

ISSN 2221-3198
e-ISSN 2686-7486

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА ЮГА РОССИИ

GEOLOGY
AND GEOPHYSICS
OF RUSSIAN SOUTH

Том 11
№ 4 / 2021



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
№ 4 / 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**, Высогогорный 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. 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 включен в международную реферативную базу данных и систему цитирования Scopus

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, 2021

Фото на обложке – Лисри (К. С. Харебов)

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

Editor in Chief

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

Deputy Editor in Chief

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

Members of Editorial board

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

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

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

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. Hovhannisyan, Academician of National
Academy of Sciences of the Republic of Armenia (NAS
RA) A. Nazarov Institute of Geophysics and Engineering
Seismology of NAS RA, Armenia

Valerian A. Snyitko, Corresponding Member of RAS,
S.I.Vavilov Institute for the History of Science and
Technology of RAS, Moscow

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

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 Daghestan Scientific Centre of RAS (IG DSC
RAS), Makhachkala

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

Executive Secretary

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

Managing Editor

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

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

The journal is included in the International Reference Database and Scopus citation System

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, 2021

Cover photo – Lisri (K.S. Kharebov)

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ	
Акпаева Е.П., Букреев Е.Д.	
Особенности строения и генезиса железорудного месторождения мыса Железный Рог	6
Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А.	
Ультрабазиты и источники благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе	15
ГЕОТЕКТОНИКА И ГЕОДИНАМИКА	
Керимов И.А.	
Гравитационные аномалии, разломная тектоника и сейсмичность Терско-Каспийского прогиба	30
Магомедов Р.А., Мусаев М.А.	
Оценка сейсмотектонического потенциала блоков Восточного Кавказа	43
Етирмишли Г.Д., Исмаилова С.С., Казымова С.Е.	
Исмаиллинское землетрясение 5 февраля 2019	58
ГЕОФИЗИКА	
Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Габараев А.Ф., Мерзликин Т.И.	
Нелинейные колебания грунтовой толщи по инструментальным и численным данным	70
Карапетян Дж.К., Чилингарян А.З., Карапетян К.А., Мкртчян Г.А., Чилингарян Т.А.	
Результаты оценки свойств грунтов Абовянского специального подземного хранилища газа по инженерно-геофизическим исследованиям	83
ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ	
Босиков И.И., Клюев Р.В., Тавасиев В.Х., Летичевская Н.Н.	
Комплексный анализ и оценка перспективных золоторудных зон с применением современных геофизических методов	94
Ковалев В.В., Гамбург К.Ю.	
Особенности распределение взвешенной формы железа в водной толще Каспийского моря	109
Мохов А.В.	
О происхождении и морфологии Z-образных расщеплений угольных залежей (на примере Восточного Донбасса)	121
ГЕОЭКОЛОГИЯ	
Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В.	
Оценка влияния движения автомобильного транспорта на загрязнение урбанизированных территорий	135
Заалишвили В. Б., Бурдзиева О. Г., Кануков А. С., Дзобелова Л.В.	
Разработка карт индекса канцерогенного риска территории г. Владикавказа	147
Залиханов М.Ч., Кагермазов А.Х., Созаева Л.Т., Беккиев К.М.	
О возможности использования выходной продукции глобальной модели атмосферы GFS NCEP в экологических исследованиях	161
Пашкевич М.А., Коротаева А.Э.	
Анализ биологических методов для очистки карьерных сточных вод от азотных соединений	170
ЮБИЛЕИ	
Владимиру ИвановичуЩеглову – 70 лет!	183
ПАМЯТЬ	
Джгмадзе Автандил Карлович	185
Чотчаев Хыйса Османович	190

CONTENTS

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

Акраева Е.П., Букреев Е.Д.	
Genesis and structure of the iron ore deposit of the Cape Iron Horn	6
Богущ И.А., Рыбов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А.	
Ultrabasites and the sources of noble metals (Au, Pt, Pd) in the North Caucasus	15

GEOTECTONICS AND GEODYNAMICS

Керимов И.А.	
Gravity Anomalies, Fault Tectonics and Seismicity of the Terek-Caspian Trough.	30
Магомедов Р.А., Мусаев М.А.	
Assessment of the seismotectonic potential of the East Caucasus blocks.....	43
Yetirmishli G.J., Ismailova S.S., Kazimova S.E.	
Ismayilli earthquake on february 5th, 2019	58

GEOPHYSICS

Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Gabaraev A.F., Merzlikin T.I.	
Nonlinear vibrations of soil strata according to instrumental and numerical data.....	70
Karapetyan J.K., Chilingaryan A.Z., Karapetyan K.A., Mkrtchyan G.A., Chilingaryan T.A.	
Comparative analysis of the dynamic characteristics of various types of buildings during microseismic vibrations	83

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

Bosikov I.I., Klyuev R.V., Tavasiev V.Kh., Letichevskaya N.N.	
Comprehensive analysis and assessment of prospective gold-ore zones using modern geophysical methods.....	94
Kovalev V.V., Hamburg K.Y.	
Features of the distribution of the suspended form of iron in the water column of the Caspian Sea.....	109
Mokhov A.V.	
On the origin and morphology of Z-shaped splitting of coal deposits (on the example of Eastern Donbass)	121

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Korbesova K.V.	
Assessment of the Impact of Road Traffic on the Pollution of Urbanized Territories.....	135
Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Kanukov A.S., Dzobelova L.V.	
Development of cancerogenic risk index maps for the territory of Vladikavkaz.....	147
Zalikhonov M.Ch., Kagermazov A.Kh., Sozaeva L.T., Bekkiev K.M.	
About the possibility of using the output data of the global atmosphere model GFS NCEP in ecological research	161
Pashkevich M.A., Korotaeva A.E.	
Analysis of biological methods for quarry wastewater treatment from nitrogen compounds.....	170

JUBILEE

Vladimir Ivanovich Shcheglov is 70 years old!.....	183
--	-----

MEMORY

Dzhgamadze Avtandil Karlovich	185
Chotchaev Khyisa Osmanovich	190

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК: 550.85

DOI: [10.46698/VNC.2021.65.44.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.65.44.001)

Оригинальная статья

Особенности строения и генезиса железорудного месторождения мыса Железный Рог

Е.П. Акпаева , Е.Д. Букреев 

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991,
г. Москва, Ленинские горы, д. 1, e-mail: Elizaveta.Akpaeva@student.msu.ru, Egor.Bukreev
@student.msu.ru

Статья поступила: 15.10.2021, после рецензирования: 12.11.2021, принята к публикации: 16.11.2021

Резюме: Статья посвящена железорудному месторождению, представляющему собой пласт оолитовых (бурожелезняковых) руд железа, который выходит на дневную поверхность на мысе Железный Рог на берегу Таманского полуострова. Мыс имеет протяженность 1,3 км с запада на восток и высоту 55 м над уровнем моря. Склон мыса разбит многочисленными трещинами из-за эрозионного воздействия ветра и морской воды, по которым происходит откалывание оползневых тел. **Актуальность работы.** Железорудное месторождение на мысе Железный Рог Таманского полуострова известно с конца 19 века, в настоящее время (с 1984 года) ему присвоен статус памятника природы, из-за чего добыча сырья запрещена на всей охраняемой территории, составляющей 19 га. Однако минералогия, палеонтология и особенности геологии данного месторождения изучены недостаточно. Таким образом, представленная статья призвана в какой-то степени восполнить этот пробел. **Целью проведенных исследований** является выявление особенностей геологического строения, минерализации и генезиса железорудного месторождения на мысе Железный Рог Таманского полуострова. **Методы работы.** Основу работы составляют образцы, отобранные авторами во время полевых работ на мысе Железный Рог с июня по июль 2021 года. При выполнении работы были описаны 15 образцов, а также идентифицированы палеонтологические находки и определен их примерный возраст. **Результаты работ.** Установлено, что бурые железняки залегают в толще серых глин железнорогской свиты (N1-2 Жr) и совпадают с ними по возрасту, что подтверждается палеонтологическими находками. В разрезе были найдены только те минералы, в состав которых входит железо: борнит, вивианит, лимонит, халькопирит. В работе проанализированы структурно-текстурные особенности пласта и вмещающих его пород, а также ассоциации найденных минералов, на основании чего сделаны выводы, что данный пласт железных руд относится к хемогенному осадочному типу месторождений, образованному из коллоидных растворов.

Ключевые слова: хемогенное осадочное месторождение, железорудное месторождение, железнорогская свита, кругловская свита, борнит, вивианит, халькопирит, лимонит.

Для цитирования: Акпаева Е.П., Букреев Е.Д. Особенности строения и генезиса железорудного месторождения мыса Железный Рог. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 6 -14. DOI: 10.46698/VNC.2021.65.44.001.

GENERAL AND REGIONAL GEOLOGY

[DOI: 10.46698/VNC.2021.65.44.001](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.65.44.001)

Original paper

Genesis and structure of the iron ore deposit of the Cape Iron Horn

E.P. Akpaeva^{ID}, E.D. Bukreev^{ID}

Lomonosov Moscow State University, 1 Lenin Hills, Moscow 119991, Russian Federation,
e-mail: Elizaveta.Akpaeva@student.msu.ru, Egor.Bukreev@student.msu.ru

Received: 15.10.2021, revised: 12.11.2021, accepted: 16.11.2021

Abstract: The article is devoted to an iron ore deposit, which is a layer of oolitic (brown limestone) iron ores, which comes to the surface during the day at Cape Iron Horn on the shore of the Taman Peninsula. The cape has a length of 1.3 km from west to east and a height of 55 m above sea level. The slope of the cape is broken by numerous cracks due to the erosive effects of wind and sea water, along which landslide bodies are chipping away. **Relevance.** The iron ore deposit at Cape Iron Horn of the Taman Peninsula has been known since the end of the 19th century, currently (since 1984) it has been given the status of a natural monument, which is why the extraction of raw materials is prohibited in the entire protected area of 19 hectares. However, mineralogy, paleontology and features of the geology of this deposit have not been studied enough. Thus, the presented article is intended to fill this gap to some extent. **The Aim of the research** is to identify the features of the geological structure, mineralogy and genesis of the iron ore deposit at Cape Iron Horn of the Taman Peninsula. **Methods.** The work is based on samples selected by the authors during field work at Cape Iron Horn from June to July 2021. During the work, 15 samples were described, as well as paleontological finds were identified and their approximate age was determined. **Results.** It has been established that brown ironstones lie in the thickness of gray clays of the Zheleznogorskaya formation (N1-2 τ) and coincide with them in age, which is confirmed by paleontological findings. Only those minerals containing iron were found in the section: bornite, vivianite, limonite, chalcopyrite. The paper analyzes the structural and textural features of the formation and its host rocks, as well as the associations of the minerals found, on the basis of which it is concluded that this iron ore formation belongs to the chemogenic sedimentary type of deposits formed from colloidal solutions.

Keywords: chemogenic sedimentary deposit, iron ore deposit, zheleznogorskaya formation, Kruglovskaya formation, bornite, vivianite, chalcopyrite, limonite.

For citation: Akpaeva E.P., Bukreev E.D. Genesis and structure of the iron ore deposit of the Cape Iron Horn. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 6 -14. DOI: 10.46698/VNC.2021.65.44.001.

Введение

Мыс Железный Рог располагается на южном берегу Таманского полуострова, в 10 км к югу от города Тамань Краснодарского края (45°6'34" с.ш., 36°44'3" в.д.). Мыс имеет протяженность 1,3 км с запада на восток и высоту 55 м над уровнем моря. На верхней площадке мыса растут мелкие и бледные травы, наличие которых Ломоносов в своих работах связывал с железорудными жилами. На склоне мыса и его побережье множество оползневых тел, которые откалываются от мыса в результате эрозионного воздействия ветра и морской воды [Короновский, 2006] (рис. 1).



*Рис. 1. Западный склон мыса Железный Рог /
Fig. 1. The western slope of Cape Iron Horn*

Содержание железа в пласте достаточно высокое, поэтому с 1896 по 1932 гг. рабочие собирали отколовшиеся обломки железорудного пласта и перерабатывали их. В 1984 году мысу Железный Рог был присвоен статус памятника природы, в результате чего добыча была запрещена на всей охраняемой территории (19 га).

Методы исследования

Первоначальная форма изучения геологических процессов – непосредственное наблюдение. В.В. Белоусов справедливо подчёркивал то, что «геолог – прежде всего наблюдатель», что «весь фундамент геологической науки создан именно региональными полевыми исследованиями» [Захаров, 2016]. Объясняется это тем, что многие свойства геологических объектов относятся к макроскопическому уровню организации материи.

Наблюдение всегда сопровождается тщательным описанием объекта. Описание – это отражение данных наблюдения, как бы механическая регистрация наблюдаемых свойств природных объектов. Оно используется при полевом исследовании, когда отбираются образцы и пробы для последующего анализа и исследования, а также фиксируются места и условия их отбора [Назаров, 1982]. В статье мы стремились сделать описание наиболее полным и всеобъемлющим, чтобы специалисты различных геологических наук в дальнейшем могли получить всю интересующую их информацию.

Наблюдение и описание создают эмпирическую основу для дальнейшего исследования – сравнения. Сравнение производилось на основании генетической классификации месторождений полезных ископаемых [Смирнов, 1986; Вахромеев, 1979; Старостин, Игнатов, 2004; Авдонин, 2010; Hamid Mumin et al., 2004], классификации моллюсков [Михайлова и др., 2006; Бетехтин, 2007; Schopf, 1983], классификации минералов [Булах и др., 2008; Wenk, Bulakh, 2003; Ansted et al., 1855].

Материалы были отобраны из западно-северо-западной и из центральной частей мыса, где есть непосредственный доступ к породам пласта бурого железняка и к вмещающим его породам. В восточно-юго-восточной части мыса пласт выходит на дневную поверхность на высоте 45–50 метров, а сам склон мыса разбит трещинами и усыпан крупными оползневыми телами. По этой причине отобрать образцы из восточно-юго-восточной части мыса не представляется возможным.

Для отобранных образцов руд и пород были проведены минералогические и палеонтологические исследования, в результате которых авторами было дано детальное описание 15 образцов.

Результаты работы и их обсуждение

В обнажении наблюдаются отложения неогенового возраста, а именно верхнего миоцена и плиоцена.

Понтический региоярус представлен кругловской свитой ($N_{1-2}kv$). Она сложена светло-серыми, плотными глинами, неясной слоистости, с периодическими линзами, переполненными ракушечным детритом (рис. 2а). В том числе с отпечатками *Paradacnaabichi*, (рис. 2б) по которым была определена принадлежность к свите [Андрусов, 1903].

