conclusion is that **the crustal earthquakes sources originate, mature and are realized** exactly in the seismogenic layer.

Apparently, the wrong ideas about the seismicity of the entire layer of the Earth's crust were formed because of the significant errors (up to tens of kilometers) in determining the depth of earthquake hypocenters. A rare seismic grid was the cause of these errors. One have to take into account the fact that the larger the distance of the seismic stations from the earthquake epicenter, the greater the error in the depth of the hypocenter determining.

Conclusions

The issues of geodesy possibilities for the crustal earthquake forecast

Taking the above-mentioned concepts and analysis as well as the information about the recurrence geodetic measurements in the epicentral zones of strong earthquakes into account we can draw the following important conclusions for the considered problem.

1. Crustal seismicity is caused by the delay of tectonic displacements in certain areas of seismogenic faults.

2. A deformation sign of the preparation of an earthquake source is the accumulated elastic bending in the rocks of this source.

3. The specified elastic bending is satisfactorily described by the curves $d = Ae^{ax}$; where d is the value of the elastic displacement of the considered point on the Earth's surface; x is the removal of this point from the fault; A is the value of the maximum displacement of the sides of the fault during an earthquake, a is an integral characteristic of the elastic properties of rocks in the earthquake source.

4. Being the upper boundary of the seismogenic layer the Earth's surface above the source of the impending earthquake take part in this source preparation.

5. The fact that elastic deformations penetrate into the bodies of blocks contacting along the fault at a distance of 20-30 km in the course of an earthquake preparation, allows evaluating the total width of a strong earthquake source equal to 40-60 km.

6. It is possible to determine reliably the shape of the elastic curve on such bases (tens of kilometers) i. e. to track the preparation process of the earthquake source, only with the help of the geodetic method: using geodetic forecast profiles – geodetic straight-line constructions orthogonal to the seismogenic fault (Fig. 8). This is the way to predict the location of the maturing earthquake source.

7. Since the intensity of a future earthquake is determined by the size of its source [see tab. 1], then to predict this intensity, it is sufficient to use one or another number of predicted profiles, sufficient to determine the length of the elastically deformable section of the Earth's surface (L , Fig. 9).

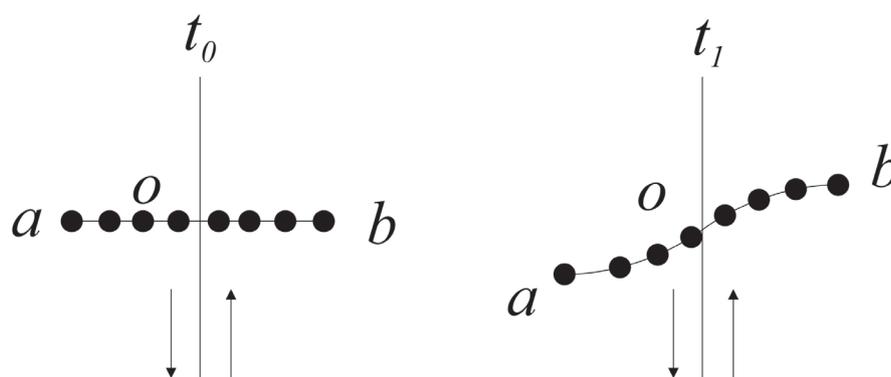


Fig. 8. Geodetic profile for the implementation of the forecast of the source of the impending earthquake

In this figure vertical lines denote seismicogenic fault, displacements along which are shown by arrows; t_0 is the moment of creating a straight-line geodetic forecast profile aob , black dots on the profile are geodetic points. t_1 is the moment of repeated measurements on the profile. If a rectilinear profile was created over an already preparing source of an earthquake, or the preparation of the source began in the interval between t_0 and t_1 , then the points of the geodetic profile at time t_1 will be located on the exponential curve aob . This curve is the only reliable sign that indicates the accumulation of elastic seismicogenic deformations, take place in the studied segment of a seismicogenic fault.

Exactly such use of the geodetic method will encourage the prediction of the impending earthquake source.

Yu. V. Riznichenko [Riznichenko, 1985] has determined the functional relationships between the earthquake intensity (magnitude M), the length of the source (L) and the maximum accumulated elastic deformation in the source (D) (see table. 1).

Table 1

Dependence of the earthquake intensity (M) on the source length (L) and displacement in the source (D) according to Yu. V. Riznichenko

M	L , km	D , sm
3	1.1	0.11
4	3.0	0.62
5	8.3	3.5
6	23	20
7	62	120
8	170	660
9	470	3800

So, if we know the length L of the impending earthquake source, it is possible to forecast the maximum intensity (M), which can be generated by the impending earthquake source. It is quite obvious that this can be realized with the help of the geodesic method.

So, the research results made it possible to construct a model of elastic deformation of the Earth's surface above the source of an impending earthquake at time t_1 and a

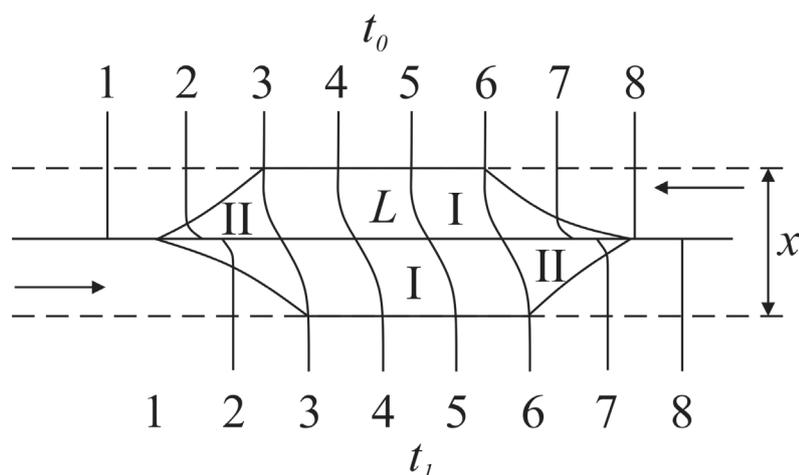


Fig. 9. Model of elastic deformation of the Earth's surface above the source of the impending earthquake (at time t_1) and a scheme of the geodetic forecasting system designed to predict its intensity

scheme for implementing forecasts of the location and intensity of an impending earthquake (Fig. 8)

Lines (1–1, ... 8–8) are geodetic forecast profiles, which were solid straight lines at the moment of origin of the source (t_0). In the process of the source preparation they were broken and displaced along the fault (1–1 and 8–8), deformed and displaced (2–2 and 7–7) and elastically deformed over the source (3–3, ... 6–6). I – compression zone; II – stretch zone; L – line of termination of displacements along the fault (length of the “seam”); x is the width of the earthquake source; arrows denote directions of compressive fields of local stresses generated by the seam.

References

1. Arefiev S. S., Pletnev K. G., Tatevosyan R. E. et al. Racha earthquake of 1991: the results of field seismological observations. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Physics of the Earth*. 1993. No. 3. pp. 12-23. (in Russ.)
2. Bezukhov N. I., Luzhin O. V. Application of methods of the theory of elasticity and plasticity to the solution of engineering problems. Moscow. Vysshaya shkola, 1974. 200 p. (in Russ.)
3. Bolt B. A. Earthquakes. Moscow. Mir, 1981. 264 p. (in Russ.)
4. Bott M. The internal structure of the Earth. Moscow. Mir, 1974. 375 p. (in Russ.)
5. Bulut F., Aktug B., Yaltirak C., Dogru A., & Ozener H. Magnitudes of future large earthquakes near Istanbul quantified from 1500 years of historical earthquakes, present-day microseismicity and GPS slip rates [Article]. *Tectonophysics*. 2019. 764, 77-87. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2019.05.005>
6. Gamburtsev G. A. State and prospects of work in the field of earthquake forecast. Selected Works. Moscow. Publishing house of the Academy of Sciences of the USSR, 1960. pp. 427-435. (in Russ.)
7. Zharkov V. N. The internal structure of the Earth and planets. Moscow. Nauka, 1983. 415 p. (in Russ.)
8. Kanamori H., Miyazawa M., & Mori J. Investigation of the earthquake sequence off Miyagi prefecture with historical seismograms [Article]. *Earth Planets and Space*. 2006. 58 (12), 1533-1541. <https://doi.org/10.1186/bf03352657>
9. Kasahara K. Mechanics of earthquakes. Moscow. Mir, 1985. 264 p. (in Russ.)
10. Kazimova S. E., Kazimov I. E. Geodynamics of the Talish region according to earthquake source mechanisms and GPS-stations. *Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (3): 40-56. DOI: 10.46698/VNC.2020.35.39.003.