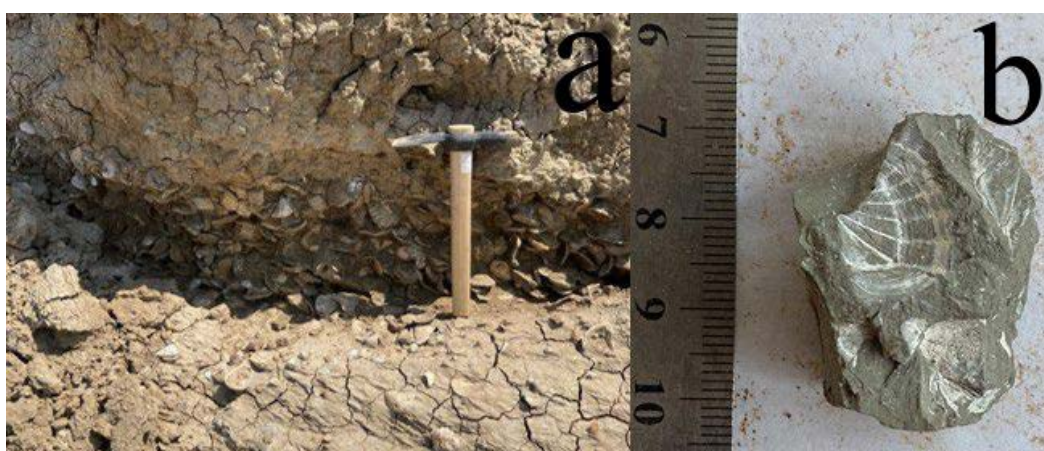


Рис. 2. а) линза с ракушечным детритом в отложениях кругловской свиты, б) отпечаток *Paradacnaabichi* в плотной глине /

Fig. 2. a) lens with shell detritus in the deposits of the Kruglov formation, b) the imprint of *Paradacnaabichi* in dense clay

Киммерийский региоярус. Железнодорожная свита ($N_{1-2}žr$) представлена серыми и коричнево-серыми глинами, с участками ожелезнения охристо-коричневого цвета, с отпечатками *Arcicardiumacardo* (рис. 3) и других двустворок, которые являются характерными для данной свиты [Корсаков и др., 2013].



Рис. 3. Коричнево-серая глина с отпечатками *Arcicardiumacardo* /
Fig. 3. Brown-gray clay with *Arcicardium accardo* prints

В толще железнорогских глин прослеживается пласт бурого железняка мощностью около 1 метра (рис. 4). На северо-восточном склоне наблюдаются только глинистые породы светло-голубого, серого цвета моноклиального залегания, то есть происходит постепенное выклинивание железорудного пласта в северо-восточном направлении. Пласт залегает согласно с породами железнорогской свиты, что говорит о его сингенетическом образовании [Авдонин, 2010]. Контакт с вмещающими породами четкий и ровный. Пласт пологопадающий на северо-запад под углом 5 градусов (АзПд333СЗ $\angle$ 5).

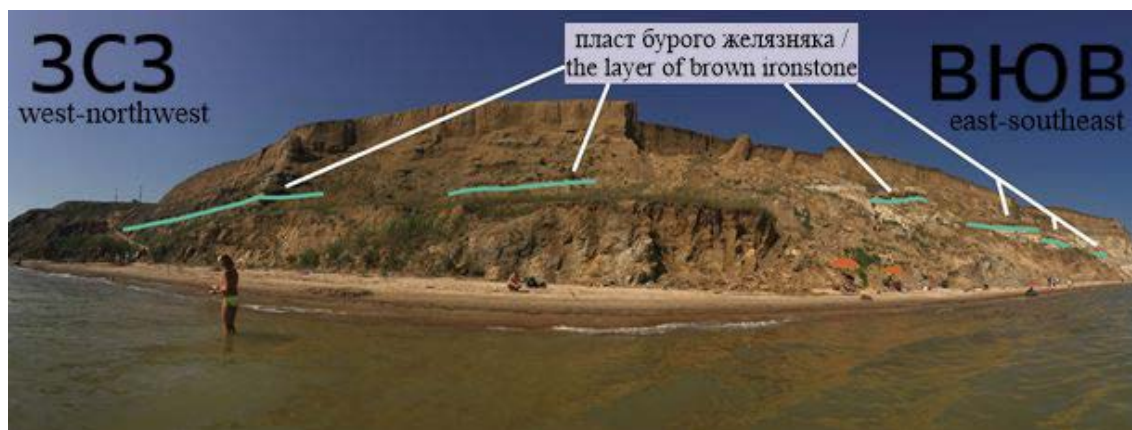


Рис. 4. Пласт бурого железняка в склоне мыса Железный Рог /
Fig. 4. The layer of brown ironstone in the slope of Cape Iron Horn

Кроме этого, были найдены образцы бурого железняка с отпечатками предположительно *Didacnacrasatellata* и *Arcicardiumacardo* (рис. 5), что подтверждает идею об одновременном образовании железорудного пласта и толщи глин [Михайлова, Бондаренко, 2006].



Рис. 5. Бурый железняк с отпечатками а) *Arcicardiumacardo*, б, в) *Didacnacrasatellata* /
Fig. 5. Brown ironstone with prints a) *Arcicardium accardo*, b, c) *Didacnacrasatellata*

В юго-западной части обнажения были отобраны образцы оолитового борнита с налетом лимонита на поверхности (рис. 6а). Размер оолитов от 1 мм до 10 мм. Цвет образца коричнево-оранжевый из-за окисления железа, а на свежем сколе цвет от темно-синего до темно-фиолетового, на некоторых образцах присутствует побелость. Спайность несовершенная, излом раковистый. Твердость 2,5-3, хрупкий.

Также присутствуют вкрапления халькопирита золотисто-желтого цвета с пестрой побежалостью (рис. 6б) и кристаллы вивианита темно-синего почти черного цвета [Klein et al., 2013] (рис. 6в).



Рис. 6. а) оолитовый борнит, б) вкрапления халькопирита в борните, в) кристаллы вивианита в борните /

Fig. 6. a) oolitic bornite, b) chalcopyrite inclusions in bornite, c) vivianite crystals in bornite

Там же был найден образец плотной глины в борнитовой и лимонитовой рубашке. Глина серо-зеленого цвета с массивной текстурой. В глине присутствуют прослойки кварцевого песка и остатки раковины головоногого моллюска, замещенные халькопиритом (рис. 7).



Рис. 7. Остатки раковины головоногого моллюска, замещенные халькопиритом, в плотной глине /
Fig. 7. Remains of a cephalopod shell replaced by chalcopyrite in dense clay

Восточнее, ближе к центральной части мыса Железный Рог, был найден сильно выветренный образец глины зеленовато-бежевого цвета (рис. 8). В нем присутствуют жилы вивианита темно-синего цвета. Лучистые кристаллы длиной до 8 мм переливаются стеклянным блеском. На свежем сколе образца минерал имеет занозистый излом и совершенную спайность. Твердость небольшая (около 2 по шкале Мооса), очень хрупкий. Также в образце присутствуют вкрапления землистых шариков вивианита, которые при раскалывании имеют цвет зафffre.



*Рис. 8. Выветрелая глина с жилами вивианита /
Fig. 8. Weathered clay with veins of vivianite*

Выводы

Пласт бурого железняка, выходящий на дневную поверхность в районе мыса Железный Рог, залегает в толще серых глин железнорогской свиты и совпадает с ними по возрасту, то есть является сингенетическим, что подтверждается палеонтологическими находками [Богущ и др., 2020]. Мыс Железный Рог представляет собой железорудное месторождение [Богущ и др., 2021]. Данное месторождение бурых железняков является хемогенным классом осадочных месторождений, сформированных из коллоидных растворов, которые являются важным источником промышленных оолитовых (бурожелезняковых) руд железа. Это подтверждают следующие характерные особенности: ассоциация с сероцветными терригенными формациями гумидных климатических зон, заполняющими морские и океанические впадины; фациально-геохимическая и минеральная зональность оруденения относительно береговой линии; пластовая форма тел, оолитовая текстура руд. Пластовая форма рудного тела и его согласное залегание в осадочных толщах железнорогских глин прямо указывает на седиментогенно-диагенетическое происхождение руды. Также присутствует характерное переслаивание рудного слоя, ракушняка и глин. Все найденные минералы имеют в составе железо (борнит, халькопирит, вивианит, лимонит) [Deer et al., 2011], что является признаком большого содержания железа в пласте.

Литература

1. Авдонин В.В., Старостин В.И. Геология полезных ископаемых: учебник для студ. высш. учеб. заведений. – М.: Академия, 2010. – 384 с.
2. Андрусов Н.И. Геологические исследования на Таманском полуострове. – СПб.: тип. Имп. Акад. наук, 1903. – С. 257–381.
3. Бетехтин А.Г. Курс минералогии: учебное пособие. – М.: КДУ, 2007. – 720 с.
4. Богущ И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И. Генезис и рудоносные структуры Чучурского месторождения благородных металлов Северного Кавказа. // Геология и Геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №1. – С. 81–95. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36477

5. Богуш И.А., Рябов Г.В., Бурцев А.А. Колчеданы Северного Кавказа. Перспективы рудоносности Худесского месторождения. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 6–16. DOI: 10.46698/VNC.2021.80.87.001.

6. Булах А.Г., Кривовичев В.Г., Золотарев А.А. Общая геология: учебник для высш. учеб. заведений. 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательский центр «Академия», 2008 – 416 с.

7. Вахромеев С.А. Месторождения полезных ископаемых. – М.: Недра, 1979. – 294 с.

8. Захаров М.С. Методология и методика региональных исследований в инженерной геологии. – СПб.: Лань, 2016. – 96 с.

9. Короновский Н.В. Общая геология: учебник. – М.: КДУ, 2006. – 528 с.

10. Корсаков С.Г., Зарубин В.В., Соколов В.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L-37-XIX, XXV (Тамань). Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. – 107 с.

11. Михайлова И.А., Бондаренко О.Б. Палеонтология. 2-е изд., перераб. и доп.: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 2006. – 592 с.

12. Назаров И.В. Методология геологического исследования. – Новосибирск: Наука, 1982. – 176 с.

13. Смирнов В.И. Геология полезных ископаемых. – М.: Недра, 1986. – 687 с.

14. Старостин В.И., Игнатов П.А. Геология полезных ископаемых. – М.: Академический Проект, Трикста, 2004. – 512 с.

15. Ansted D.T., Tennant. Geology, mineralogy and crystallography: Being a theoretical, practical and descriptive item of inorganic nature. The form and classification of crystals, and a chemical arrangement of minerals. // Houlston and Stoneman, London. – 1855. – 590 p.

16. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. Rock-forming minerals. Non-silicates. Oxides, hydroxides and sulphides. // Geology Society, London. – 2011. – 920 p.

17. Hamid Mumin A., Anglin C.D., Marshall D. Ore mineral atlas. // Department of Earth Sciences, Newfoundland. – 2004. – 112 p.

18. Klein C., Philpotts A.R. Earth materials. Introduction to mineralogy and petrology. // Cambridge University Press. – 2013. – 1253 p.

19. Schopf I.W. Earth's Earliest Biosphere: its origin and evolution. // New Jersey: Princeton Univ. Pr. – 1983. – 543 p.

20. Wenk H.-R., Bulakh A.G. Minerals. Their constitution and origin. // Cambridge University Press. – 2003. – 671 p.

References

1. Avdonin V.V., Starostin V.I. Geology of minerals. A textbook for university students. Moscow. Academiya, 2010. 384 p. (In Russ.)

2. Andrusov N.I. Geological research on the Taman Peninsula. Saint Petersburg. Imp. Akad. nauk, 1903. pp. 257–381. (In Russ.)

3. Betekhtin A.G. Mineralogy course: textbook. Moscow. KDU, 2007. 720 p. (In Russ.)

4. Bogush I.A., Ryabov G.V., Cherkashin V.I. Genesis and ore-bearing structures of the Chuchukur noble metals deposits of the North Caucasus. Geology and Geophysics of

Russian South. 2020. Vol. 10. No. 1. pp. 81–95. DOI: 10.23671/VNC.2019.3.36477 (In Russ.)

5. Bogush I.A., Ryabov G.V., Burtsev A.A. Pyritic deposits of North Caucasus. Prospects of minerality of Hudes deposit. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 3. pp. 6–16. DOI: 10.46698/VNC.2021.80.87.001. (In Russ.)

6. Bulakh A.G., Krivovichev V.G., Zolotarev A.A. General geology: a textbook for university students. 4th revised ed. Moscow. *Academiya*, 2008 416 p. (In Russ.)

7. Vakhromeev S.A. Mineral deposits. Moscow. *Nedra*, 1979. 294 p. (In Russ.)

8. Zakharov M.S. Methodology and technique of regional explorations in engineering geology. Saint Petersburg. *Lan*, 2016. 96 p. (In Russ.)

9. Koronovskiy N.V. General Geology. Textbook. Moscow. *KDU*, 2006. 528 p. (In Russ.)

10. Korsakov S.G., Zarubin V.V., Sokolov V.V. et al. State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200000. Second edition. Caucasian series. Sheet L-37-XIX, XXV (Taman). Explanatory letter. Moscow. *MF VSEGEI*, 2013. 107 p. (In Russ.)

11. Mikhailova I.A., Bondarenko O.B. Paleontology. 2nd revised ed. Textbook. Moscow. *MSU*, 2006. 592 p. (In Russ.)

12. Nazarov I.V. Geological research methodology. Novosibirsk. *Nauka*, 1982. 176 p. (In Russ.)

13. Smirnov V.I. Geology of minerals. Moscow. *Nedra*, 1986. 687 p. (In Russ.)

14. Starostin V.I., Ignatov P.A. Geology of minerals. Moscow. *Academic Project, Triksa*, 2004. 512 p. (In Russ.)

15. Ansted D.T., Tennant. Geology, mineralogy and crystallography: Being a theoretical, practical and descriptive item of inorganic nature. The form and classification of crystals, and a chemical arrangement of minerals. Houlston and Stoneman, London. 1855. 590 p.

16. Deer W.A., Howie R.A., Zussman J. Rock-forming minerals. Non-silicates. Oxides, hydroxides and sulphides. *Geology Society*, London. 2011. 920 p.

17. Hamid Mumin A., Anglin C.D., Marshall D. Ore mineral atlas. Department of Earth Sciences, Newfoundland. 2004. 112 p.

18. Klein C., Philpotts A.R. Earth materials. Introduction to mineralogy and petrology. *Cambridge University Press*. 2013. 1253 p.