11. Koronovskiy N.V., Lomize M.G. The concept of deep faults in plate tectonics. *Fundamental problems of general tectonics*. Edited by Yu. M. Pushcharovsky. Moscow. Nauchnyi mir, 2001. pp. 344-373. (in Russ.)
12. Li N., Kong X.Z., & Lin L. Anomalies in continuous GPS data as precursors of 15 large earthquakes in Western North America during 2007-2016 [Article]. *Earth Science Informatics*. 2020. 13 (1), 163-174. <https://doi.org/10.1007/s12145-019-00409-9>
13. Liu J., & Rogozhin E.A. (2018). Coseismic Deformation of the Earth's Surface in the Area of the Catastrophic 2008 Wenchuan Earthquake According to GPS Measurements [Article]. *Izvestiya Atmospheric and Oceanic Physics*, 54 (10), 1470-1476. <https://doi.org/10.1134/s0001433818100080>
14. New catalog of strong earthquakes in the USSR. Moscow. Nauka, 1977. 535 p. (in Russ.)
15. Ohta Y., Kobayashi T., Tsushima H., Miura S., Hino R., Takasu T., Fujimoto H., Iinuma T., Tachibana K., Demachi T., Sato T., Ohzono M., & Umino N. Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (M-w 9.0) [Article]. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*. 2012. 117, 16, Article B02311. <https://doi.org/10.1029/2011jb008750>
16. Pavlenkova N.I. Seismic models of the earth's crust and upper mantle and their geological interpretation. *Tectonics and Geodynamics: General and Regional Aspects*. T. II. Moscow. GEOS, 1988. pp. 72-75. (in Russ.)
17. Pevnev A.K. Earthquake forecast – geodetic aspects of the problem. *Izv. Academy of Sciences of the USSR. Physics of the Earth*. 1988. No. 12. pp. 88-98. (in Russ.)
18. Pevnev A.K., Zaalishvili V.B., Melkov D.A. On the geodetic studies modernization on the Vladikavkaz geodynamic forecast polygon *Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2014. 4 (4): 84-90. (in Russ.)
19. Pevnev A.K. Through difficulties to the earthquake prediction. *Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2020. 10 (2): 82-94. DOI: 10.46698/VNC.2020.25.51.006
20. Riznichenko Yu.V. *Problems of seismology*. Moscow. Nauka, 1985. 408 p. (in Russ.)
21. Rogozhin E.A. The ideas of academician G.A. Gamburtsev in the field of identifying seismically active regions. The relevance of G.A. Gamburtsev in geophysics of the XXI century. Moscow. Yanus-K, 2013. pp. 263-292. (in Russ.)
22. Sherman S.I. *Physical laws of the development of faults in the earth's crust*. Novosibirsk. Nauka, 1977. 102 p. (in Russ.)
23. Tong X., Sandwell D.T., & Smith-Konter B. High-resolution interseismic velocity data along the San Andreas Fault from GPS and InSAR [Article]. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth*. 2013. Vol. 118 (1). pp. 369-389. <https://doi.org/10.1029/2012jb009442>
24. Toulkeridis T., Porras L., Tierra A., Toulkeridis-Estrella K., Cisneros D., Luna M., Carrion J.L., Herrera M., Murillo A., Salinas J.C. P., Tapia S., Fuertes W., Salazar R. Two independent real-time precursors of the 7.8 Mw earthquake in Ecuador based on radioactive and geodetic processes-Powerful tools for an early warning system [Article]. *Journal of Geodynamics*. 2019. Vol. 126. pp. 12-22. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2019.03.003>
25. Wang Q.X., Xu X.W., Jiang Z.S., Suppe J. A possible precursor prior to the Lushan earthquake from GPS observations in the southern Longmenshan [Article]. *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10 (1). 8, Article 20833. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-77634-6>
26. Wang T., Zhuang J.C., Kato T., Bebbington M. Assessing the potential improvement in short-term earthquake forecasts from incorporation of GPS data [Article]. *Geophysical Research Letters*. 2013. Vol. 40 (11). pp. 2631-2635. <https://doi.org/10.1002/grl.50554>
27. Zeng Y.H., Petersen M.D., Shen Z.K. Earthquake Potential in California-Nevada Implied by Correlation of Strain Rate and Seismicity [Article]. *Geophysical Research Letters*. 2018. Vol. 45 (4). pp. 1778-1785. <https://doi.org/10.1002/2017gl075967>
28. Zeng Y.H., Shen Z.K. A Fault-Based Model for Crustal Deformation in the Western United States Based on a Combined Inversion of GPS and Geologic Inputs [Article]. *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2017. Vol. 107 (6). pp. 2597-2612. <https://doi.org/10.1785/0120150362>

УДК 550.348.338.483:330.131.7 (470.621)

DOI: [10.46698/VNC.2021.40.95.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.40.95.010)

Оригинальная статья

Геоэкологические риски территории Краснодарского края: проблема интегральной оценки степени геологических опасностей

В. В. Стогний , Г. А. Стогний , Т. В. Любимова 

Кубанский государственный университет, Россия, 350040, г. Краснодар, ул. Ставропольская, 149, e-mail: stogny_vv@mail.ru, TV-Luy@yandex.ru

Статья поступила: 04.02.2021, после рецензирования: 22.02.2021, принята к публикации: 04.03.2021

Резюме: Актуальность работы. Краснодарский край – один из основных центров рекреации и туризма в России, а Черноморское побережье является главной курортной зоной. Южная часть Краснодарского края в полосе шириной до 200 км относится к Крымско-Кавказскому сейсмическому поясу и является сейсмоопасной территорией, здесь с различной степенью вероятности возможны сейсмические сотрясения интенсивностью 8-9 баллов. Угрозу для безопасности региона представляют эндогенные геологические процессы, прежде всего связанные с сейсмичностью региона, и экзогенные природные геологические процессы. В связи с этим остро стоит проблема оценки интегральных геоэкологических рисков в зонах расположения курортов и рекреационной деятельности. Одним из путей управления геоэкологическими рисками является комплексный анализ причин и факторов их возникновения как основы разработки природоохранных мероприятий. К первоочередным вопросам данной проблемы для территории Краснодарского края следует отнести оценку факторов опасности интегрального сейсмического риска и экзогенных природных процессов на региональном и локальном уровнях. **Цель работы** – интегральная оценка на региональном уровне степени эндогенных и экзогенных геологических опасностей Краснодарского края. **Методы исследования.** Методы исследования включали анализ и синтез геолого-геофизических материалов и инженерно-геологических данных с выделением наиболее значимых факторов геоэкологического риска Краснодарского края. Методика оценки степени опасности интегрального геоэкологического риска должна учитывать факторы, обусловленные как непосредственно сейсмическими воздействиями, так и вызванными ими последующими угрозами экзогенных геологических процессов. В связи с этим рассматриваются вопросы картирования отдельных факторов и интегральной оценки потенциальных геоэкологических рисков. **Результаты работы.** В работе приведены разработанные карта оценки интегрального риска проявления опасных экзогенных геологических процессов и карта интегральной оценки потенциального риска эндогенных и экзогенных процессов территории Краснодарского края. Приведена таблица критериев для балльной оценки геоэкологических эндогенных и экзогенных рисков. Наименьшим потенциальным риском природных опасностей характеризуются северные районы. Зоны высокого и очень высокого потенциального риска локализованы в пределах Северо-Западного Кавказа и Черноморского побережья Краснодарского края. Для этих территорий требуется первоочередная разработка мероприятий по управлению рисками.

Ключевые слова: геоэкология, эндогенные и экзогенные геологические процессы, сейсмогенный риск, Краснодарский край.

Для цитирования: Стогний В.В., Стогний Г.А., Любимова Т.В. Геоэкологические риски территории Краснодарского края: проблема интегральной оценки степени геологических опасностей. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11 (1): 121 – 133. DOI: 10.46698/VNC.2021.40.95.010.

DOI: [10.46698/VNC.2021.40.95.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.40.95.010)

Original paper

Geoecological risks of the Krasnodar region: the problem of integrated assessment of the geological hazards degree

V. V. Stogny , G. A. Stogny , T. V. Lyubimova 

Kuban State University, 149 Stavropolskaya Str., Krasnodar 350040, Russian Federation,
e-mail: stogny_vv@mail.ru; TV-Luy@yandex.ru

Received: 04.02.2021, revised: 22.02.2021, accepted: 04.03.2021

Abstract: Relevance. Krasnodar Region is one of the main centers of recreation and tourism in Russia, and the Black Sea coast is the main resort area. The southern part of the Krasnodar Region, in a strip up to 200 km wide, belongs to the Crimean-Caucasian seismic belt and is an earthquake-prone area, here seismic shocks with an intensity of 8-9 are possible with varying degrees of probability. Endogenous geological processes, primarily associated with the seismicity of the region, and exogenous natural geological processes pose a threat to the security of the region. In this regard, there is an acute problem of assessing the integral geoecological risks in the zones of the resorts location and recreational activities. One of the ways to manage geoecological risks is a comprehensive analysis of the causes and factors of their occurrence as the basis for the development of environmental protection measures. The priority issues of this problem for the territory of Krasnodar Region include the assessment of the hazard factors of integral seismic risk and exogenous natural processes at the regional and local levels. **The aim of the work** is an integral assessment at the regional level of the endogenous degree and exogenous geological hazards in the Krasnodar Region. **Methods.** The research methods included the analysis and synthesis of geological and geophysical materials and geology-engineering data with the identification of the most significant factors of the Krasnodar Region geoecological risk. The methodology for assessing the degree of the integral geoecological risk danger should take into account the factors caused both directly by seismic influences and the subsequent threats of exogenous geological processes caused by them. In this regard, the issues of mapping individual factors and an integral assessment of potential geoecological risks are considered. **Results.** The paper presents the developed map for assessing the integral risk of manifestation of hazardous exogenous geological processes and the map for the integrated assessment of the potential risk of endogenous and exogenous processes in the territory of Krasnodar Region. A table of criteria for the scoring of geoecological endogenous and exogenous risks is presented. The northern regions are characterized by the lowest potential risk of natural hazards. Areas of high and very high potential risk are localized within the Northwestern Caucasus and the Black Sea coast of the Krasnodar Region. For these territories, priority development of risk management measures is required.

Keywords: geoecology, endogenous and exogenous geological processes, seismogenic risk, Krasnodar Region.

For citation: Stogny V. V., Stogny G. A., Lyubimova T. V. Geoecological risks of the Krasnodar region: the problem of integrated assessment of the geological hazards degree. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11 (1): 121 – 133. DOI: 10.46698/VNC.2021.40.95.010.

Введение

Систематические исследования по анализу риска, направленные на оценку опасности природных явлений и процессов начались в конце 1960-х годов. Обзор современных взглядов на проблему оценки экологических рисков, как в зарубеж-

ной, так и отечественной литературе [Косинова, Кустова, 2008; Осипов и др., 2017] показывает, что до настоящего времени отсутствует единая методология оценки риска геоэкологических процессов, а из-за сложного и многоаспектного понятия, определение «риска» всё ещё остается неоднозначным. Отечественный опыт оценки сейсмического риска и экзогенных опасностей на урбанизированных территориях представлен в работах [Бурова, 2019; Заиканов и др., 2019; Ларионов и др., 2017; Осипов и др., 2015]. Предложены различные подходы и методики оценки суммарного действия природных и техногенных факторов.

Краснодарский край – один из основных центров рекреации и туризма в России. Рекреационный комплекс играет в регионе огромную роль. Черноморское побережье Краснодарского края является главной курортной зоной России. В связи с этим решение вопросов геоэкологической безопасности в зонах расположения курортов, оценка влияния природных процессов на состояние зданий и сооружений выходят на первое место, наряду с решением вопросов реализации рекреационной деятельности.

Геоэкологические условия Краснодарского края на региональном уровне связаны с его тектоническим положением в пределах мегаантиклинория Большого Кавказа и Скифской плиты, которые определили характер проявления эндогенных и экзогенных опасных природных процессов. Эндогенные геоэкологические процессы, вызванные высокой сейсмичностью, активными тектоническими нарушениями, неотектоническими деформациями складчатых структур и движением блоков верхней части земной коры в условиях напряженного состояния земной коры характерны для Северо-Западного Кавказа. Большую угрозу для безопасности региона представляют экзогенные природные геологические процессы (оползни, боковая и донная эрозия, абразия и др.). Наиболее значимыми из них по распространённости и негативному влиянию на природную среду являются оползневые процессы, широко распространённые во многих регионах мира, в том числе в пределах Большого Кавказа [Свалова и др., 2019]. На отдельных участках Черноморского побережья поражённость оползневыми процессами составляет 10-20%, а при техногенном воздействии может возрастать до 50%. Антропогенное воздействие на геологическую среду привело к массовому развитию оползневых процессов. Наибольшее число таких проявлений наблюдается вдоль горных дорог. Для степных сельскохозяйственных районов Краснодарского края актуальны вопросы подтопления.

Одним из путей управления геоэкологическими рисками является комплексный анализ причин и факторов их возникновения как основы разработки природоохранных мероприятий. К наиболее важным вопросам данной проблемы для территории Краснодарского края следует отнести оценку факторов опасности интегрального сейсмического риска и экзогенных природных процессов на региональном и локальном уровнях.

Оценка интегрального сейсмогенного риска

Южная часть (Северо-Западный Кавказ и Черноморское побережье) Краснодарского края в полосе шириной до 200 км относится к Крымско-Кавказскому сейсмическому поясу и является сейсмоопасной территорией, здесь с различной степенью вероятности возможны сейсмические сотрясения интенсивностью 8-9 баллов [Уломов и др., 2007]. Общий характер сейсмичности территории Краснодарского края в историческом аспекте охарактеризован в [Стогний, 2020].

Для данной территории имеются карты эпицентров землетрясений с $M > 4,5$, нормативные карты общего сейсмического районирования ОСР-97 и ОСР-2015, схемы потенциальных сейсмических очагов с оценкой максимально возможной магнитуды землетрясений. При оценке сейсмической опасности территории Краснодарского края реализованы различные подходы и методики: на основе разработки сейсмо-тектонической схемы; по историческим и археосейсмическим материалам; по реконструкции макросейсмических полей землетрясений; морфоструктурного районирования и моделирования динамики блоковой структуры и сейсмичности; метод сейсмической энтропии; подход на основе интеллектуальной системы кластеризации; на основе сейсмогеодинамической модели, учитывающей зависимость предельной магнитуды возможных землетрясений от площади сейсмогенерирующего блока земной коры.

Оценку сейсмического риска определяют факторы потенциальной опасности и факторы возможного ущерба (экономический, уязвимость строений и социальный). К практически не разработанному направлению для территории Краснодарского края следует отнести оценку интегрального сейсмогенного риска, включающего факторы опасности, обусловленные как непосредственно сейсмическими воздействиями, так и вызванными последующими угрозами экзогенных геологических процессов эпицентральной области землетрясения. К угрозам этого плана следует отнести сформировавшиеся активные разломы, обвалы, провалы земной поверхности, изменение русел водотоков. Для сейсмически активных регионов наиболее актуальна проблема оценки сейсмогенных оползневых и склоновых процессов [Кропоткин, 2020; Чернов, 2019; Sharma, 2006; Vranken et al., 2015]. В работе [Минаев, Фадеев, 2009] такие явления и процессы туристско-рекреационных территорий названы «медленной» катастрофой.

Глобальный уровень формирования сейсмогенерирующих напряжений южной части Краснодарского края определяется его положением в пределах Средиземноморского подвижного пояса. Региональный уровень характеризуют процессы возникновения очагов землетрясений в пределах геоблоков земной коры, а локальный уровень определяют блоки I и II порядка, которые во многом создают как условия накопления энергии очага, так и ее рассеивания [Стогний, Стогний, 2017]. Геодинамические условия формирования сейсмичности соответствуют в большей степени обстановке коллизии, что подчеркивает характер ориентировки осей максимального сжатия тектонических полей напряжений регионального ранга, приведенных в работе [Расцветаев и др., 2010] для Западного Кавказа (рис. 1).

На локальном уровне современную сейсмичность Черноморского побережья Краснодарского края формируют главным образом реверсные движения, создаваемые сейсмогенерирующими Анапским и Сочинским блоками консолидированной коры (рис. 1). Анализ результатов оценки скорости движения положения спутниковых геодинамических пунктов (СГП) [Бабешко и др., 2016; Величко и др., 2016; Глазырин и др., 2017] и элементов блокового строения земной коры Черноморского побережья позволяет отметить, что пункты с наибольшими скоростями движения соответствуют Анапскому ($5,15 \pm 0,3$ мм/год) и Сочинскому ($3,73 \pm 0,1$ мм/год) – наиболее жёстким и высокоплотным сейсмогенным блокам консолидированной коры, контролирующим соответственно Анапский и Сочинский сейсмические районы [Стогний, Стогний, 2019]. При этом, вектор скорости Анапского СГП примерно ортогонален Западнокавказскому межплитному разлому, подчиняясь тенденции

«вдавливания» Анапского блока в фундамент Скифской плиты, а вектор скорости Сочинского СГП субпараллелен Западнокавказскому межплитному разлому, отражая, по-видимому, влияние деформационных волн Рачинских землетрясений 1991 г. Площадь Анапского и Сочинского сейсмогенерирующих блоков не превышает 4 тыс. кв. км, что ограничивает предельные размеры очага и максимальную (6,0) магнитуду землетрясений. Важным фактором контроля распределения очагов землетрясений и их магнитуды является реологический. Так, большинство очагов землетрясений с $M > 5$ локализованы в интервале глубин верхнего слоя земной коры (5÷15 км) наибольшей обобщённой прочности хрупкого разрушения.