19. Schopf I.W. Earth's Earliest Biosphere: its origin and evolution. New Jersey. *Princeton Univ. Pr.* 1983. 543 p.

20. Wenk H.-R., Bulakh A.G. Minerals. Their constitution and origin. *Cambridge University Press*. 2003. 671 p.

ОБЩАЯ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 553.49:549.33:549.273:669.2. (470.6)

DOI: [10.46698/VNC.2021.71.47.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.71.47.002)

Оригинальная статья

Ультрабазиты и источники благородных металлов
(Au, Pt, Pd) на Северном КавказеИ.А. Богуш¹, Г.В. Рябов¹, В.И. Черкашин², Н.А. Исаева²

¹Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
им. М.И. Платова, Россия, 346428, Ростовская обл., г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132,
e-mail: georg.riabov@yandex.ru, i_bogush@mail.ru;

²Институт геологии Дагестанского научного центра РАН, Россия, 367010,
Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail: dangeo@mail.ru

Статья поступила: 17.10.2021, после рецензирования: 18.11.2021, принята к публикации: 25.11.2021

Резюме: Актуальность работы. Ультрабазиты Северного Кавказа являются древнейшими магматическими породами, возраст которых определяется как нижнепалеозойский (ордовик-силур). Эти породы играют ключевую роль в металлогении благородных металлов Кавказа. С ультрабазитами связаны гигантские запасы металлов в региональной углеродсодержащей девонской черносланцевой толще Северного Кавказа. Практическое значение имеют пермские пропилиты (Чучкурское месторождение) и металлоносные юрские коры выветривания ультрабазитовых массивов. До настоящего времени не оценены благородные металлы лиственитов Северного Кавказа, сопровождающих ультрабазиты. **Цель работы.** Показать, что ультраосновные породы являются донорами благородных металлов (Au, Pt, Pd) для Северного Кавказа на протяжении всего фанерозоя. Подтвердить пространственно-временную связь ультрабазитов с благороднометалльным оруденением в черных сланцах Кавказа. Доказать на примере Беденского массива ультрабазитов наличие рудоносной коры выветривания, залегающей на размытой поверхности серпентинитов. **Методы исследований.** Сделан краткий исторический обзор исследований ультрабазитов с ориентацией на генетические связи благородных металлов (Au, Pt, Pd) с ультрабазитовой магмой. Проведен анализ геологических материалов по наиболее крупным на Северном Кавказе Беденскому и Малкинскому ультрабазитовым массивам – их составу, геохимическим особенностям и потенциальной рудоносности. **Результаты работы.** По химическому составу ультрабазиты Северного Кавказа отнесены к альпинотипному формационному типу. Установлена рудообразующая роль альпинотипных ультрабазитов для благородных металлов в осадочных и метаморфических толщах фанерозоя региона. Благородные металлы активно проявляются в металлогении фанерозойских геотектонических эпох: каледонской, герцинской, киммерийской и альпийской, имея единый первичный ультрабазитовый источник. Свежие, неизмененные серпентиниты в настоящее время не обнаруживают аномальные содержания благородных металлов, представляющих промышленный интерес. Насыщение серпентинитов благородными металлами проявляется при их экзогенной переработке в обогащенных продуктах их разрушения. Потенциально промышленными осадочными комплексами, состоящими из обогащенных продуктов разрушения серпентинитов, являются коры выветривания серпентинитов и осадочные черносланцевые толщи Северного Кавказа. Ультрабазитовая магма на Северном Кавказе послужила первичным глубинным источником благородных металлов в осадочных и метаморфогенных фанерозойских толщах Кавказа.

Ключевые слова: Северный Кавказ, ультрабазиты, рудный источник, благородные металлы, (Au, Pt, Pd), металлогения.

Для цитирования: Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И., Исаева Н.А. Ультрабазиты и источники благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 15-29. DOI: [10.46698/VNC.2021.71.47.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.71.47.002)

DOI: [10.46698/VNC.2021.71.47.002](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.71.47.002)

Original paper

Ultrabasites and the sources of noble metals (Au, Pt, Pd) in the North Caucasus

I.A. Bogush¹, G.V. Ryabov¹, V.I. Cherkashin², N.A. Isaeva²

¹Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), 132 Prosveshcheniya,
Novocherkassk 346428, Russian Federation, e-mail: georg.riabov@yandex.ru,
i_bogush@mail.ru;

²Institute of Geology of the Dagestan Scientific Center of the RAS, 75 Yaragskiy Str.,
Makhachkala 367010, Republic of Dagestan, Russian Federation, e-mail: dangeo@mail.ru

Received: 17.10.2021, revised: 18.11.2021, accepted: 25.11.2021

Abstract: Relevance. The ultrabasites of the North Caucasus are the oldest igneous rocks, whose age is defined as the Lower Paleozoic (Ordovician-Silurian). These rocks play a key role in the metallogeny of the noble metals of the Caucasus. Huge reserves of metals in the regional carbonaceous Devonian black shale stratum of the North Caucasus are associated with ultrabasites. Permian propylites (Chuchkurskoye deposit) and metal-bearing Jurassic crusts of weathering of ultrabasic massifs are of practical importance. To date, the noble metals of the listvenites of the North Caucasus accompanying ultrabasites have not been evaluated. **Aim.** Show that ultrabasic rocks are donors of noble metals (Au, Pt, Pd) for the North Caucasus throughout the entire Phanerozoic. Confirm the spatio-temporal relationship of ultrabasic rocks with noble metal mineralization in the black shales of the Caucasus. Prove the presence of an ore-bearing weathering crust on the eroded surface of serpentinites using the example of the Bedensky ultrabasic massif. **Methods.** A brief historical review of ultrabasic studies with a focus on the genetic relationships of noble metals (Au, Pt, Pd) with ultrabasic magma is made. The analysis of geological materials on the Bedene and Malkin ultrabasic massifs, the largest in the North Caucasus, is carried out – their composition, geochemical features and potential ore content. **Results.** According to the chemical composition, the ultrabasites of the North Caucasus are attributed to the alpinotype formation type. The ore-forming role of alpinotype ultrabasites for noble metals in sedimentary and metamorphic strata of the Phanerozoic region has been established. Noble metals are actively manifested in the metallogeny of the Phanerozoic Geotectonic epochs: Caledonian, Hercynian, Cimmerian and Alpine, having a single primary ultrabasic source. Fresh, unaltered serpentinites do not currently show anomalous contents of noble metals of industrial interest. The saturation of serpentinite with noble metals is manifested during their exogenous processing in the enriched products of their destruction. Potentially industrial sedimentary complexes consisting of enriched products of destruction of serpentinites are the weathering crusts of serpentinites and sedimentary black-shale strata of the North Caucasus. Ultrabasic magma in the North Caucasus served as the primary deep-seated source of precious metals in sedimentary and metamorphogenic Phanerozoic strata of the Caucasus.

Keywords: North Caucasus, ultrabasites, ore source, noble metals, (Au, Pt, Pd), metallogeny.

For citation: Bogush I.A., Ryabov G.V., Cherkashin V.I., Isaeva N.A. Ultrabasites and the sources of noble metals (Au, Pt, Pd) in the North Caucasus. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 15 - 29. DOI: 10.46698/VNC.2021.71.47.002

Введение

Важное металлогеническое значение ультраосновных пород в формировании месторождений благородных металлов и, прежде всего, МПГ общеизвестно [Соболев, 1952; Плошко, 1986; Naldrett, Duke, 1980; Naldrett, 1981; Campbell et al., 1983;

Boudreau McCallum, 1986; Beaudoin et al., 1990; Mulja, Mitchell, 1990; Alapieti, 2005].

Ключевую роль в металлогении благородных металлов играют древнейшие магматические породы Кавказа – ультрабазиты. Активное металлогеническое участие ультрабазитов рассматривается на примере Беденского и Малкинского серпентинитовых массивов, связанных с главными событиями рудогенеза благородных металлов [Богущ и др., 2016; Парада и др., 2014; Парада, 2018]. В металлогеническом отношении благородные металлы на Северном Кавказе впервые проявляются в связи с каледонскими ультрабазитами Передового хребта [Богущ и др., 2016, 2017; Парада и др., 2014]. Как показано исследователями ультрабазитов Кавказа [Богущ и др., 2017], они являются донорами благородных металлов (Au, Pt, Pd) для всего Северного Кавказа на протяжении всего фанерозоя. Благородные металлы активно проявляются в металлогении фанерозойских геотектонических эпох: каледонской, герцинской, киммерийской и альпийской, имея единый первичный ультрабазитовый источник. С ультрабазитами связаны гигантские запасы металлов в региональной углеродсодержащей девонской черносланцевой толще Северного Кавказа. Практическое значение имеют пермские пропилиты (Чучкурское месторождение) и металлоносные юрские коры выветривания ультрабазитовых массивов. До настоящего времени не оценены благородные металлы лиственитов Северного Кавказа, сопровождающих ультрабазиты. Отмечена лишь их общая повышенная золотоносность до 1,0 г/т. В теоретическом плане впервые доказывается прямая связь благородных металлов черных сланцев с ультраосновной магмой и прямое участие серпентинитов в рудоносности черносланцевых толщ.

Методы исследования

Ультраосновные породы Северного Кавказа были объектами геологических исследований, начиная еще с дореволюционных годов прошлого века. Авторами сделан краткий исторический обзор исследований ультрабазитов с ориентацией на генетические связи благородных металлов (Au, Pt, Pd) с ультрабазитовой магмой. Проведен анализ геологических материалов по наиболее крупным на Северном Кавказе Беденскому и Малкинскому ультрабазитовым массивам – их составу, геохимическим особенностям и потенциальной рудоносности.

Длительная история исследования ультрабазитов Северного Кавказа отражена в известных монографиях [Соболев, 1952; Каденский, 1956; Плошко, 1986; Снежко, 1986]. Указанные монографии обобщали и развивали основополагающие позиции более ранних работ по ультрабазитам: [Безбородько, 1913; Затоковенко, 1941; Ефремова, 1939, 1940; Герасимова, 1933, 1940; Коблева, 1936; Сердюченко, 1935; Татарина, 1927, 1935], а также в многочисленных публикациях и отчетах геологов-исследователей Кавказа. Петрография, типизация и геохимия ультрабазитов отражены на примерах достаточно крупных штокверковых и сложных пластовых тел, дающих возможность изучить большие площадные выходы. В некоторых работах внимание к ультрабазитам привлекали связанные с ними полезные ископаемые (природнолегированные железные руды, хромиты, асбест, никелевые руды). К этой тематике относятся целенаправленные публикации [Кобилева, 1939; Попова, 1929; Татарина, 1927, 1935]. Жильные (дайки) и малые тела ультрабазитов подробно и всесторонне рассматриваются при разведочных работах и эксплуатации рудных месторождений. Многочисленные, детальные свойства серпентинитов приведены на Тырныаузском месторождении в зоне Передового хребта. Работами [Пэк, Снеж-

ко, 1980; Курдюкова и др. 1980; Снежко, 1985; Медведкова, Блинова 1975] подробно рассмотрены малые тела, дайки и мелкие интрузии, вскрытые при разведке и добыче молибдено-вольфрамовых руд в структурной зоне Передового хребта.

Объекты исследований.

Региональная полоса альпинотипных ультрабазитов силурийского возраста выходит по северной границе зоны Передового хребта и совпадает с глубинной Тырныауз-Пшекишской тектонической зоной (рис. 1) [Снежко, 1985]. Восточный фланг этой полосы отмечен крупным Малкинским массивом, западный – Беденским массивом.

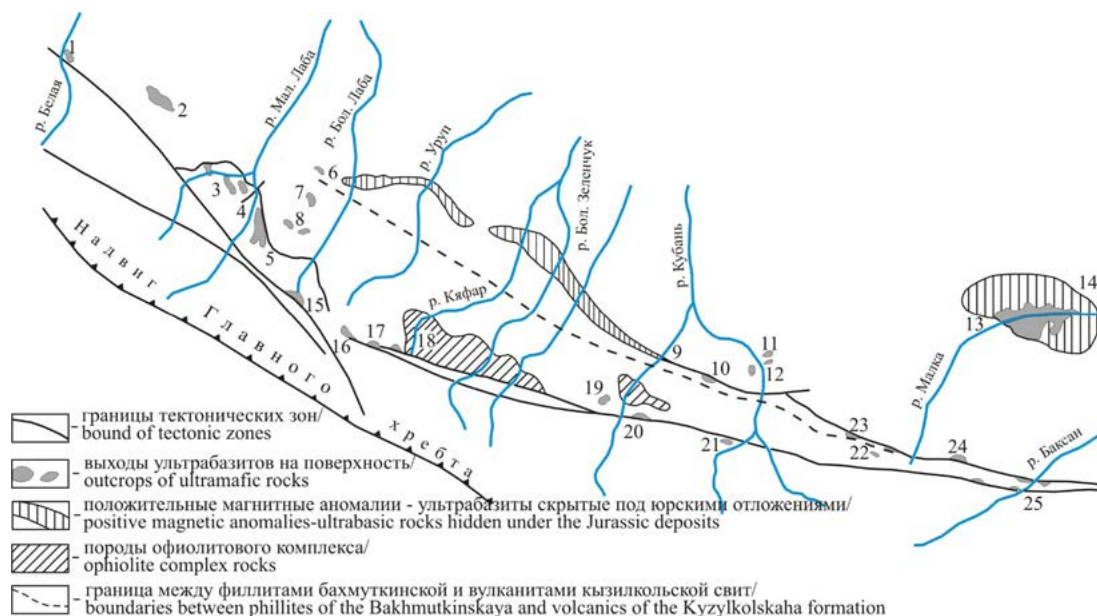


Рис. 1. Схема размещения ультрабазитов в зоне Передового хребта по Е.А. Снежко.

Условные обозначения: Тектонические зоны: I – Бечасынская, II – Передового хребта, III – Главного хребта, IV – Южного склона, II-b – кристаллические сланцы Блыбского антиклинория Передового хребта.

Номера на схеме – выходы ультрабазитов: 1 – Белореченские и Кишинские, 2 – Тхачский, 3 – Уруштенские, 4 – Маркопиджский, 5 – Блыбский, 6 – Беденский и Андрюкский, 7 – Пцыцеский, 8 – Джентинские, 9 – Нижнетебердинские, 10 – Кольтюбинский, 11 – Алыкбашинский, Шаманбеклегенский, Худесский, 12 – Кизилкольский, 13 – Шитджатмазский, 14 – Малкинский, 15 – Заканский, 16 – Загеданский, 17 – Ацгаринский и Речепстинский, 18 – Кяфарские/Архейский офиолитовый комплекс, 19 – Верхнетебердинские и Гедамские, 20 – Джематские, 21 – Карачай-аушские, 22 – Худесского рудного поля, 23 – Конушкольский и горы Сирх, 24 – ультрабазиты Тырныаузского рудного поля, 25 – Кестантинские /

Fig. 1. Layout of ultrabasites in the zone of Peredovoy ridge according to E.A. Snezhko.

Legend: Tectonic zones: I – Bechasynskaya, II – Peredovoy ridge, III – Main ridge, IV – Southern slope, II-b – crystalline schists of the Blybsky anticlinorium of the Peredovoy ridge.

Numbers on the scheme – ultrabasic outcrops: 1 – Beloechensky and Kishinsky, 2 – Tkhachsky, 3 – Urushtensky, 4 – Markopidzhsky, 5 – Blybsky, 6 – Bedensky and Andryuksky, 7 – Ptsytsersky, 8 – Dzhintinsky, 9 – Nizhneberdinsky, 10 – Koltyubinsky, 11 – Alykbashinsky, Shaman-beklegensky, Khudessky, 12 – Kizilkolsky, 13 – Shitjatmazsky, 14 – Malkinsky, 15 – Zakansky, 16 – Zagedansky, 17 – Atsgarinsky and Rechepstinsky, 18 – Kyafar / Archean ophiolite complex, 19 – Verkhneberdinskiy and Gedamskiy, 20 – Dzhemagatskiy, 21 – Karachay-aushkiy, 22 – Khudesskiy ore field, 23 – Konushkolskiy and Sirkh mountain, 24 – ultrabasites of Tyrnyauzskiy ore field, 25 – Kestantinskiy

Результаты работы и их обсуждение

Ультрабазиты Кавказа относятся к наиболее изученным магматическим образованиям региона. Возраст ультрабазитов определяется как нижнепалеозойский (450 ± 25 млн. лет) [Плошко, 1986], в связи с чем они являются наиболее древними магматическими породами Северного Кавказа и древнее чем вмещающие их отложения девонских (D_{2-3}) черных сланцев Тоханского покрова. Среди ультраосновных пород выделяются интенсивно серпентинизированные перидотиты, гарцбургиты, серпентиниты различного состава и их оталькованные или карбонатизированные разновидности с переходами к талькитам и лиственитам. По химическому составу ультрабазиты Северного Кавказа относятся к альпинотипному формационному типу [Плошко, 1986].