Основные задачи оценки интегрального сейсмогенного риска Краснодарского края сводятся к следующим:

1. Разработка методики оценки факторов опасности интегрального сейсмогенного риска, обусловленных как непосредственно сейсмическими воздействиями, так и вызванными ими «медленными» угрозами экзогенных геологических процес-

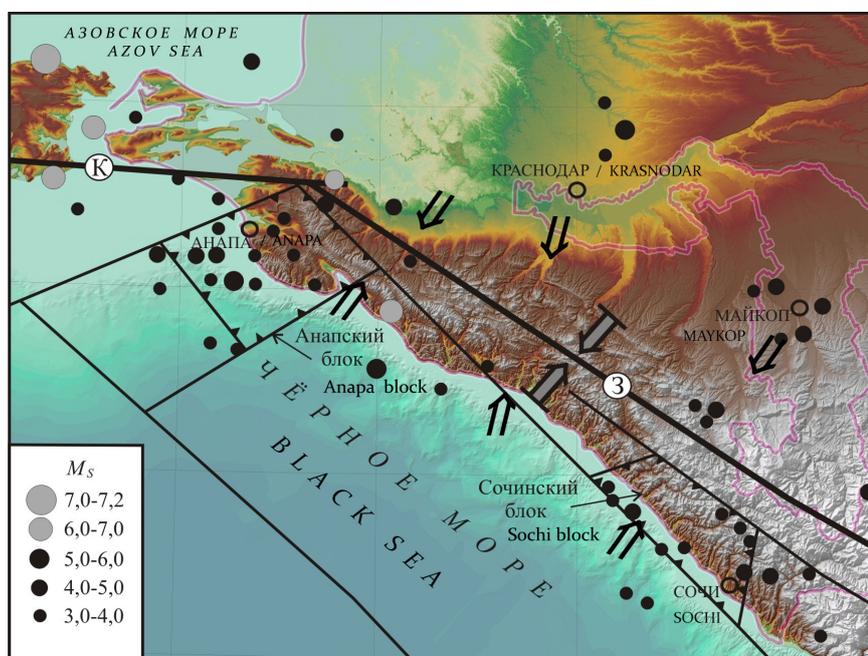


Рис. 1. Сейсмотектоническая схема Черноморского побережья Краснодарского края по результатам анализа и синтеза геолого-геофизических материалов.

1 – межплитные разломы, разграничивающие Восточно-Черноморскую и Скифскую плиты (К – Крымский, З – Западнокавказский); 2 – тектонические нарушения; 3 – сейсмогенерирующие блоки; 4 – региональные тектонические напряжения по [Расцветаев и др., 2010]; 5 – основной тренд тектонических напряжений, создаваемый процессом взаимодействия Восточно-Черноморской и Скифской плит. Эпицентры землетрясений: доинструментальных – серый цвет, инструментальных – чёрный цвет /

Fig. 1. Seismotectonic scheme of the Krasnodar Region Black Sea coast based on the results of analysis and synthesis of geological and geophysical materials.

1 – interplate faults delimiting the East Black Sea and Scythian plates (K – Crimean, W – West Caucasian); 2 – tectonic disturbances; 3 – seismic generating blocks; 4 – regional tectonic stresses after [Rastsvetaev et al., 2010]; 5 – the main trend of tectonic stresses created by the interaction of the East Black Sea and Scythian plates. Epicenters of earthquakes: pre-instrumental – gray, instrumental – black

сов (учёт особенностей строения верхней части разрезов земной коры, геоморфологических и инженерно-геологических условий, а также тиксотропии).

2. Составление и обоснование карты факторов опасности интегрального сейсмогенного риска Черноморского побережья Краснодарского края на региональном и детальном уровнях с учётом конкретных физико-геологических условий региона исследований и адаптации разрабатываемых моделей к этим условиям.

3. Выбор модельных законов, а также методов корреляционной связи частоты проявления землетрясений различной магнитуды и интенсивности сотрясений с частотой проявления сейсмогенных рисков различной природы, в зависимости от геологического и тектонического строения эпицентральной области.

4. Оценка сейсмогенного риска и моделирование безопасности туристско-рекреационных территорий Черноморского побережья и Северо-Западного Кавказа с высоким уровнем развития рекреационной сферы.

Для оценки факторов потенциального сейсмического риска туристско-рекреационной территории, с учетом карт детального сейсмического районирования и факторов возможного ущерба, необходимо построение вероятностных математических моделей их реализации. Полная вероятность $P(B_i)$ опасного природного или природно-техногенного процесса с i -ым исходом на рассматриваемой на региональном и локальном уровнях может вычисляться по формуле (1) полной вероятности [Минаев, Фадеев, 2009, с. 245]:

$$P(B_i) = \sum_{j=1}^m P(A_j)P(B_i / A_j), \quad (1)$$

где $(j = 1, \dots, m)$ – возможные опасные природные и природно-техногенные процессы на рассматриваемой ТРТ; $P(A_j/B_i)$ – условные вероятности наступления стихийного бедствия при условии реализации j -го опасного природного (или природно-техногенного) процесса.

Оценка интегрального риска проявления экзогенных геологических процессов

Анализ комплекса факторов, влияющих на развитие экзогенных процессов, позволяет выделить наиболее значимые [Любимова и др., 2017]:

- интенсивность неотектонических движений;
- степень расчленённости рельефа (земной поверхности);
- распространённость и интенсивность оползневых процессов;
- распространённость специфических грунтов (набухающих и просадочных);
- характер и интенсивность развития на территории просадочных форм рельефа, обвально-осыпных процессов и овражно-балочной эрозии.

В данной работе использован метод оценки отдельных факторов по баллам в зависимости от их важности. Метод балльной (или ранговой) оценки позволяет в значительной степени преодолеть сложность оценивания, вызванную неоднородностью сравниваемых показателей.

Коэффициенты (К) для отражения характера и интенсивности проявления на территории Краснодарского края того или иного процесса рассчитывались исходя из веса критерия в баллах и суммарной площади территорий, где этот процесс проявлен, выраженной в процентах. В таблице 1 приведены количественные характеристики рассматриваемых показателей.

Таблица 1 / Table 1

**Таблица критериев для балльной оценки геоэкологических условий
Краснодарского края / Criteria table for point rating of the geoeological
conditions of the Krasnodar Territory**

Критерий оценки / Evaluation criterion	Характеристика / Characteristic	Вес критерия, в баллах / Criterion weight, in points
1	2	3
Интенсивность геотектонических движений / Intensity of geotectonic movements	Слабые / Weak	0
	Умеренные / Moderate	1
	Интенсивные / Intensive	2
	Инверсия направления движения / Inversion of movement direction	2
Сейсмичность по карте ОСР-2016А*, балл / Seismicity according to the map of GSZ-2016А*, point	6	0
	7	1
	8 и более / 8 and more	2
Распространение просадочных грунтов / Spreading of the subsiding soils	Не распространены / Not spreaded	0
	I тип просадочности / I type of subsidence	1
	II тип просадочности / II type of subsidence	2
Распространение набухающих грунтов / Spreading of the swelling soils	Не распространены / Not spreaded	0
	Распространены / Spreaded	1
Расчлененность земной поверхности, км/км ² / Roughness of the ground surface, km/km ²	0,0-0,10	1
	0,10-0,50	2
	0,50-1,00	3
	Свыше 1,00 / Over 1,00	
Пораженность просадочными формами рельефа / Incidence by subsidental landforms	0<K<10	1
	10<K<25	2
	25<K<35	3
Пораженность водно-эрозионными процессами, % / Incidence by water-erosion processes, %	Менее 3% / Less than 3%	0
	3-25%	1
	Более 25% / Over 25%	2
Пораженность обвально-осыпными (гравитационными) процессами, % / Incidence by avalanche-talus (gravitational) processes, %	Менее 3% / Less than 3%	0
	3-25%	1
	Более 25% / Over 25%	2
Пораженность оползневыми процессами / Incidence by landslide processes	Менее 3% / Less than 3%	0
	3-25%	1
	Более 25% / Over 25%	2

Сложение рисков каждого из рассмотренных параметров путем суммирования карт интенсивности проявления пораженности того или иного процесса позволило провести ранжирование территории Краснодарского края по степени интегрального риска проявления экзогенных процессов (рис. 2).

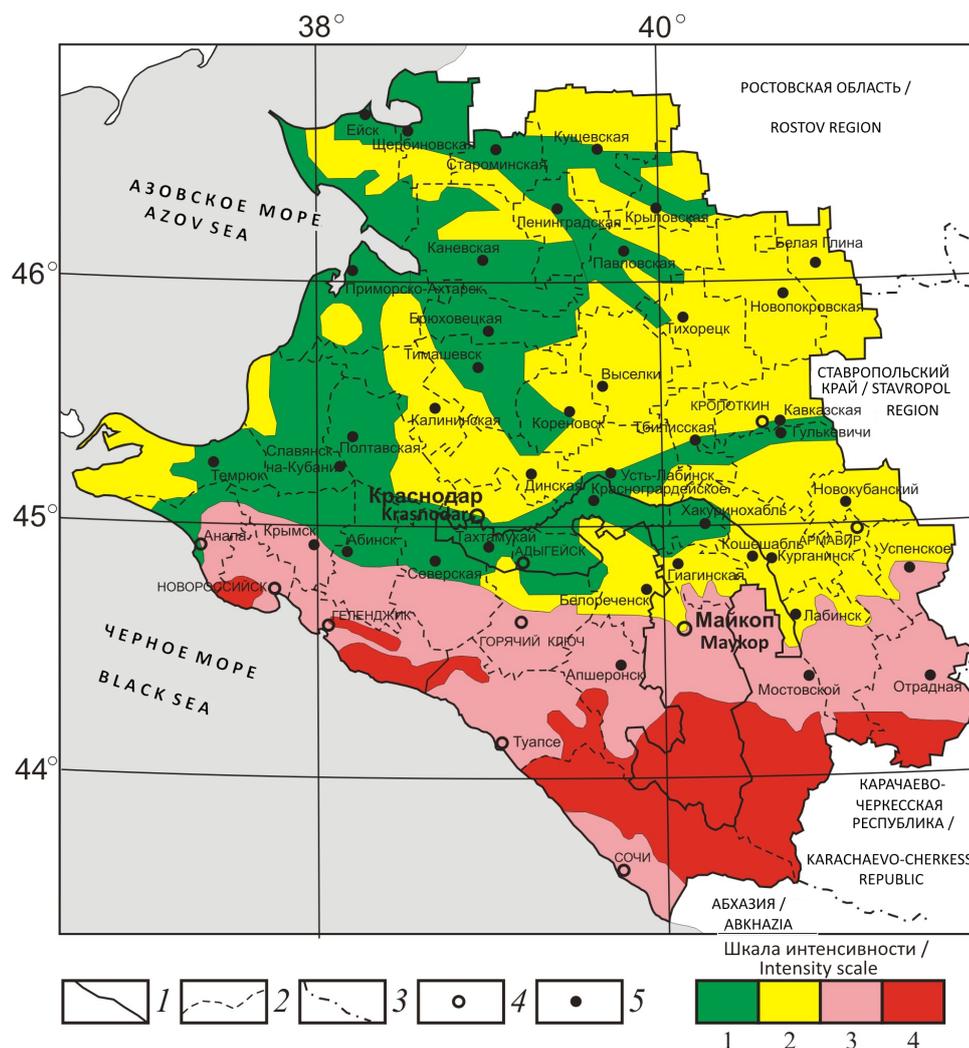


Рис. 2. Карта оценки интегрального риска проявления экзогенных геологических процессов Краснодарского края и Республики Адыгея.

1-3 – границы: 1 – Краснодарского края, 2 – районов и территорий Краснодарского края, 3 – областей и республик Российской Федерации; 4 – города краевого и республиканского подчинения; 5 – районные центры. Шкала интенсивности уровней риска опасных экзогенных геологических процессов: 1 – низкий, 2 – средний, 3 – высокий, 4 – очень высокий /

Fig. 2. Map for assessing the integral risk of exogenous geological processes manifestation in the Krasnodar Region and the Republic of Adygea.

1-3 – borders: 1 – Krasnodar Region, 2 – districts and territories of Krasnodar Region, 3 – regions and republics of the Russian Federation; 4 – cities of regional and republican subordination; 5 – regional centers. The scale of the intensity of the risk levels of hazardous exogenous geological processes: 1 – low, 2 – medium, 3 – high, 4 – very high

Оценка интегрального риска проявления опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов

Районирование природных факторов на относительно однородные части с использованием интегральных оценок потенциальных рисков опасных геологических процессов было выполнено с разбиением критериев на классы. Участки со схожим характером геоэкологических условий были объединены в четыре района (зоны) по уровню потенциального риска опасных эндогенных и экзогенных процессов: низкий, средний, высокий, очень высокий (рис. 3).

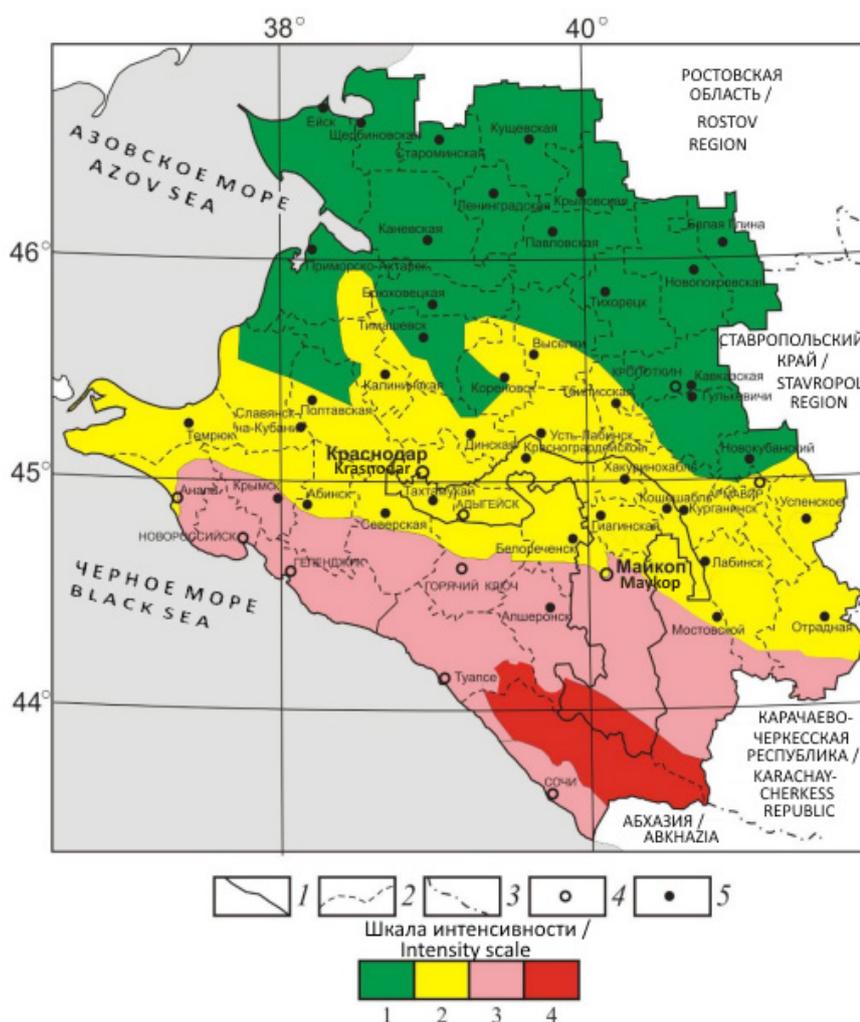


Рис. 3. Карта интегральной оценки потенциального риска эндогенных и экзогенных процессов Краснодарского края и Республики Адыгея.

1-3 – границы: 1 – Краснодарского края и Республики Адыгея, 2 – районов и территорий Краснодарского края, 3 – областей и республик Российской Федерации; 4 – города краевого и республиканского подчинения; 5 – районные центры. Шкала интенсивности уровней потенциального риска опасных геоэкологических процессов: 1 – низкий, 2 – средний, 3 – высокий, 4 – очень высокий /

Fig. 3. Map of the integrated assessment of the potential risk of endogenous and exogenous processes in the Krasnodar Region and the Republic of Adygea.