Последнее десятилетие научные работы и изучение серпентинитов производится исключительно в связи с прогнозом благородных металлов на Северном Кавказе. Эти работы показали непосредственное донорство ультрабазитов и первичный источник благородных металлов для всего фанерозоя. Аномальные содержания благородных металлов (Pt, Pd, Au) геохимически обнаружены в продуктах выветривания Малкинского массива [Парада и др., 2014, Парада, 2018, 2021] и Беденского массива [Богуш и др., 2016, 2017]. Ультрабазиты Северного Кавказа являются первым и древнейшим каледонским источником благородных металлов в пределах зоны Передового хребта.

Донорская роль силурийских ультрабазитов наиболее широко, в площадном отношении, проявляется в черных сланцах андрюкской и артыкчатской свит (D_{1-2}), которые сопровождают пояс ультрабазитов на всем его протяжении. Нижняя граница свит не вскрыта, верхняя граница тектоническая с породами даутской свиты (D_2).

Пространственно-временная связь ультрабазитов и черных сланцев подтверждается также широким развитием в сланцах шпинели (пикотит) и присутствием обломков ультрабазитового состава [Потапенко, Пруцкий, 1976]. Устанавливаемое исключительное влияние в формирование черносланцевых отложений Тоханского покрова ультраосновной и офиолитовой составляющей неизбежно должно отразиться и на их металлогеническом, рудогенерирующем спектре. Продукты размыва ультрабазитов Беденского массива обогащались благородными металлами, и образовали аномальные содержания платины, платиноидов и золота [Богуш и др., 2016, 2017]. На вероятную связь платиноидов медноколчеданных месторождений с ультрабазитами указывал в свое время и Г.В. Рябов.

Минералогическое изучение ультрабазитов [Богуш и др., 2016; Парада и др., 2014] не обнаружило коренных находок минералов платиновой группы. Геохимические исследования непосредственно коренных серпентинитов в обнаженной части массива показали повышенный аномальный фон платиноидов в серпентинитах (0,09 г/т) [Богуш и др., 2016; Парада и др., 2014]. Ведущая роль серпентинитов как постоянного источника благородных металлов (Au, Pt, Pd) подчеркивается постоянным присутствием их в продуктах разрушения серпентинитов во всех постсилурийских проявлениях этих металлов Северного Кавказа. Продукты выветривания серпентинитов содержат субпромышленные суммарные концентрации золота, платины палладия (0,9–2,0 г/т) [Богуш и др., 2016]. Практически не изучены благородные металлы лиственитов Северного Кавказа, сопровождающих ультрабазиты, отмечается лишь их повышенная золотоносность до 1,0 г/т. Наиболее показатель-

ными массивами при определении потенциальной рудоносности являются Беденский и Малкинский массивы ультрабазитов.

Беденский ультрабазитовый массив

Практически все исследователи ультрабазитов Северного Кавказа затрагивали основные характеристики Беденского массива как наиболее доступного и обнаженного на поверхности. В ранних работах [Безбородько, 1913 и Кобилева, 1939] внимание к этому массиву привлекали хромитовые руды, никель-кобальтовая минерализация и асбестовые проявления. Хризотил-асбестовые проявления изучались П.М. Татариновым. Первоначально эти полезные ископаемые рассматривались с промышленной точки зрения [Кобилев, 1939], но по запасам таковыми не оказались. Беденские ультрабазиты привлекали внимание многих геологов Кавказа. Однако важное металлогеническое значение Беденские ультрабазиты приобрели за последнее десятилетие, после доказательства их рудоносности, обогащения благородными металлами и первичными донорскими свойствами альпинотипных ультрабазитов на Северном Кавказе [Плошко, 1986].

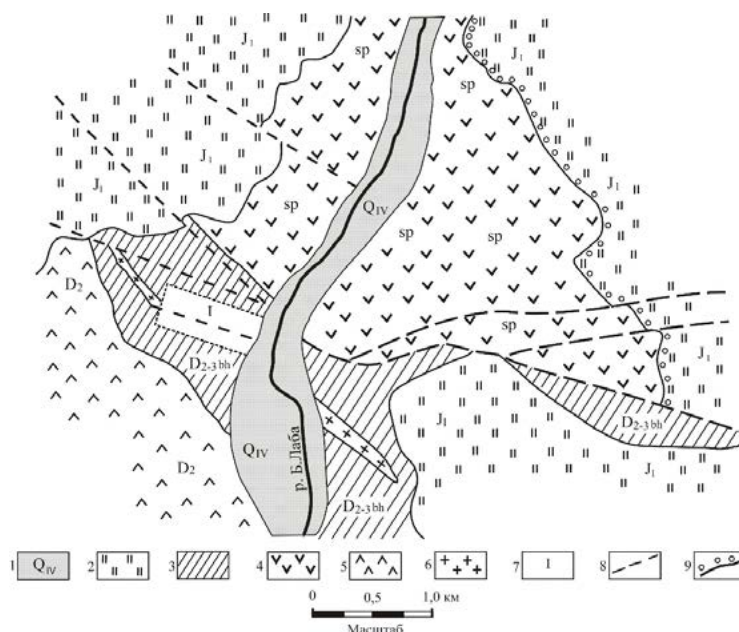


Рис. 2. Лабинский рудный участок: Беденский массив ультрабазитов, рудная зона Грушовая, кора выветривания серпентинитов.

Условные обозначения: 1 – аллювиальные отложения; 2 – песчаники верхней юры; 3 – черносланцевая толща; 4 – серпентиниты; 5 – вулканиды; 6 – лейкократовые граниты; 7 – рудная зона; 8 – тектонические нарушения; 9 – юрский базальный горизонт и рудоносная кора выветривания серпентинитов /

Fig. 2. Labinsky ore locus: Beden ultrabasic massif, the Grushovaya ore zone, weathering crust of serpentinites.

Legend: 1 – alluvial deposits; 2 – Upper Jurassic sandstones; 3 – black shale strata; 4 – serpentinites; 5 – volcanics; 6 – leucocratic granites; 7 – ore zone; 8 – tectonic disturbances; 9 – Jurassic basal horizon and ore-bearing weathering crust of serpentinite

Беденский массив – один из самых крупных серпентинитовых массивов Северного Кавказа (рис. 2) [Плошко, 1986; Соболев, 1952].

Форма выхода его на поверхность близкая к изометричной, площадь развития 9 км². Ультрабазиты Беденского массива вскрыты рекой Большая Лаба в районе поселка Азиатский на протяжении более 5 км, который выступает из-под юрских отложений в долине реки и ее притоков. По В.В. Плошко [1986], Беденский массив является одним из серпентинитовых штокообразных тел, приуроченных к узлам пересечения глубинного Лабино-Кубанского разлома с тектоническими структурами субмеридионального простирания. Ультрабазиты Беденского типа относятся к наиболее ранним маг-

матическим комплексам Северного Кавказа. Возраст гипербазитов [Парада и др., 2014] имеет верхнюю границу как ордовик (450+-25 млн лет) и они являются более древними, чем вмещающие их отложения девонских черных сланцев (D_{2-3}). Региональная полоса альпинотипных ультрабазитов этого типа проходит по северной границе зоны Передового хребта и совпадает с глубинной Тырныауз-Пшекишской тектонической зоной. Ультрабазиты Беденского массива вскрыты рекой Большая Лаба в районе поселка Азиатский на протяжении более 5 км и выступают из-под юрских отложений в долине реки и ее притоков.

Контакты ультрабазитов с вмещающими образованиями часто тектонически осложнены и сопровождаются наложенным никелевым и медным оруденением, карбонатизацией, лиственитизацией, окварцеванием и оталькованием. На севере массив граничит с кристаллической толщей нижнего палеозоя (Беденскими гранитами), на юге имеет тектонический контакт с черносланцевой толщей девона. К западу и востоку ультрабазиты перекрываются терригенными отложениями нижней юры (плинсбах, тоар). На севере Беденский массив имеет магматический контакт с нижнепалеозойскими гранитами и гранито-гнейсами [Калганов, 1946]. Южная граница массива с черными сланцами верхнего девона ограничена Беденским разломом. Южная тектоническая граница серпентинитового массива (Беденский разлом) в региональном плане относится к проявлению регионального Северного разлома, по которому проходит северная граница Передового хребта Северного Кавказа и вдоль которого следует пояс ультрабазитов. Исследования П.В. Прокуронова, В.Б. Черницина показали золотоносность Северного разлома на всем протяжении структурно-металлогенической зоны Передового хребта.

Среди ультраосновных пород Беденского массива выделяются интенсивно серпентинизированные гарцбургиты, серпентиниты различного состава и их оталькованные или карбонатизированные разности с переходами к талькитам и лиственитам. Соотношение минералов, слагающих эти породы различны. Все они, как правило, асбестоносны, имеют массивную или сланцеватую текстуру, цвет их зеленый, темно-зеленый до черного, характеризуются разнообразием структур от реликтовой кристаллически-зернистой до петельчатой и лучистой. Основная ткань серпентинитов сложена хризотилом, слабополяризующим серпофитом и реже клинохлором (ядра решетки). Карбонаты магнезит или брейнерит, изредка отмечаются прожилки мощностью до 0,8 см с кристаллами гипса. На реке Бескес, среди апроперидотитовых серпентинитов, установлены широкообразные участки желтовато-зеленого баститового серпентинита апопироксенитового генезиса. Серпентиниты, как правило, пронизаны сетью взаимно пересекающихся прожилков, составленных аллометасоматическим серпентинитом, бруситом, карбонатами, либо поперечно-волокнистым асбестом с волокнами длиной до 1 см. Контакты гипербазитов с вмещающими образованиями часто тектонически осложнены и сопровождаются наложенным оруденением, карбонатизацией, лиственитизацией и окварцеванием. Наиболее активно лиственитизация и рудная минерализация (сульфиды железа и никеля) проявляются вдоль южной тектонической границы Беденского массива, по балкам Грушовой и Никелевой. Характер контакта с гранитами по балке Мощевой показывает более древний возраст серпентинитов [Афанасьев, и др., 1971; Потапенко, Пруцкий, 1976]. В зоне контакта развиты ксенолиты флогопитизированных серпентинитов в гранитах и приконтактная флогопитизация ультрабазитов.

Кровля Беденского ультрабазитового массива в значительной степени подвержена доюрским эрозионным процессам и перекрывается терригенными песчаными комплексами нижней юры. Стратиграфическое несогласие сопровождается мощной зоной базальной коры выветривания, погребенной под плинсбахскими отложениями. Древняя кора выветривания и базальный горизонт залегают на размытой поверхности серпентинитов и имеют значительную переменную мощность (3,0-80 м) (рис. 3).

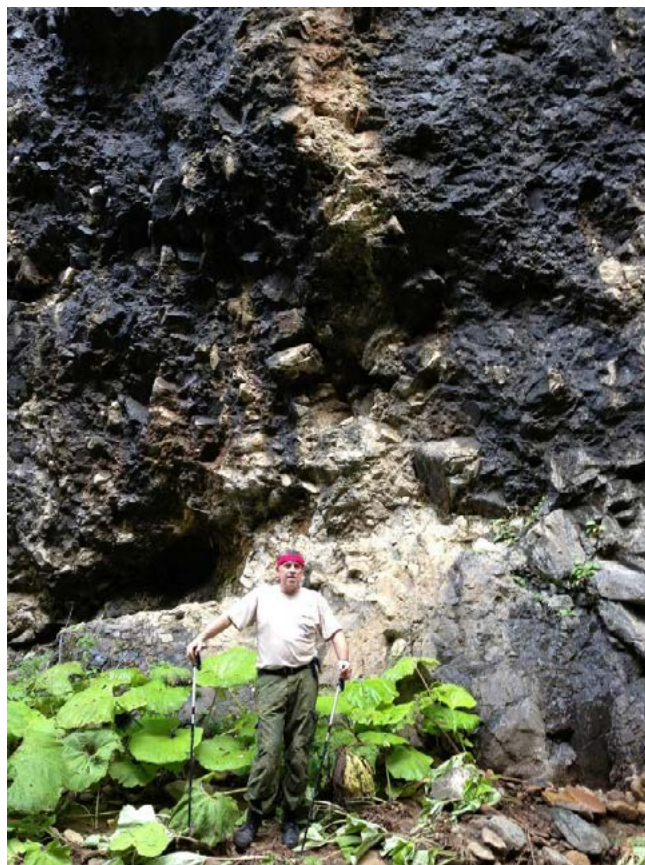


Рис. 3. Серпентинитовая конгло-брекчия. Верховья балки Мощевой, коры выветривания ультрабазитов на контакте с песчаниками нижней юры (контакт исследует А.А. Бурцев) / Fig. 3. Serpentine conglomere. Upper reaches of Moshcheva ravine, weathering crust of ultrabasic rocks at the contact with sandstones of the Lower Jurassic (the contact is investigated by A.A. Burtsev)

Химический состав Беденских ультрабазитов (табл. 1), при отсутствии глиноземистой составляющей, позволяет отнести их к альпинотипным разностям [Плошко, 1986].

Минералогическое изучение Беденского массива [Богуш и др., 2017; Плошко, 1986] не обнаружило в его пределах визуальных и микроскопических находок минералов платиновой группы. Минералы этой группы (платина, рутениридосмин) вместе с золотом найдены в аллювиальных отложениях рек Большой Лабы и Урупа, омывающих массив ультрабазитов [Богуш и др., 2016]. Эти пробы подтверждают перспективную рудоносность массива, и являются продуктами рудоносной коры выветривания Беденского массива, залегающей выше, на водоразделе [Богуш и др., 2016]. Исследования вещественного состава ультрабазитов показали близкое к кларковому содержание благородных металлов Au, Pt, Pd.

Таблица 1 / Table 1

Химический состав серпентинитов Беденского массива.

Данные: 1 – Е.А. Снежко, 2-4 – В.В. Плошко, 5-6 – Н.Д. Соболева / Chemical composition of serpentinites of the Beden massif. Data: 1 – E.A. Snezhko, 2-4 – V.V. Ploshko, 5-6 – N.D. Sobolev

Компоненты / Components	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	38,15	40,89	37,51	36,51	38,75	40,40
TiO ₂	0,03	0,02	0,05	–	–	0,09
Al ₂ O ₃	0,90	0,084	0,64	0,42	0,51	1,17
Fe ₂ O ₃	5,36	3,89	4,96	3,48	6,06	4,50
FeO	1,49	0,99	2,33	3,10	0,65	2,10
MnO	0,15	0,06	0,07	0,04	0,33	0,14
MgO	38,64	39,62	39,82	38,80	39,00	38,56
CaO	0,62	0,50	0,76	0,21	0,60	–
Na ₂ O	0,07	–	–	0,07	–	0,05
K ₂ O	0,03	–	–	–	–	0,11
П.п.п.	13,87					
Сумма / Sum	99,29	100,02	100,18	99,62	100,26	100,98
Cr ₂ O ₃	0,30	–	0,26	–	0,56	0,57
NiO	0,25	–	–	–	–	–
Количество проб / Number of samples	17	1	1	6	1	1

Исследования вещественного состава ультрабазитов показали близкое к кларковому содержание благородных металлов Au, Pt, Pd.