1-3 – borders: 1 – Krasnodar Region and the Republic of Adygea, 2 – districts and territories of Krasnodar Region, 3 – regions and republics of the Russian Federation; 4 – cities of regional and republican subordination; 5 – regional centers. The scale of the intensity of the levels of potential risk of hazardous geoecological processes: 1 – low, 2 – medium, 3 – high, 4 – very high

Проведенные исследования по разработке и опробованию методики интегральной оценки опасных эндогенных и экзогенных геологических процессов дают возможность охарактеризовать геоэкологическое состояние природной среды Краснодарского края на региональном уровне. Наименьшим потенциальным риском природных опасностей характеризуются северные районы, для которых характерна низкая вероятность возникновения опасного события. Для территорий среднего риска, нашедших отражение на карте интегральной оценки потенциального риска опасных эндогенных и экзогенных процессов, учёт возможных

потенциальных рисков и мероприятий по их минимизации должен проводиться на более высоком уровне. Зоны высокого и очень высокого потенциального риска локализованы в пределах северного и южного склонов Северо-Западного Кавказа и Черноморского побережья Краснодарского края. Для этих территорий требуется первоочередная разработка мероприятий по управлению рисками (на уровнях область – район – участок по [Бурова, 2019]), поскольку масштаб потенциальных последствий может потребовать значительных материальных затрат и времени на их ликвидацию. Потенциально очень высокий риск опасных геологических процессов для самых высокогорных территорий Краснодарского края определяет первоочередную задачу разработки и внедрения мер по управлению рисками на различных уровнях.

Заключение

Геоэкологические условия Краснодарского края на региональном уровне определяют характер и степень проявления опасных эндогенных и экзогенных природных процессов. Эндогенные геоэкологические процессы, вызванные высокой сейсмичностью, активными тектоническими нарушениями, неотектоническими деформациями складчатых структур и движением блоков верхней части земной коры в условиях напряжённого состояния земной коры, характерны для Северо-Западного Кавказа и Черноморского побережья. Угрозу для безопасности региона представляют также опасные экзогенные природные геологические процессы (оползни, боковая и донная эрозия, абразия и др.). Так, на отдельных участках Черноморского побережья поражённость оползневыми процессами составляет 10-20%, а при техногенном воздействии может возрасти до 50%.

К наиболее актуальным вопросам геоэкологии территории Краснодарского края отнесена оценка степени опасности интегрального сейсмогенного риска и экзогенных природных процессов. Разработка методики оценки степени опасности интегрального сейсмогенного риска должна включать факторы, обусловленные как непосредственно сейсмическими воздействиями, так и вызванными ими последующими угрозами экзогенных геологических процессов эпицентральной области землетрясения. К угрозам этого плана следует отнести сформировавшиеся активные разломы, обвалы, провалы земной поверхности, изменение русел водотоков.

В работе приведены разработанные карты оценки интегрального риска проявления экзогенных геологических процессов и интегральной оценки потенциального риска опасных эндогенных и экзогенных процессов Краснодарского края и Республики Адыгея. Наименьшим потенциальным риском возникновения природных опасностей характеризуются северные районы Краснодарского края. Зоны высокого и очень высокого потенциального риска локализованы в пределах северного и южного склонов Северо-Западного Кавказа и Черноморского побережья Краснодарского края. Для этих территорий требуется первоочередная разработка мероприятий по управлению рисками на различных уровнях.

Литература

1. Бабешко В. А., Юбко В. М., Глазырин Е. А., Шестопалов В. Л. Характер движений поверхности земной коры по данным GPS-измерений в районе Азово-Черноморского побережья Российской Федерации. // Наука юга России (Вестник Южного Научного Центра). – 2016. – Т. 12. №4. – С. 33-40.

2. Бурова В. Н. Особенности районирования урбанизированных территорий для оценки риска от опасных природных процессов. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 6. – С. 106-111.

3. Величко С. В., Глазырин Е. А., Шереметьев В. М., Шестопапов В. Л. Мониторинг геодинамической активности Туапсинско-Сочинской сейсмоактивной зоны по данным GPS-наблюдений. // Инженерная геология Северо-Западного Кавказа и Предкавказья: современное состояние и основные задачи. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2016. – С. 41-47.

4. Глазырин Е. А., Шестопапов В. Л., Фоменко В. А. Основные результаты и перспективы изучения движений земной коры Северного Кавказа на основе спутниковых геодинамических пунктов. // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа (по материалам VII Всероссийской научно-технической конференции». 6-9 декабря 2017 г., г. Ессентуки). Т. VII. Часть 2. / Под ред. И. А. Керимова. – М.: ИИЕТ РАН, 2017. – С. 49-57.

5. Заиканов В. Г., Минакова Т. Б., Булдакова Е. В., Сависько И. С. Индексы и индикаторы геоэкологической безопасности урбанизированных территорий. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2019. – № 4. – С. 94-101.

6. Косинова И. И., Кустова Н. Р. Теория и методология геоэкологических рисков. // Вестник ВГУ. Серия: Геология. – 2008. – № 2. – С. 189-197.

7. Кропоткин М. П. Некоторые аспекты оценки влияния сейсмических воздействий на устойчивость склонов (на примере осваиваемой прибрежной зоны Западного Кавказа). // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2020. – № 2. – С. 16-27.

8. Ларионов В. И., Фролова Н. И., Угаров А. Н. Оценка сейсмического риска. // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2017. – № 2. – С. 22-37.

9. Любимова Т. В., Бондаренко Н. А., Стогний В. В., Погорелов А. В. Карта интегрального риска проявления экзогенных геологических процессов как основа для решения различных теоретических и прикладных задач на территории Краснодарского края. // Естественные и технические науки. – 2017. – № 2 (114). – С. 140-145.

10. Минаев В. А., Фадеев А. О. Оценка геоэкологических рисков: моделирование безопасности туристско-рекреационных территорий. – М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2009. – 336 с.

11. Осипов В. И., Еремина О. Н., Козлякова И. В. Оценка экзогенных опасностей и геологического риска на урбанизированных территориях (обзор зарубежного опыта). // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2017. – № 3. – С. 3-15.

12. Осипов В. И., Ларионов В. И., Суцев С. П., Фролова Н. И., Угаров А. Н., Кожаринов С. В., Барская Т. В. Оценка сейсмического риска территории г. Б. Сочи. // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2015. – № 1. – С. 3-19.

13. Расцветаев Л. М., Маринин А. В., Тверитинова Т. Ю. Позднеальпийские дизъюнктивные системы и геодинамика Западного Кавказа. // Геотектоника. – 2010. – № 5. – С. 31-40.

14. Свалова В. Б., Заалишвили В. Б., Ганапати Г. П., Николаев А. В., Мельков Д. А. Оползневой риск в горных районах. // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. № 2. – С. 86-95.

15. Стогний В. В. Сейсмичность Краснодарского края и Республики Адыгея: исторический аспект. // Вестник Краснодарского регионального отделения РГО: сб. науч. трудов. – 2020. – Вып. 10. – С. 130-137.

16. Стогний Г. А., Стогний В. В. Сейсмичность Большого Кавказа с позиции блоковой делимости земной коры. // Экологический вестник научных центров Черноморского экономического сотрудничества (ЧЭС). – 2017. – № 2. – С. 86-95.

17. Стогний Г. А., Стогний В. В. Проблема оценки сейсмогенного риска Черноморского побережья Краснодарского края. // Туристско-рекреационный комплекс в системе регио-

нального развития: Материалы VII Международной научно-практической конференции. Краснодар: Кубанский гос. ун-т, 2019. – С. 226-229.

18. Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилова Л.С. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе. // *Физика Земли*. – 2007. – № 7. – С. 31-45.

19. 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. – Т. 9. № 1. – С. 58-70. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788.

20. Sharma V.K. Zonation of landslide hazard for urban planning: case study of Nainital town, Kumaon Himalaya, India. // In: *Engineering Geology for Tomorrow's Cities, IAEG 2006*, 6–10 Sept. 2006, paper no. 3–191.

21. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vanderckhole L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. // *Landslides*. – 2015. – Vol. 12. No. 4. – pp. 787–798.

References

1. Babeshko V.A., Yubko V.M., Glazyrin E.A., Shestopalov V.L. The nature of movements of the earth's crust according to GPS measurements in the region of the Azov-Black Sea coast of the Russian Federation. *Science of the South of Russia*. 2016. Vol. 12, No. 4, pp. 33-40. (In Russ.)

2. Burova V.N. Features of zoning of urbanized areas for risk assessment from hazardous natural processes. *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 2019. No. 6. pp. 106-111. (In Russ.)

3. Velichko S.V., Glazyrin E.A., Sheremet'ev V. M., Shestopalov V.L. Monitoring of the geodynamic activity of the Tuapse-Sochi seismically active zone according to GPS observations. *Engineering geology of the North-West Caucasus and Ciscaucasia, current state and main problems*. Krasnodar, Prosveshchenie-Yug, 2016. pp. 41-47. (In Russ.)

4. Glazyrin E.A., Shestopalov V.L., Fomenko V.A. The main results and prospects of studying the movements of the Earth's crust in the North Caucasus on the basis of satellite geodynamic points. In: *Proceedings of the VII All-Russian scientific and technical conference*. December 6-9, 2017, Essentuki. Vol. VII. Part 2. Moscow. IHST RAS, 2017. pp. 49-57. (In Russ.)

5. Zaikanov V.G., Minakova T.B., Buldakova E. V., Savis'ko I.S. Indices and indicators of geoeological safety of urbanized territories. *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 2019. No. 4. P. 94-101. (In Russ.)

6. Kropotkin M.P. Some aspects of the influence of seismic impacts on the slope stability (by the example of the developed coastal zone in the West Caucasus). *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 2020. No. 2. pp. 16-27. (In Russ.)

7. Kosinova I.I., Kustova N.R. Theory and methodology of geoeological risks. *Vestnik VSU, Series Geology*. 2008. No. 2. pp. 189-197. (In Russ.)

8. Larionov V.I., Frolova N.I., Ugarov A.N. Seismic risk assessment. *Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology*. 2017. No. 2. pp. 22-37. (In Russ.)

9. Lyubimova T.V., Bondarenko N.A., Stognii V.V., Pogorelov A. V. Map of the integral risk for manifestation of exogenous geological processes as a basis for solving various theoretical and applied problems in the Krasnodar Territory. *Natural and technical sciences*. 2017. No. 2 (114). pp. 140-145 (In Russ.)

10. Minaev V.A., Fadeev A.O. Assessment of geoeological risks: modeling the safety of tourist and recreational areas. Moscow, Finance and Statistics, INFRA-M, 2009.336 p. (In Russ.)

11. Osipov V.I., Eremina O.N., Kozlyakova I.V. Assessment of exogenous hazards and geological risk in urbanized areas (review of foreign experience). *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2017. No. 3. pp. 3-15. (In Russ.)

12. Osipov V.I., Larionov V.I., Sushchev S.P., Frolova N.I., Ugarov A. N., Kozharinov S. V.,

Barskaya T. V. Assessment of the seismic risk in the territory of B. Sochi. *Geoecology. Engineering geology. Hydrogeology. Geocryology*, 2015. No. 1. pp. 3-19. (In Russ.)

13. Rastsvetaev L. M., Marinin A. V., Tveritina T. Yu. Late Alpine disjunctive systems and geodynamics of the Western Caucasus. *Geotectonics*. 2010. No. 5. pp. 31-40. (In Russ.)

14. Svalova V. B., Zaalishvili V. B., Ganapati G. P., Nikolaev A. V., Melkov D. A. Landslide risk in mountainous areas. *Geology and geophysics of Russian South*. 2019.9 (2). pp. 86-95. (In Russ.)

15. Stognii V. V. Seismicity of the Krasnodar Territory and the Republic of Adygea: a historical aspect. *Bulletin of the Krasnodar Regional Branch of the Russian Geographical Society, proceedings*. Krasnodar, 2020. 10, pp. 130-137. (In Russ.)

16. Stognii G. A., Stognii V. V. Seismicity of the Greater Caucasus from the position of the block divisibility of the earth's crust. *Ecological Bulletin of Scientific Centers of the Black Sea Economic Cooperation (BSEC)*. 2017. No. 2. pp. 86-95. (In Russ.)

17. Stognii G. A., Stognii V. V. The problem of assessing the seismogenic risk of the Black Sea coast of the Krasnodar Territory. In: *Proceedings of the VII International Scientific and Practical Conference*. Krasnodar, Kuban State University, 2019. pp. 226-229. (In Russ.)

18. Ulomov V. I., Danilova T. I., Medvedeva N. S., Polyakova T. P., Shumilova L. S. On the assessment of seismic hazard in the North Caucasus. *Physics of the Earth*. 2007, No. 7. pp. 31-45. (In Russ.)

19. 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 Russian South*. 2019. Vol. 9 (1). pp. 58-70. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26788 (In Russ.)

20. Sharma V. K. Zonation of landslide hazard for urban planning: case study of Nainital town, Kumaon Himalaya, India. In: *Engineering Geology for Tomorrow's Cities, IAEG 2006*, 6-10 Sept. 2006, paper no. 3-191.

21. Vranken L., Vantilt G., Van Den Elckhaut M., Vanderckhole L., Poesen J. Landslide risk assessment in densely populated hilly area. *Landslides*. 2015. Vol. 12. No. 4. pp. 787-798.

ПАМЯТЬ

ТАМАЗ ВАРЛАМОВИЧ ГИОРГОБИАНИ
1939 – 2021

Тамаз Варламович Гиоргобиани родился в Грузии, в г. Кутаиси 2 января 1939 г., в семье военнослужащего. Отец – Варлам Петрович Гиоргобиани, полковник, участник Финской и Великой отечественной войн имел многие государственные награды. Мать – Мариам Несторовна Чохонелидзе – заслуженный педагог Грузии.

После окончания в 1957 г. средней школы в г. Кутаиси, Т.В. Гиоргобиани поступил в Грузинский Политехнический Институт на геологический факультет, который он окончил в 1962 г. по специальности «горный инженер-геолог». Затем по распределению Тамаз Варламович был направлен в Казахстан и в 1962-1967 гг. работал в Восточно-Казахстанском территориальном геологическом управлении, инженером-геологом геолого-поисковых партий. В 1967-1969 гг. работал научным работником и старшим инженером в Казахском научно-исследовательском институте минерального сырья. С 1969 года Тамаз Варламович работал старшим научным сотрудником в институте геологических наук Казахской академии наук, где в 1975 г. он успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Складчатость и кливаж каледонского структурного этажа Северо-Западного Каратау».

После защиты диссертации Тамаз Варламович вернулся в Грузию и начал работать в Геологическом институте Академии Наук Грузии, в отделе тектоники и региональной геологии, сначала младшим (1976-1979 гг.), а затем старшим научным сотрудником.

Вся трудовая деятельность Т.В. Гиоргобиани в Геологическом институте связана со структурными исследованиями Кавказской складчатой области, в первую очередь территории Грузии: «Изучение геолого-структурного профиля Большого



*Совместные исследования с сотрудниками Геофизического института
ВНЦ РАН, октябрь 2019 г.*

Кавказа вдоль рек Арагви и Терги» (1997–1999); «Изучение тектонического строения и геодинамическая эволюция территории Грузии» (2000–2001); «Геодинамическая эволюция и механизм формирования тектонических структур территории Грузии» (2002–2003); «Доальпийская и альпийская геодинамика территории Грузии» (2004–2005); «Изучение детального геолого-структурного разреза Большого Кавказа и сопредельных тектонических единиц вдоль Военно-Грузинской дороги» (2006–2009); «Трехмерная модель глубинного геолого-геофизического строения Грузии» (2010–2012).

Т.В. Гиоргобиани является автором и соавтором около 200 научных трудов, в том числе трех монографий, посвященных проблемам структурного анализа и механизма формирования линейной складчатости Казахстана и Северо-Западного Кавказа, а также глубинному геологическому строению Грузии по геофизическим данным. Тамаз Варламович участвовал более чем в 50-и международных научных конференциях, совещаниях, симпозиумах и конгрессах.

Хотя наш Институт Строительной Механики и Сейсмостойкости АН Грузии, где я работал, был расположен вблизи Института геологии АН Грузии, с сотрудниками которого мы активно сотрудничали, лично я знаком с ним не был. Так уж получилось, что я познакомился с глубокоуважаемым Тамазом Варламовичем позже. И познакомил нас академик АН Грузии Тамаз Лукич Челидзе. Первая же наша встреча произошла в 2017 году на международной конференции в г. Владикавказе, куда мы его пригласили.

Мы сразу обратили внимание на большое, подчеркнутое уважение, с которым отнеслись маститые, всемирно известные геологи в лице профессора Николая Владимировича Короновского и коллег из других регионов, на появление Тамаза Варламовича Гиоргобиани. Он прочитал великолепные доклады, показал при этом вклад российских и грузинских геологов в развитие многих геологических исследований на Северном и Южном Кавказе. Мы подружились. По нашей просьбе он прочел несколько коротких, но весьма содержательных, лекций, на выездном молодежном семинаре в горах.