Малкинский ультрабазитовый массив

Малкинский ультрабазитовый массив наиболее изучен в настоящее время по причине его рудоносности и крупных размеров. Геологическое строение Малкинского массива наиболее полно отражено в монографии [Соболев, 1952] с использованием обобщающих работ [Герасимов, 1933; Сердюченко, 1935, 1949]. Далее в описание геологии и исторического развития массива использовались данные как выше приведенных авторов, так и поздние работы [Парады и др., 2011, 2018].

Серпентиниты Малкинского массива обнажены в ущелье реки Малки и ее притоках и вскрыты по вертикали на 500 метров. Выходы ультрабазитов вытянуты в субширотном направлении на 16 км, расширяясь по меридиану к западу и до 8 км выклиниваясь на восток в юрских отложениях в ущелье реки. Общая площадь эродированной поверхности массива, субгоризонтально перекрытой осадочными толщами юры и мела, достигает 510 км² [Богуш и др., 2016].

М.Ю. Маркин установил неоднородность Малкинского массива и выделил четыре разности ультраосновных пород: лерцолиты, апогарцбургиты, железистые апогарцбургиты и аподуниты.

Химический состав серпентинитов приведен в таблице 2. Анализируя химический состав Н.Д. Соболев отмечает исключительную «стерильность» ультрабазитов Малки, лишенных примесных элементов, чуждых ультрабазитовым породам.

Таблица 2 / Table 2

**Химический состав серпентинитов Малкинского массива /
Chemical composition of serpentinites of the Malkinsky massif**

Оксиды / Oxides	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	36,08	38,24	36,47	36,64	36,69	36,58	37,22
TiO ₂	Нет / No	Следы / Traces	Следы / Traces	Нет / No	Нет / No	Следы / Traces	Нет / No
Al ₂ O ₃	0,08	0,92	0,84	0,43	0,79	1,04	0,59
Cr ₂ O ₃	0,25	0,26	Следы / Traces	0,45	0,40	0,30	0,29
Fe ₂ O ₃	6,36	3,06	4,01	6,34	6,10	4,91	3,92
FeO	1,66	3,92	3,18	0,94	0,78	2,22	3,52
MnO	0,25	0,14	0,24	–	–	0,28	0,31
BaO	Нет / No	–	0,03	–	–	–	–
SrO	–	–	0,05	–	–	–	–
CaO	0,86	Следы / Traces	1,28	Нет / No	Нет / No	0,65	1,16
MgO	38,78	39,27	39,40	38,32	38,04	38,29	39,17
K ₂ O	–	0,03	0,3	–	–	Нет / No	Нет / No
Na ₂ O	–	–	0,07	0,08	0,10	0,13	–
P ₂ O ₅	–	–	0,03	–	–	Нет / No	–
CO ₂	Нет / No	0,56	–	–	–	–	–
H ₂ O+	14,19	11,96	–	–	–	14,14	11,88
H ₂ O-	0,90	1,14	0,87	1,77	2,27	1,08	1,02
П.п.п.	–	–	13,25	14,29	14,14	0,40	0,85
S	–	–	–	0,05	0,02	0,12	0,07
Сумма / Sum	99,40	99,43	99,92	99,58	99,60	100,14	100,30

Примечание: Анализы взяты из монографии Н.Д.Соболева [1952]. Анализы: 1 – Д.П. Сердюченко; 2 – Г.А. Крутова; 3 – А.П. Герасимова; 4-5 – С.И. Талдыкина; 6 – Н.Д. Соболева. / Note: The analyses are taken from the monograph by N.D. Sobolev [1952]. Analyses: 1 – D.P. Serdyuchenko; 2 – G.A. Krutov; 3 – A.P. Gerasimov; 4-5 – S.I. Taldykin; 6 – N.D. Sobolev.

Главным химическим элементом Малкинских серпентинитов выступает магний. Чистота химического состава и высокая магнезиальность Беденского (MgO = 38,56-39,83%) и Малкинского массива (MgO = 38,27-39,40%) позволяют рассматривать ультрабазиты в качестве промышленного химического сырья. Высоким содержанием магния отличаются ультрабазиты Большого Кавказа [Попов и др., 2021] и других регионов мира [Chai, Naldrett, 1992; Mungall, 2005]. Для серпентинитов показательно высокое содержание закисного и окисного железа, суммарно 7,5-8,0%. Столь же типоморфно присутствие марганца. Эти элементы легко окисляются в аэробной континентальной обстановке, а их оксиды легко разносятся водными потоками и дают специфические железисто-марганцовые осадки (анкериты, доломиты). Это обстоятельство послужило источником образования железных руд юрской коры выветривания ультрабазитов [Соболев, 1947; Цуладзе, 1951].

Благородные металлы и ультрабазиты

Геохимические исследования непосредственно серпентинитов в обнаженной части массива также не выявило аномальных содержаний платиноидов в самих серпентинитах (0,09 г/т) [Парада и др., 2011]. Аномально высокие содержания (Pt-0,272, Pd-0,116 г/т) были установлены лишь в двух пробах элювиально-делювиальных отложений серпентинитов [Плошко, 1986]. Эти результаты позволили сделать вывод о геохимических признаках платины Беденского массива ультрабазитов.

Наиболее ранние минералогические находки благородных металлов связаны с Беденским массивом ультрабазитов [Богущ и др., 2016]. Геохимические предпосылки потенциальной платиноносности ультрабазитов Северного Кавказа были показаны М.Ю. Маркиным [Парада и др., 2011] и С.Г. Парадой [Парада и др., 2011, 2014] на примерах Малкинского и Беденского серпентинитовых массивов в аномалиях продуктов их современного разрушения. Эти исследования подтвердили потенциальную первичную природу металлов в ультрабазитах [Богущ и др., 2016; Парада и др., 2011, 2014], при этом приоритетными продуцентами благородных металлов выделялись аподунитовые серпентиниты. Важным подтверждением потенциальной рудоносности ультрабазитов является наличие аномалий благородных металлов в экзогенных продуктах их разрушения. Фактическим доказательством благороднометалльной рудоносности ультрабазитов послужило открытие авторами рудоносной коры выветривания Беденского массива [Богущ и др., 2016].

Выводы

Рассматривая металлоносность ультрабазитов Северного Кавказа и их связь с благородными металлами можно сделать следующие выводы:

- 1) свежие, неизмененные серпентиниты в настоящее время не обнаруживают аномальные содержания благородных металлов, представляющих промышленный интерес;
- 2) насыщение серпентинитов благородными металлами проявляется при их экзогенной переработке в обогащенных продуктах их разрушения;
- 3) потенциально промышленными осадочными комплексами, состоящими из обогащенных продуктов разрушения серпентинитов, являются коры выветривания серпентинитов и осадочные черносланцевые толщи Северного Кавказа;
- 4) ультрабазитовая магма на Северном Кавказе послужила первичным глубинным источником благородных металлов в осадочных и метаморфогенных фанерозойских толщах Кавказа.

По функциональной принадлежности ультрабазитовая формация относится к рудогенерирующей (РГФ), рудообразующей (РОФ) и рудопрфилирующей (РПФ) формам. Коренные ультрабазиты не содержат в данный момент промышленно-ценных концентраций благородных металлов, но являются их первичным источником и донором на протяжении всего фанерозоя. Продукты экзогенного разрушения ультрабазитов (черносланцевые толщи и коры выветривания) обогащенные металлами образуют рудные объекты и аномальные скопления вторичных благородных металлов.

Литература

1. Афанасьев Г.Д., Карпушин В.М., Качурин В.Ф., Плошко В.В. Новые данные о геологии Беденского серпентинитового массива. (Сев. Кавказ). // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1971. – №7. – С. 3–25.
2. Безбородько Н.И. Змеевиковый пояс, его хромитовые руды и прилегающие породы в Майкопском округе Кубанской области. // Изв. Дон. Политехн. ун-та. – 1913. – №2. Отд. 2. – С. 1–102.
3. Богуш И.А., Черкашин В.И., Рябов Г.В., Абдуллаев М.Ш. Новый тип оруденения благородных металлов на Северном Кавказе. // ДАН. – 2016. – Т. 466. №2. – С. 193–195.
4. Богуш И.А., Рябов Г.В., Черкашин В.И. Центры и прогнозные ресурсы благородных металлов (Au, Pt, Pd) на Северном Кавказе. // Кол. монография «Современные проблемы геологии геофизики и геоэкологии Северного Кавказа». – Москва – 2017. – С. 20–32.
5. Герасимов А.П. К геологии Малкинского района. // Геология на фоне индустриализации. – 1933. – №7/9. – С. 24–26.
6. Каденский А.А. Магматическая геология Передового хребта Северо-Западного Кавказа – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 291 с.
7. Калганов М.И. Малкинское железорудное месторождение и перспективы его промышленного освоения. // Природные ресурсы Кабардинской АССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1946.
8. Кобилев А.Г. Серпентиниты бассейна р. Большой Лабы. // Изв. Новочеркас. Индустр. Ин-та. – 1939. – №5. – С. 41–48.
9. Курдюков А.А., Исаев В.С., Курдюкова З.И. Альпинотипные и базальтоидные гипербазиты Тырныауза. // Тез. докл. 5-й конф. по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. – Ессентуки. – 1980. – С. 97–98.
10. Медведкова А.А., Блинов Ю.И. К вопросу о геологии и петрохимии гипербазитов Тырныауза (Сев. Кавказ). // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1975. – №6. – С. 13–23.
11. Парада С.Г. Закономерности размещения цветных и благородных металлов в пределах Малкинского ультрабазитового массива (Кабардино-Балкарская республика). // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – Т. 8. №1. – С. 69–78.
12. Парада С.Г. Рудно-магматические системы медно-порфирового типа Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 129–147. DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011
13. Парада С.Г., Маркин М.Ю., Столяров В.В., Шишкалов И.Ю. Первые химикоаналитические данные о платиноносности Беденского серпентинитового массива (Карачаево-Черкесская Республика). // ДАН. – 2014. – Т. 454. №5. – С. 567–569.
14. Плошко В.В. Гипербазиты Карпато-Крымско-Кавказской складчатой области. – Киев: Наук. думка, 1986. – 192 с.
15. Попов Ю.В., Пустовит О.Е., Никулин А.Ю. Минеральный состав серпентинитов Кишинского массива (Большой Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. – С. 38–51.
16. Потапенко Ю.Я., Пруцкий Н.И. Офиолитовый конгломерат в среднем палеозое Передового хребта Северного Кавказа. // Докл. АН СССР, 1976. – Т. 228. №5. – С. 1179–1181.
17. Пэк А.В., Снежко Е.А. Особенности ультрабазитов Тырныауза. // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1980. – №10. – С. 46–55.
18. Сердюченко Д.П. Минералого-петрографический очерк серпентинитов р. Малки. Уч. Зап. – Ростов-на/Дону. – 1935. – Вып. 3.
19. Сердюченко Д.П. Дуниты Северного Кавказа. // Изв. АН СССР. Сер. Геол. – 1949. – №6.
20. Соболев Н.Д. Ультрабазиты Большого Кавказа. – М. – 1952. – 239 с.

21. Соболев Н.Д. Новые данные по Малкинскому серпентинитовому массиву и железным рудам коры выветривания. // ДАН СССР, 1947. – Т.5. №7.
222. Снежко Е.А. Петрохимические типы ультрабазитов Северного Кавказа и их структурная позиция. // Рукопись деп. В ВИНТИ. – М.: ВИНТИ, 1985. – Деп. Рук. № 7884–85. – 162 с.
23. Цуладзе Е.Э. Результаты геологоразведочных работ на Малкинском месторождении. // СОПС АН СССР. – 1951.
24. Alapieti T.T. Classification of the fennoscandian early paleoproterozoic (2,5-2,4 Ga) layered intrusions and related PGE deposits. // Platinum-group Elements – From Genesis to Beneficiation and Environmental Impact: Extended Abstr. Finland, Oulu, 2005. – pp. 21–24.
25. Beaudoin G., Laurent R., Ohnenstetter D. First report of platinum-group minerals at Sue lake, Labrador Trough, Quebec. // Canad. Mineral. – 1990. – Vol. 28. – pp. 409–418.
26. Boudreau A.E., McCallum I.S. Investigations of the Stillwater complex: Part III. The Picket Pin Pt/Pd deposit. // Economic Geology – 1986. – Vol. 81. – pp. 1953-1975.
27. Campbell I.H., Naldrett A.J., Barnes S.-J. A model for the origin of platinum-rich sulphide horizons in the Bushveld and Stillwater complexes. // Journal of Petrol. – 1983. – Vol. 24. – pp. 133-165.
28. Chai G., Naldrett A.J. Petrology and geochemistry of the Jinchuan ultramafic intrusion: Cumulate of a high-Mg basaltic magma. // Journal of Petrology. – 1992. – Vol. 33. – pp. 1-27.
29. Mulja T., Mitchell R.H. Platinum-group minerals and tellurides from the Geordie Lake intrusion. Coldwell complex, northwestern Ontario. // Canad. Mineral. – 1990. – Vol. 28. – pp. 489-501.
30. Mungall J.E. Magmatic geochemistry of the platinum-group elements. // Exploration for Platinum-Group Element Deposits. / Mineralogical Association of Canada. – 2005. – Vol. 35. – pp. 1-34.
31. Naldrett A.J. Platinum-group element deposits. // Platinum Group Elements: Mineralogy, Geology, Recovery. CIM S.V. 23. Montreal: Canad. Ins. of Mining and Metal. – 1981. – pp. 197-231.
32. Naldrett A.J., Duke J.M. Platinum metals in magmatic sulfide ores. // Science. – 1980. – Vol. 208. No.4451. – pp. 1417-1428.

References

1. Afanasev G.D., Karpushin V.M., Kachurin V.F., Ploshko V.V. New data on the geology of the Beden serpentinite massif. (North Caucasus). Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. geol. 1971. No.7. pp. 3–25. (In Russ.)
2. Bezborodko N.I. Serpentine belt, its chromite ores and adjacent rocks in the Maikop district of the Kuban region. Izvestiya of the Don Polytechnic Institute. 1913. No.2.Vol. 2. pp. 1–102. (In Russ.)
3. Bogush I.A., Cherkashin V.I., Ryabov G.V., Abdullaev M.Sh. A new type of mineralization of precious metals in the North Caucasus. Doklady Earth Sciences. 2016. Vol. 466. No. 2. pp. 193–195. (In Russ.)
4. Bogush I.A., Ryabov G.V., Cherkashin V.I. Centers and predicted resources of noble metals (Au, Pt, Pd) in the North Caucasus. Monograph, Modern Problems of Geology, Geophysics and Geoecology of the North Caucasus. Moscow. 2017. pp. 20–32. (In Russ.)
5. Gerasimov A.P. The geology of the Malka region. Geology against the background of industrialization. 1933. No. 7. Issue 9. pp. 24–26. (In Russ.)
6. Kadensky A.A. Magmatic geology of the Peredovoi ridge of the North-West Caucasus. Moscow. Academy of Sciences of the USSR, 1956. 291 p. (In Russ.)
7. Kalganov M.I. Malka iron ore deposit and prospects for its industrial development. Natural resources of the Kabardian ASSR. Moscow. Academy of Sciences of the USSR, 1946. (In Russ.)