Целый ряд статей, а это 9 статей, начиная с 2017 года, он опубликовал в нашем журнале «Геология и геофизика Юга России», включенном в международную базу



*Совместные исследования с сотрудниками Геофизического института
ВНЦ РАН, октябрь 2019 г.*

данных Скопус. И всегда рецензенты единогласно отмечали высокий уровень оригинальности его публикаций.

Тамаз Варлмамович был отзывчивым, эмоциональным и открытым человеком. Его теплая улыбка согревала окружающих.

В завершение хотелось бы сказать несколько слов на грузинском языке: ბატონი თამაზ გორგობიანი საქართველოს ერთგული შვილი იყო /уважаемый Тамаз Ги-оргобиани был верным сыном Грузии/.

Весь наш коллектив глубоко скорбит о невозполнимой утрате, и выражает глубокое соболезнование семье и близким друзьям Тамаза Варламовича, а также всем сотрудникам Геологического института Академии наук Грузии.

Главный редактор журнала
«Геология и геофизика Юга России»
д. ф.-м. н., профессор

В.Б. Заалишвили

ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

В журнале «Геология и геофизика Юга России» публикуются оригинальные статьи теоретического и методического характера по вопросам геологии, геофизики и геохимии, результаты изучения состава и строения коры и мантии Земли, процессов формирования и общих закономерностей размещения полезных ископаемых, а также результаты разработки и применения геолого-геофизических методов их выявления. Тематика журнала соответствует следующим областям знаний по действующей номенклатуре ВАК: 25.00.03 – Геотектоника и геодинамика; 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых; 25.00.11 – Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения; 25.00.23 – Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов; 25.00.35 – Геоинформатика; 25.00.36 – Геоэкология, а также смежным научным направлениям.

Для работ регионального характера предпочтение отдается статьям, раскрывающим различные вопросы геологического строения Юга России и прилегающих территорий.

В соответствии с градацией наук, принятой в международных системах цитирования Scopus и Web of Science статьи для публикации в журнале «Геология и геофизика Юга 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 соблюсти размеры по умолчанию. Большие формулы необходимо разбивать на отдельные фрагменты. Фрагменты формул по возможности должны быть независимы (при использовании формульного редактора каждая строка – отдельный объект). Нумерацию и по возможности знаки препинания следует ставить отдельно от формул обычным текстом. Таблицы, рисунки, фотографии размещаются внутри текста и имеют сквозную нумерацию по статье (не по разделам!) и собственные заголовки. Названия всех рисунков, фотографий и таблиц приводятся на русском языке 11 кеглем, курсивом. Нумерация обозначений на рисунках дается по порядку номеров по часовой стрелке или сверху вниз. Рисунки необходимо по возможности выполнять в векторном формате виде, желательно в программе Corel Draw или аналогах по следующим правилам: ширина рисунка не более 16,5 см; толщина линий: основных – 1 пт, вспомогательных – 0,5 пт; для обозначений в поле рисунка использовать шрифт Times New Roman размером – 9 пт. Векторные рисунки записываются в отдельные файлы документов. Фотоснимки должны быть контрастными и выполненными на матовой бумаге. Отсканированные фотографии записываются в файлы в формате TIFF, JPEG. Сканировать изображение следует с разрешением 300 dpi для контрастных черно-белых рисунков и 600 dpi – для полутонных. 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 ВНИЦ РАН, Редакция журнала «Геология и геофизика Юга России». Тел: 8 (8672) 76-19-28; факс: 8 (8672) 76-40-56, e-mail: southgeo@mail.ru

INFORMATION FOR AUTHORS

The journal “Geology and Geophysics of Russian South” publishes original articles of theoretical and methodological nature on geology, geophysics and geochemistry, the results of studying the composition and structure of the Earth’s crust and mantle, the formation processes and the general patterns of mineral resources, geophysical methods for their detection. The subject of the journal corresponds to the current nomenclature areas of knowledge of the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation: 25.00.03 – Geotectonics and geodynamics; 25.00.10 – Geophysics, geophysical methods of mineral exploration; 25.00.11 – Geology, prospecting and exploration of solid minerals, minerageny; 25.00.23 – Physical geography and biogeography, soil geography and landscape geochemistry; 25.00.35 – Geoinformatics; 25.00.36 – Geoecology and related scientific directions..

For works of a regional nature, preference is given to articles that reveal the various issues of the geological structure of the South of 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 Russian South” publishes:

- articles interpreting the new scientific research results of volume not more than 10 typewritten pages including illustrations and tables;
- brief messages containing information on the important results of the preliminary research of volume 3-5 pages (these materials can be used in the full article text);
- reviews of the typewritten articles on the actual problems on current geological, geophysical and environmental problems of 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 Russian South”.

Instructions for the authors

Acceptance of materials for consideration is carried out through the electronic service <http://www.geosouth.ru> or by mail to the Publisher address: 93a, Markova Street, Vladikavkaz, Russia 362002, Geophysical Institute of VSC RAS, the editorial office of the journal “Geology and Geophysics of Russian South”.

The following materials should be presented:

- an article (structure and rules see below),

- a separate sheet with the information about the authors: surname, name, patronymic name, scientific degree, rank, a name of the organization, office and home address and telephone number, e-mail (if exists) and the reference to the author to contact with;
- a confirmation from the organization if the presented materials are the result of the work carried out in that organization; the journal heading (section) should be pointed out in the confirmation;
- an expert conclusion or any other document allowing the publication in the open press confirmed by the organization head and proved with the stamped seal; the expert conclusion is presented only by the authors from Russia.

If materials are submitted by electronic service, paper copies of the manuscript are not required to be submitted to the editorial office. When registering online, you must follow the step-by-step instructions for uploading files. When sending materials by regular mail, you must attach two paper copies of the article, signed by all authors. Text prepared in accordance with the general technical requirements is printed on one side of an A4 sheet. An annotation with the title, authors and their affiliation given at the beginning is printed on a separate sheet. Signatures to the figures are also provided separately. Each table and figure should be printed on a separate sheet. At the bottom of the page with an illustration, you must specify the number of the picture. It is also necessary to attach an electronic version on any portable storage device or, in agreement with the editors, send the relevant materials by e-mail.

The article lay-out rules (submission guidelines)

The following information should be pointed out on the first page: universal decimal classification, the article heading (title) in Russian (Sentence Case, without quotation marks, without division of a word, without a full stop at the end, underlining isn't used), point 20 semi bold, centre aligning; the authors surnames, academic degrees and titles (point 14 semi bold type, the right-edge aligning), the organization name, post address, town, country and e-mail of corresponding author.

The abstract should be 250-300 words without formulas and literature references. In case a manuscript is presented in Russian, the abstract should be repeated in English with the article heading (title), surnames and names in this language. In case a manuscript is presented in English, the Russian variant must be supplied. The abstracts are typed in Times New Roman (12 point) in one file in the following order: the article heading (title), the authors, the name of the organization, the abstract text in Russian with the further information in 2 lines in the same sequence in English. The abstracts are also published in the journal site www.naukagor.ru (in Russian and in English). Keywords (5-8) that reflect the theme of the article must be specified at the end of the abstract.

The article text is typed in Times New Roman (14 pt) through an ordinary interval aligning along the format. A subtitle is typed in italics, aligning along the left edge. The common terms, measurement units and conventional symbols similar to the whole article are used. The decoding of all symbols is given for the first text use. The Latin alphabet letters are typed in the italics while the Greek letters in the straight type. The mathematical symbols \lim , \lg , \ln , \arg , const , \sin , \cos , \min , \max , etc. are typed in the straight type. The symbol shouldn't coincide with the over symbol element in the chemical elements (H_2O) and measurement units (MW/cm^2) and must be of the straight (ordinary) type. One shouldn't mix similar written letters of the Latin, Greek and Russian alphabets and should use the proper macros. The letters I and J, v and ν , 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. 2021 г. Том 11)**

Главный редактор *В.Б. Заалишвили*

Подписано в печать 22.03.2021 г. Формат 60×84 1/8.

Дата фактического выхода 30.03.2021 г.

Усл. печ. лист 16,5. Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ № 31.

Свободная цена.

Издание зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство ПИ № ФС77-72125 от 29 декабря 2017 г.

Издатель:

**Геофизический институт – филиал ФГБУН Федерального научного центра
"Владикавказский научный центр Российской академии наук"**

Адрес издателя и редакции:

362002, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Маркова 93а

тел. 8 (8672) 764084; факс 8(8672) 764056

e-mail: southgeo@mail.ru

<http://geosouth.ru>

Отпечатано ИП Цопановой А.Ю.

362000, г. Владикавказ, пер. Павловский, 3