8. Kobilev A.G. Serpentinities of the Big Laba river basin. *Izvestiya of Novocherkask Industrial Institute*. 1939. No. 5. P. 41–48. (In Russ.)
9. Kurdyukov A.A., Isaev V.S., Kurdyukova Z.I. Alpine and basaltoid hyperbasites of Tyrnyauz. In: Abstracts. of 5th conf. on geology and minerals of the North Caucasus. Essentuki. 1980. pp. 97–98. (In Russ.)
10. Medvedkova A.A., Blinov Yu.I. On the issue of geology and petrochemistry of Tyrnyauz hyperbasites (North Caucasus). *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. Geol.* No. 6. pp. 13–23. (In Russ.)
11. Parada S.G. Densityregularities of colored and noble metals in the borders of the Malkin ultrabasic massive (Kabardino-Balkar Republic). *Geology and Geophysics of Russian South*, 2018. Vol. 8. No.1. pp. 69–78. (In Russ.)
12. Parada S. G. Ore-magmatic systems of the copper-porphyry type of the Greater Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.3. pp. 129–147. DOI: 10.46698/VNC.2021.73.74.011 (in Russ.)
13. Parada S.G., Markin M.Yu., Stolyarov V.V., Shishkalov I.Yu. The first chemical analytical data on the platinum content of the Bedensk serpentinite massif (Karachay-Cherkess Republic). *Doklady Earth Sciences*. 2014. Vol. 454. No. 5. pp. 567–569. (In Russ.)
14. Ploshko V.V. Hyperbasites of the Carpathian-Crimean-Caucasian fold area. Kiev: Naukova dumka, 1986. 192 p. (In Russ.)
15. Popov Yu.V., Pustovit O.E., Nikulin A.Yu. Mineral composition of serpentinites of the Kishinskij protrusion (Greater Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.1. pp. 38–51. DOI: 10.46698/VNC.2021.91.98.004 (In Russ.)
16. Potapenko Yu.Ya., Prutskiy N.I. Ophiolite conglomerate in the Middle Paleozoic of the Peredovoi Ridge of the North Caucasus. *Doklady of the USSR Academy of Sciences*, 1976. Vol. 228. No. 5. pp. 1179–1181. (In Russ.)
17. Pek A.V., Snezhko E.A. Features of Tyrnyauz ultrabasic rocks. *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. geol.* 1980. No. 10. pp. 46–55. (In Russ.)
18. Serdyuchenko D.P. Mineralogical and petrographic sketch of serpentinites of the river Malka. *Proceedings. Rostov-on-Don*. 1935. Issue 3. (In Russ.)
19. Serdyuchenko D.P. Dunites of the North Caucasus. *Izvestiya of the Academy of Sciences of the USSR. Ser. geol.* 1949. No. 6. (In Russ.)
20. Sobolev N.D. Ultrabasic rocks of the Greater Caucasus. Moscow. 1952. 239 p. (In Russ.)
21. Sobolev N.D. New data on the Malka serpentinite massif and iron ores of the weathering crust. *Doklady of the USSR Academy of Sciences*, 1947. Vol. 5. No. 7. (In Russ.)
22. Snezhko E.A. Petrochemical types of ultrabasic rocks of the North Caucasus and their structural position. Deposited manuscript IN VINITI. Moscow. VINITI, 1985. No. 7884–85. 162 p. (In Russ.)
23. Tsuladze E.E. Exploration results at the Malkadeposit. SOPS AS USSR. 1951. (In Russ.)
24. Alapieti T.T. Classification of the fennoscandian early paleoproterozoic (2,5–2,4 Ga) layered intrusions and related PGE deposits. *Platinum-group Elements – From Genesis to Beneficiation and Environmental Impact: Extended Abstr. Finland, Oulu, 2005*. pp. 21–24.
25. Beaudoin G., Laurent R., Ohnenstetter D. First report of platinum-group minerals at Sue lake, Labrador Trough, Quebec. *Canad. Mineral*, 1990. Vol. 28. pp. 409–418.
26. Boudreau A.E., McCallum I.S. Investigations of the Stillwater complex: Part III. The Picket Pin Pt/Pd deposit. *Economic Geology*, 1986. Vol. 81. pp. 1953–1975.
27. Campbell I.H., Naldrett A.J., Barnes S.-J. A model for the origin of platinum-rich sulphide horizons in the Bushveld and Stillwater complexes. *Journal of*, 1983. Vol. 24. pp. 133–165.
28. Chai G., Naldrett A.J. Petrology and geochemistry of the Jinchuan ultramafic intrusion:

Cumulate of a high-Mg basaltic magma. *Journal of Petrology*, 1992. Vol. 33. pp. 1-27.

29. Mulja T., Mitchell R.H. Platinum-group minerals and tellurides from the Geordie Lake intrusion. Coldwell complex, northwestern Ontario. *Canad. Mineral*, 1990. Vol. 28. pp. 489-501.

30. Mungall J.E. Magmatic geochemistry of the platinum-group elements. *Exploration for Platinum-Group Element Deposits*. Mineralogical Association of Canada, 2005. Vol. 35. pp. 1-34.

31. Naldrett A.J. Platinum-group element deposits. *Platinum Group Elements: Mineralogy, Geology, Recovery*. CIM S.V. 23. Montreal: Canad. Inst. of Mining and Metal., 1981. pp. 197-231.

32. Naldrett A.J., Duke J.M. Platinum metals in magmatic sulfide ores. *Science*, 1980. Vol. 208. No.4451. pp. 1417-1428.

УДК 551

DOI: [10.46698/VNC.2021.20.28.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.20.28.003)

Оригинальная статья

Гравитационные аномалии, разломная тектоника и сейсмичность Терско-Каспийского прогиба

И.А. Керимов 

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, Россия, 123995, г. Москва,
Большая Грузинская ул., 10, e-mail: kerimov@ifz.ru

Статья поступила: 28.10.2021, доработана: 25.11.2021, одобрена в печать: 07.12.2021

Резюме: Актуальность работы. При изучении геологического строения глубокопогруженных нефтегазоперспективных горизонтов и изучении современной геодинамики Терско-Каспийского прогиба (ТКП) весьма актуальным является уточнение пространственного положения существующих и выделение новых разломных структур. Пространственное положение разломов устанавливается по комплексу геолого-геофизических критериев, причем геофизические признаки являются преобладающими. **Цель.** На основании карты аномалий силы тяжести масштаба 1:200 000 и карты магнитного поля масштабов 1:200 000 и 1:500 000 были созданы цифровые модели гравитационного и магнитного полей и составлена схема аномального гравитационного поля (Δg_a) западной части ТКП. Электронная база сейсмологической информации была составлена на основе сведений об исторических и инструментальных землетрясениях (1950–2020 гг.), а также макросейсмических данных. **Методы работы.** Трансформация исходного аномального гравитационного поля выполнена путем расчета вектора горизонтального градиента W_{sz} и третьей вертикальной производной W_{zzz} потенциала силы тяжести, с использованием компьютерной программы, реализующей метод F-аппроксимации, основанный на представлении потенциала аномального гравитационного и магнитного полей интегралом Фурье. Для анализа сейсмичности выполнен расчет сейсмической активности A_{10} по формуле Ю.В. Ризниченко с использованием компьютерной программы, реализующей способ суммирования с постоянной детальностью, основанный на суммировании числа землетрясений всех энергетических классов больше минимального представительного в фиксированной зоне осреднения. **Результаты работы и обсуждение.** По результатам обработки и интерпретации геофизических данных построена серия тематических карт по территории ТКП: карты вектора горизонтального градиента W_{sz} и третьей вертикальной производной W_{zzz} потенциала силы тяжести; карта сейсмической активности A_{10} . На основе анализа полученных данных с привлечением существующей геологической информации уточнено положение известных разломов и выделены новые, по итогам исследований составлена карта разломов западной части ТКП.

Ключевые слова: Гравитационные аномалии, F-аппроксимация, интерпретация, разломы, тектоника, сейсмичность, Терско-Каспийский прогиб.

Для цитирования: Керимов И.А. Гравитационные аномалии, разломная тектоника и сейсмичность Терско-Каспийского прогиба. *Геология и геофизика Юга России*. 2020. 11(4): 30–42. DOI: [10.46698/VNC.2021.20.28.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.20.28.003).

DOI: [10.46698/VNC.2021.20.28.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.20.28.003)

Original paper

Gravity anomalies, fault tectonics and seismicity of the Terek-Caspian trough

I.A. Kerimov 

Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10/1 B. Gruzinskaya Str.,
Moscow 123995, Russian Federation, e-mail: kerimov@ifz.ru

Received: 28.10.2021, revised: 25.11.2021, accepted: 07.12.2021

Abstract: Relevance. When studying the geological structure of deeply submerged oil and gas promising horizons and studying the modern geodynamics of the Terek-Caspian trough (TCT), it is very important to clarify the spatial position of the existing fault structures and identify new ones. To determine the spatial position of the faults, a set of geological and geophysical criteria is established, with geophysical features prevailing. **Aim.** Based on the gravity anomaly map of scale 1: 200,000 and magnetic field maps of scales 1: 200,000 and 1: 500,000, digital models of gravitational and magnetic fields were created and a diagram of the anomalous gravitational field (Δg_a) of the western part of the TCT was drawn. The electronic database of seismological information was compiled on the basis of information about historical and instrumental earthquakes (1950–2020), as well as macroseismic data. **Methods.** The transformation of the initial anomalous gravitational field is performed by calculating the horizontal gradient vector W_{sz} and the third vertical derivative W_{zzz} of the gravity potential using a computer program that implements the F-approximation method based on the representation of the potential of the anomalous gravitational and magnetic fields by the Fourier integral. To analyze the seismicity, the seismic activity A_{10} was calculated according to the formula of Yu.V. Riznichenko using a computer program that implements the summation method with constant detail, based on the summation of the number of earthquakes of all energy classes greater than the minimum representative in a fixed averaging zone. **Results and discussion.** Based on the results of processing and interpretation of geophysical data, a set of thematic maps was built for the TCT territory. This set includes maps of the horizontal gradient vector W_{sz} and the third vertical derivative W_{zzz} of the gravity potential; seismic activity map A_{10} . Based on the analysis of the data obtained with the involvement of existing geological information, the position of the known faults was clarified and new ones were identified, based on the results of the research, a map of the faults for the western part of the TCT was compiled.

Keywords: gravity anomalies, F-approximation, interpretation, faults, tectonics, seismicity, Terek-Caspian trough.

For citation: Kerimov I.A. Gravity Anomalies, Fault Tectonics and Seismicity of the Terek-Caspian Trough. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 30–42. DOI: [10.46698/VNC.2021.20.28.003](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.20.28.003).

Введение

Исследование разломной тектоники Терско-Каспийского прогиба (ТКП) имеет достаточно длительный характер и освещено в многочисленных работах [Крисюк и др., 1988; Сидоров, Кузьмин, 1989; Стерленко, Вобликов, 1991; Летавин и др., 1975; Черкашин и др., 2012; Шемпелев, 1982; и др.]. По данным этих исследований в пределах региона выделяется серия дизъюнктивов типа глубинных разломов, имеющих наряду с преобладающим субширотным (кавказским) направлением и субмеридиональное (антикавказское) простирание. Эти разломы отличаются протяженностью, глубиной проникновения в литосферу, временем пробуждения тектонической активности, проявлением в осадочном чехле, выраженностью в гео-

физических полях и пр. Как известно, с зонами распространения глубинных разломов связаны такие важнейшие геологические явления, как процессы складчатости, магматизм, седиментогенез, рельефообразование и т.д. Существенное влияние разломы, причем, это признается как сторонниками биогенного, так и приверженцами абиогенного происхождения углеводородов, оказывают на процессы миграции и аккумуляции нефти и газа. Следует иметь в виду, что глубинные разломы оказали решающее влияние не только на геоструктурные особенности палеозойского фундамента, но и на тектонический план платформенного чехла Предкавказья. Необходимо отметить также, что зоны глубинных разломов вследствие многократных подвижек отдельных блоков могут быть осложнены многочисленными поднятиями при- и надразломного характера, системой трещин, делающими толщи горных пород, благоприятными для миграции и аккумуляции углеводородов. Таким образом, для изучения геологического строения глубокопогруженных нефтегазоперспективных горизонтов исследуемого региона весьма важно выявление и трассирование зон разломов фундамента.

Глубинные разломы играют определяющую роль в современной геодинамике региона, влияют на пространственно-временные закономерности размещения гипоцентров и эпицентров землетрясений [Ананьин, 1977; Горшков, 1984; Джибладзе, 1980; Рогожин, 2017; Рогожин и др., 2013; и др.]. Информация о разломной тектонике служит одним из основных исходных материалов при детальном изучении сейсмической активности в целях детального сейсмического районирования и определения максимально возможных землетрясений [Рогожин и др., 2013; и др.].

Наиболее крупные из установленных разломов нашли отображение на тектонических схемах различных авторов, составленных как для отдельных регионов, так и для всего Предкавказья [Гиоргобиани, 2020; Сидоров, Кузьмин, 1989; Смирнова и др., 1967; Стерленко, Вобликов, 1991; Летавин и др., 1975; Черкашин и др., 2012; Шемпелев, 1982; и др.]. Однако, на разных картах местоположение, а зачастую и протяженность разломов различные, что требует их уточнения. Как известно, положение разломов устанавливается по комплексу геолого-геофизических критериев, причем геофизические признаки являются преобладающими.

Исходные материалы

В качестве основных исходных материалов для выявления разломов автором использовались карта аномалий силы тяжести масштаба 1:200 000 и карты магнитного поля масштабов 1:200 000 и 1:500 000. На основании этих данных были созданы цифровые модели гравитационного и магнитного полей. Аномальное гравитационное поле ТКП характеризуется отрицательными значениями силы тяжести (Δg_a). Оно относится к одноименной региональной области минимумов, включающей крупные аномальные зоны преимущественно кавказской ориентировки.

В северной части исследуемой территории расположена Притеречная зона монотонно убывающих к югу аномалий с субширотным простираанием изоаномал и небольшим (5–10 Е) горизонтальным градиентом гравитационного поля (W_{sz}). Она постепенно расширяется с запада на восток. Особенности данной зоны являются осложнения в виде изгибов или разрежение изоаномал на фоне общего понижения поля в южном направлении, а также относительно крупные в плане максимум на северо-западе и минимум на востоке. С юга Притеречная зона сочле-

няется с региональным минимумом, протягивающимся почти на 300 км в направлении с северо-запада на юго-восток и включающим ряд локальных минимумов Δg_a . Южнее указанного регионального минимума находится Терско-Сунженская зона, включающая две линейные зоны максимумов, разделяющиеся Алханчуртской зоной минимумов. В плане эти зоны совпадают соответственно с Терской и Сунженской антиклинальными зонами и Алханчуртской синклиналию. Юго-восточным окончанием Сунженской зоны максимумов является крупный Бенойский максимум, который глубоко вдается в пределы Чеченской зоны минимумов. От расположенного южнее Варандийского максимума эта аномалия отделена относительно пониженным полем. С юга к Сунженской зоне максимумов непосредственно примыкает обширная сложнопостроенная региональная зона минимумов, включающая Беслановский и Чеченский минимумы. Эта полоса минимумов протягивается с северо-запада на юго-восток на несколько сот километров. Чеченская зона минимумов с севера и юга обрамляется довольно широкой полосой повышенных значений Wsz (до 100 Е). С юга к указанной зоне минимумов примыкает зона относительных максимумов (шириной до 20 км), объединяющая две крупные локальные аномалии – Варандийскую на востоке и Датыхскую на западе, отличающиеся сложным характером. С юга Чеченскую зону минимумов обрамляет широкая зона высоких значений Wsz (до 100 Е) силы тяжести, соответствующая Черногорской моноклинальной зоне. Эта градиентная зона обусловлена резким погружением мезозойских пород в северном направлении и влиянием Черногорского глубинного разлома, ограничивающего с юга ТКП. Одной из основных причин, обуславливающих сложный характер аномального гравитационного поля региона, является разломная тектоника [Керимов, 2011; Шемпелев, 1982; Шемпелев и др., 2017; Чотчаев и др., 2020; Blinova et al., 2019; Derakhshani, Eslami, 2011; Kamto et al., 2021; Fofie et al., 2019; Hiramatsu et al., 2019; Pedrera et al., 2017; Sharma et al., 2018; Wang et al., 2019; Wu, Gao, 2019].

При изучении разломной тектоники ТКП в качестве исходной сейсмологической информации были использованы сведения об исторических и инструментальных землетрясениях (1950–2020 гг.), а также макросейсмические данные [Ананьин, 1977; Горшков, 1984; Джибладзе, 1980; Керимов, Бадаев, 2014; и др.]. На рисунке 1 приведена карта эпицентров исторических и инструментальных (период 1950–2020 гг.) землетрясений на территории ТКП. Территория ТКП отмечается высокой сейсмичностью. Здесь известны сильные землетрясения с $M \geq 5,0$, как правило, сопровождающиеся значительными разрушениями, с интенсивностью 5–6 баллов и более по шкале МСК – 64 [Ананьин, 1977; Горшков, 1984; Джибладзе, 1980; Керимов, Бадаев, 2014; Минерально-сырьевые ресурсы..., 2015; и др.].

По характеру сейсмичности территория ТКП разделяется на две неравные части: западную с малой плотностью эпицентров и восточную со значительно большей плотностью эпицентров. Главное значение в сейсмичности Кавказа принадлежит поперечным разломам, сгущения же эпицентров располагаются в зонах пересечения разломов. Так, в ТКП намечаются три зоны сгущения эпицентров: первая в зоне пересечения Цхинвальско-Казбекского, Датыхско-Ахловского, Пшекиш-Тырныаузского и Срединного разломов (сейсмические районы: Карабулак, Датых, Заманкул, Малгобек, Ахлово). Вторая и третья сейсмические зоны связаны с пересечениями Аргунского разлома диагональными: Бенойско-Эльдаровским и

Гудермесско-Моздокским разломами (сейсмические районы: Советское, Беной, Гудермес, Ведено).

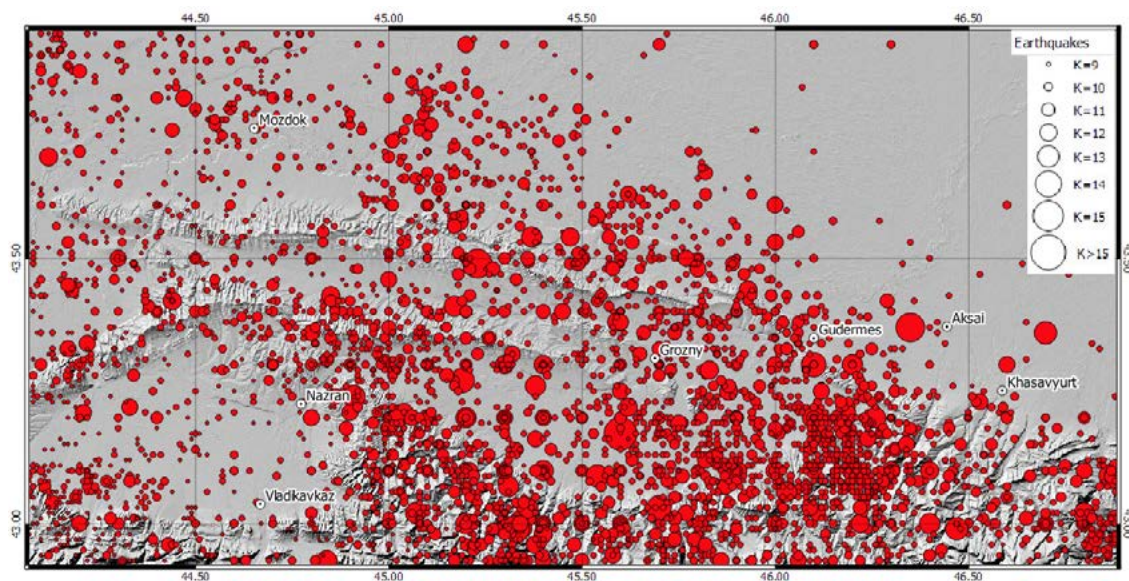


Рис. 1. Карта эпицентров исторических и инструментальных (1950–2020 гг.) землетрясений западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, С.В. Бадаев) /

Fig. 1. Map of the epicenters of historical and instrumental earthquakes (1950–2020) in the western part of the TCT (compiled by I.A. Kerimov, S.V. Badaev)

Методы исследований

В настоящее время существует большое количество методов интерпретации гравитационного поля, большинство из которых имеет различные ограничения. Использование аппроксимационного подхода к спектральному анализу, основанного на методе линейных интегральных представлений В.Н. Страхова, позволяет устранить недостатки традиционных методов интерпретации. Для потенциальных геофизических полей в качестве соответствующих линейных интегральных представлений были предложены следующие модификации [Керимов, 2011]:

- метод F-аппроксимации, основанный на представлении потенциалов аномального гравитационного и магнитного полей интегралом Фурье;
- метод S-аппроксимации, основанный на представлении потенциалов аномального гравитационного и магнитного полей суммой потенциалов простого и двойного слоев на заданной поверхности S.

Теория, алгоритмы и компьютерные технологии F-аппроксимации в настоящее время разработаны для решения большого числа геофизических задач. Результаты апробирования метода на различных модельных и фактических геофизических данных, заданных на нерегулярной сети, позволили сделать вывод о высокой точности восстановления поля путем F-аппроксимации. В последние годы в рамках дальнейшего развития метода линейных интегральных представлений активно разрабатываются комбинированные методы F-, S-, R-аппроксимаций при решении задач геофизики и геоморфологии.

Метод F-аппроксимации позволяет принципиально по-новому решать ряд вопросов трансформации потенциальных полей, заданных на нерегулярной сети (x_1, x_2, x_3) :

$$W_a(x) \quad x = (x_1, x_2, x_3) \quad (1)$$

В качестве основного метода трансформации исходного поля был использован метод расчета вектора горизонтального градиента W_{sz} и третьей вертикальной производной W_{zzz} потенциала силы тяжести. Ранее [Керимов, 2011] было получено выражение для первой вертикальной производной гравитационного потенциала для заданной произвольной по горизонтали и вертикали сети расчетных точек (ξ_1, ξ_2, ξ_3) :

$$W_z(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{3}{2\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{(2z_{k,l}^2 - 3p_{k,l}^2) \cdot z}{(z_{k,l}^2 + p_{k,l}^2)^{\frac{7}{2}}}, \quad (2)$$

где

λ_i – множители Лагранжа;

$$p_{k,l} = \sqrt{(x_{1,k} - \xi_{1,l})^2 + (x_{2,k} - \xi_{2,l})^2};$$

$$z_{k,l} = x_{3,k} + \xi_{3,l} + 2H.$$

Выражение для третьей вертикальной производной W_{zzz} потенциала силы тяжести на основе F-аппроксимации выглядит следующим образом:

$$W_{zzz}(\xi_{1,l}, \xi_{2,l}, \xi_{3,l}) = \frac{75}{\pi} \sum_{k=1}^N \lambda_k \frac{z_{k,l}(8z_{k,l}^4 - 40\rho_{k,l}^2 z_{k,l}^2 + 15\rho_{k,l}^4)}{(z_{k,l}^2 + \rho_{k,l}^2)^{5.5}} \quad (3)$$

Данное выражение позволяет находить пространственное распределение W_{zzz} на основе F-аппроксимации в заданной сети расчетных точек (ξ_1, ξ_2, ξ_3) . Расчеты W_{zzz} на модельных и фактических примерах показали более высокую эффективность и точность данного подхода по сравнению с существующими методами.

При детальном анализе сейсмичности в регионе наиболее информативными являются [Керимов, Бадаев, 2014; Рогожин и др., 2013]:

- данные о пространственном распределении эпицентров землетрясений;
- макросейсмические данные разрушительных землетрясений;
- площадное распределение сейсмической активности A_{10} .

Для расчета сейсмической активности A_{10} была использована формула Ризниченко Ю.В. (1964), которая при нормировании количества землетрясений на 1000 км² и за 1 год имеет следующий вид:

$$A_{10} = N_{\Sigma} \frac{1 - 10^{-\gamma}}{10^{\gamma(\min - 10)}} \cdot \frac{1000}{S \cdot T}, \quad (4)$$

где

N_{Σ} – число эпицентров землетрясений в зоне осреднения площадью S , приведенное к периоду T представительности землетрясений класса K_{min} ;

K_{min} – наименьший из представительных класс энергии;

S – площадь осреднения (км^2);

γ – наклон графика повторяемости.

Для расчета A_{10} была составлена компьютерная программа, реализующая способ суммирования с постоянной детальностью, основанный на суммировании числа землетрясений всех энергетических классов больше минимального представительного в фиксированной зоне осреднения. Как правило, при расчете сейсмической активности способом постоянной детальности территорию разбивают на прямоугольники или квадраты размером 10–20 км или 0,1–0,2° по широте и долготе. В пределах каждой зоны осреднения определяют общее число землетрясений разных энергетических классов N_{Σ} .

Результаты работы и их обсуждение

На рисунке 2 приведена карта W_{zzz} для западной части ТКП масштаба 1:200 000. Анализ данной карты свидетельствует о том, что в центральной части исследуемой территории преобладают интенсивные линейные субширотные аномалии, обусловленные Терской и Сунженской антиклинальными зонами. Северный платформенный борт ТКП характеризуется монотонно убывающим к северу полем W_{zzz} . Южная часть описываемого региона характеризуется большим количеством изометричных и разноориентированных аномалий W_{zzz} . В юго-восточной части выделяется достаточно крупная линейная аномалия антикавказского простираения.

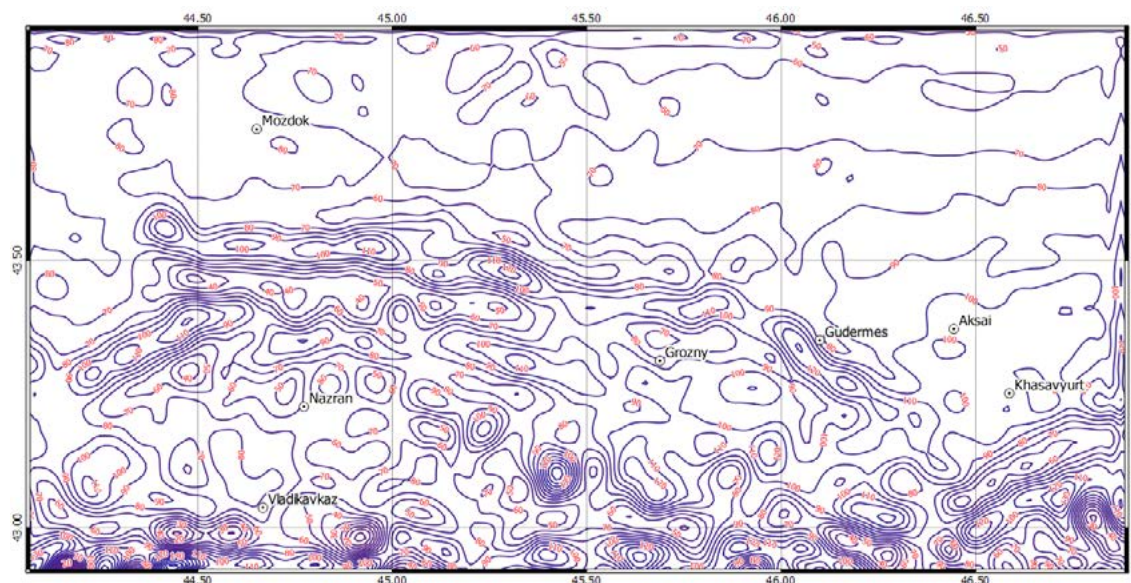


Рис. 2. Карта W_{zzz} западной части ТКП /
Fig. 2. W_{zzz} map of the western part of the TCT

Как показало моделирование аномального гравитационного поля системы разноориентированных разломов для их трассирования наиболее эффективно использование карт W_{sz} и W_{zzz} . В результате обработки аномалий силы тяжести (карта масштаба 1:200 000) были рассчитаны значения W_{sz} и W_{zzz} . По результатам расчетов были построены соответствующие карты W_{sz} и W_{zzz} масштаба 1:200 000 для территории ТКП. Анализ этих карт позволил сделать вывод, что на карте W_{sz} отображаются линейные тектонические дислокации различной ориентировки. Опи-

санные карты W_{sz} и W_{zzz} модуля горизонтального градиента силы тяжести, а также карты локальных и региональных аномалий силы тяжести были положены в основу при составлении карты разломов. Кроме этого были использованы карты магнитных аномалий. Для территории ТКП были установлены следующие критерии выделения разломов по гравимагнитным данным:

- на картах W_{sz} силы тяжести – линейные зоны повышенных значений;
- на картах W_{zzz} – линейно вытянутые максимумы и минимумы, линейные зоны смены знака локального поля, т.е. нулевые изоаномалы, зоны резкого изменения простираия локальных аномалий и зоны резкого изменения характера гравитационного поля, осложнения локального поля сдвигового характера, т.е. резкие сдвиги осей локальных максимумов (минимумов) относительно друг друга, торцевое сочленение аномалий и пр.
- на картах магнитных аномалий – линейные магнитные аномалии положительного знака, сгущение изолиний, резкая смена знака и простираия магнитных аномалий, изменение характера магнитных аномалий, осложнения сдвигового характера.

На рисунке 3 приведена карта сейсмической активности A_{10} .

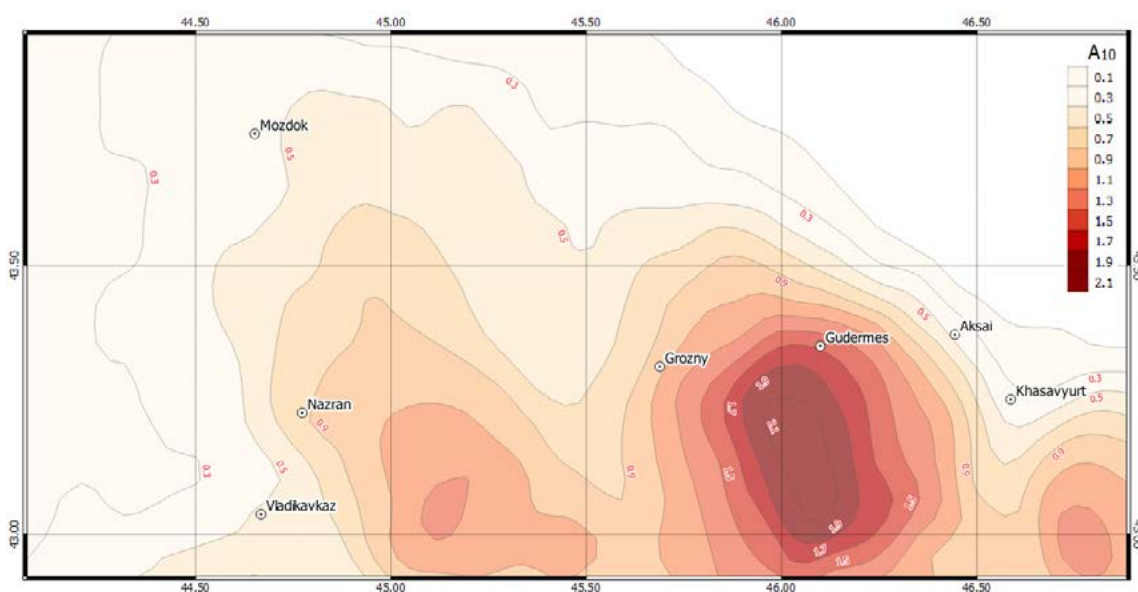


Рис. 3. Карта сейсмической активности A_{10} западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, С.В. Бадаев) /

Fig. 3. Map of seismic activity A_{10} of the western part of the TCT (compiled by I.A. Kerimov, S.V. Badaev)

По данным интерпретации геолого-геофизических данных уточнена система существующих и выделены новые разломы (рис. 4):

- Разломы субширотного (общекавказского) простираия (азимут 285–290°): Краевой, Терский, Сунженский и Черногорский.
- Разломы северо-западного простираия: Алагирский, Урухский, Даттыхско-Ахловский, Мартановский.
- Разломы северо-восточного (антикавказского) простираия: Черекский, Ардонский, Гизельдонский, Алкунский, Ассинский, Гехинский, Аргунский, Аксайский.
- Гудермесско-Кизлярская зона разломов: Кизлярский и Шелковской.

На рисунке 5 приведены результаты сопоставления поля W_{zzz} и системы разломов западной части ТКП. На рисунке 6 приведена карта разломов западной части ТКП с эпицентрами сильных исторических и инструментальных землетрясений.

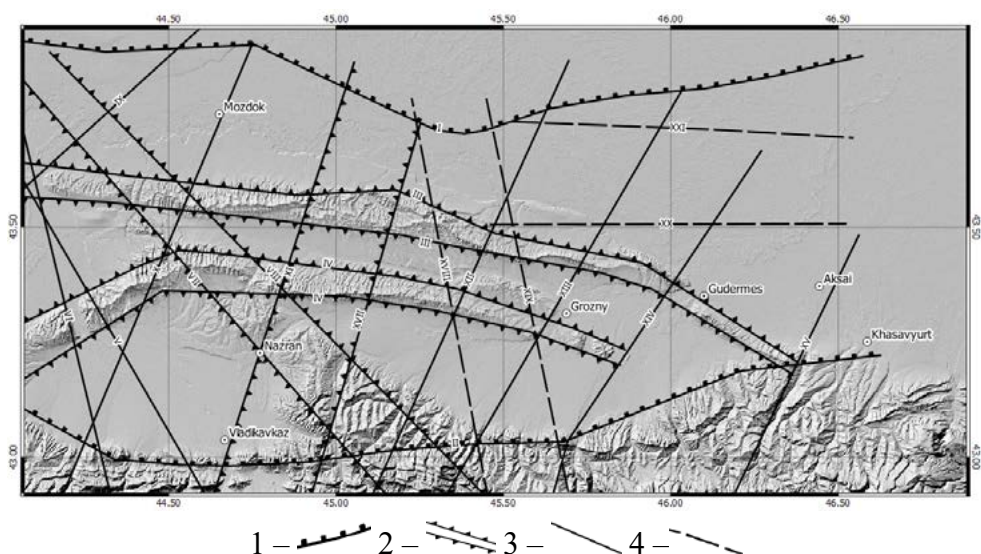


Рис. 4. Карта разломов западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, М.Я. Гайсумов, С.В. Бадаев)

Условные обозначения: 1 – разломы I порядка границы ТКП; 2 – разломы II порядка (шовные зоны); 3 – глубинные разломы; 4 – предполагаемые.

I – Краевой; II – Черногорский; III – Терский; IV – Сунженский; V – Урухский; VI – Алагирский; VII – Даттыхско-Ахловский; VIII – Мартановский; IX – Черекский; X – Ардонский; XI – Гизельдонский; XII – Ассинский; XIII – Гехинский; XIV – Аргунский; XV – Аксайский; XVI – Акташский; XVII – Алкунский; XVIII – Самашкинский; XIX – Гойтинский; XX – Шелковской; XXI – Кизлярский /

Fig. 4. Map of faults in the western part of the TCT (compiled by I.A. Kerimov, M.Ya. Gaisumov, S.V. Badaev)

Legend: 1 – faults of the first order of the TCT boundary; 2 – faults of the II order (suture zones); 3 – deep faults; 4 – assumed faults.

I – Kraevoi; II – Chernogorsk; III – Tersk; IV – Sunzhensk; V – Uruk; VI – Alagir; VII – Dattykh-Akhlov; VIII – Martan; IX – Cherek; X – Ardon; XI – Giseldon; XII – Assinsk; XIII – Gekhinsk; XIV – Argun; XV – Aksay; XVI – Aktash; XVII – Alkunsk; XVIII – Samashkinsk; XIX – Goytinsk; XX – Shelkovskaya; XXI – Kizlyar

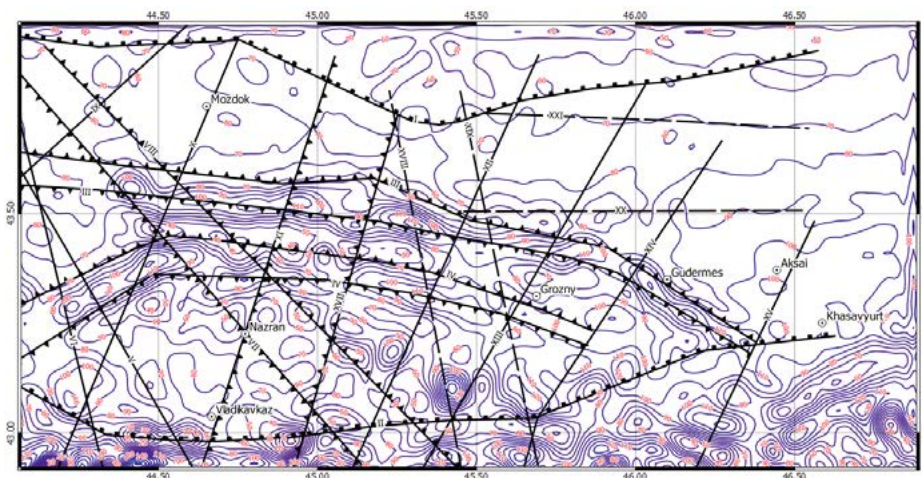


Рис. 5. Карта сопоставления W_{zzz} и разломов западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, С.В. Бадаев) /

Fig. 5. Map of comparison of W_{zzz} and faults in the western part of the TCT (compiled by I.A. Kerimov, S.V. Badaev)

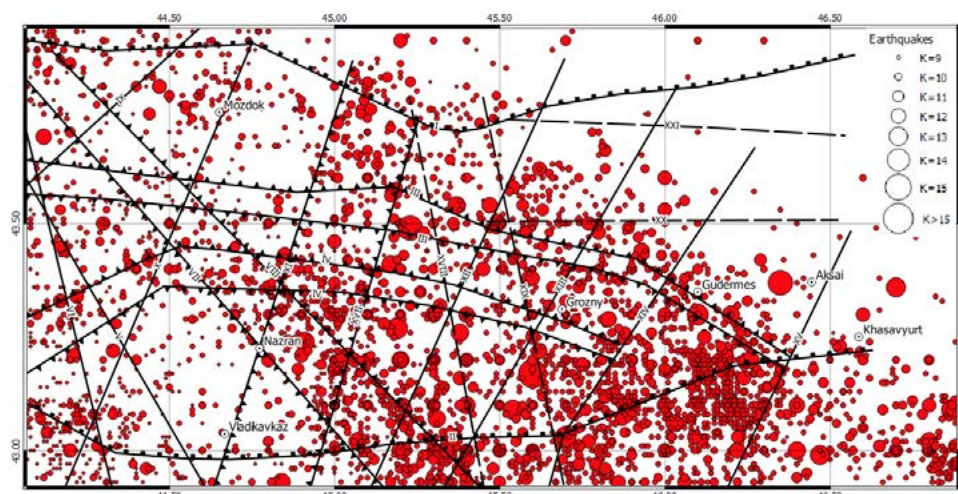


Рис. 6. Карта эпицентров инструментальных (1950–2020 гг.) землетрясений и разломов западной части ТКП (сост. И.А. Керимов, С.В. Бадаев) /

Fig. 6. Map of the epicenters of instrumental earthquakes (1950–2020) and faults in the western part of the TCT (compiled by I.A. Kerimov, S.V. Badaev)

Выводы

1. По данным интерпретации геолого-геофизических данных уточнена система существующих и выделены новые (Кизлярский и Шелковской) разломы.

2. Разломы общекавказского простирания (Краевой, Терский, Сунженский и Черногогорский) получили наиболее четкое отражение в геофизических полях и сейсмичности. По характеру новейшей активизации очень неоднородны, что создает впечатление локальности их распространения.

3. Наибольшая геодинамическая активность отмечается в зонах пересечений разломов различных ориентировок, отмечается группирование эпицентров землетрясений в пределах блоков земной коры, ограниченных разломами.

Литература

1. Ананьин И.В. Сейсмичность Северного Кавказа. – М.: Наука, 1977. – 148 с.
2. Горшков Г.П. Региональная сейсмоструктура территории юга СССР. Альпийский пояс. – М.: Наука, 1984. – 272 с.
3. Джибладзе Э.А. Энергия землетрясений, сейсмический режим и сейсмоструктурные движения Кавказа. – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – 255 с.
4. Гиоргобиани Т. В. Этапы, механизмы и геодинамика формирования складчатой системы Большого Кавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №1. – С. 35–42. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59063.
5. Керимов И.А. Метод F-аппроксимации при решении задач гравиметрии и магнитометрии. – М.: Физматлит, 2011. – 264 с.
6. Керимов И.А., Бадаев С.В. Сейсмичность и сейсмический режим территории Восточного Предкавказья. // Известия КБНЦ РАН. – 2014. – №1(57). – С. 38–45.
7. Крисюк И.М., Сазонов И.Г., Стерленко З.В. Роль разломов разных генераций в формировании скоплений углеводородов на территории Терско-Каспийского прогиба. // Геолого-геофизические проблемы поисков нефти. – М.: Наука, 1988. – С. 47–53.
8. Минерально-сырьевые ресурсы Чеченской Республики. / Под ред. Керимова И.А., Аксенова Е.М. – Грозный: Грозненский рабочий, 2015. – 512 с.

9. Рогожин Е.А. Тектоническая позиция, сеймотектонические, макросейсмические и сейсмологические проявления Курчалойского землетрясения 11 октября 2008 г. в Чеченской Республике. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2017. – Т. 7. №3. – С. 111–116.
10. Рогожин Е.А., Лутиков А.И., Овсяченко А.Н. Оценка сейсмической опасности Северного Кавказа в детальном масштабе. // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. – 2013. – №5. – С. 14–19.
11. Сидоров В.А., Кузьмин Ю.О. Современные движения земной коры осадочных бассейнов. – М.: Наука, 1989. – 183 с.
12. Смирнова М.Н., Станулис В.А., Яковлева Т.В. Рекомендации по дальнейшему направлению поисково-разведочных работ и новые данные о глубинном строении Терско-Каспийского прогиба. – Грозный: Грозненский рабочий, 1967. – 51 с.
13. Стерленко Ю.А., Вобликов Б.Г. Геодинамика, глубинные разломы и деструктивные поля Терско-Каспийского прогиба. // *Известия СКНЦ ВШ. Естественные науки*. – 1991. – №3. – С. 80–88.
14. Летавин А.И., Романов Ю.А., Савельева Л.М. и др. Тектоника Восточного Предкавказья. – М.: Наука, 1975. – 80 с.
15. Черкашин В.И., Сабанаев К.А., Гаврилов Ю.О., Панов Д.И. Тектоническая карта Дагестана в М 1:500 000. Объяснительная записка. – Махачкала: ИГ ДНЦ РАН, 2012. – 129 с.
16. Чотчаев Х. О., Бурдзиева О. Г., Заалишвили В. Б. Влияние геодинамических процессов на геологическое состояние высокогорных территорий. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2020. – Т. 10. №4. – С. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.
17. Шемпелев А.Г. Разломно-блоковая тектоника Северного Кавказа по геофизическим данным. // *Геологический журнал*. – 1982. – №4. – С. 97–108.
18. Шемпелев А.Г., Чотчаев Х.О., Кухмазов С.У. Данные глубинных геофизических исследований вдоль Чегемского профиля (Центральный блок, Большой Кавказ). // *Геология и геофизика Юга России*. – 2017. – Т. 7. №2. – С. 129–134.
19. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity region. // 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. – 2019. – V. 19. – pp. 813-820.
20. Derakhshani R., Eslami S. A new viewpoint for seismotectonic zoning. // *American Journal of Environmental Sciences*. – 2011. – Vol. 7. No.3. – pp. 212–218.
21. Fofie K.A.D., Koumetio F., Kenfack J.V., & Yemele D. Lineament characteristics using gravity data in the Garoua Zone, North Cameroon: Natural risks implications. // *Earth and Planetary Physics*. – 2019. – Vol. 3(1). – pp. 33-44. DOI:10.26464/epp2019009
22. Hiramatsu Y., Sawada A., Kobayashi W., Ishida S., & Hamada M. Gravity gradient tensor analysis to an active fault: a case study at the Togi-gawa Nangan fault, Noto Peninsula, central Japan. // *Earth Planets and Space*. – 2019. – Vol. 71(1). Article 107. DOI:10.1186/s40623-019-1088-5
23. Jordan T.A., & Watts A.B. Gravity anomalies, flexure and the elastic thickness structure of the India-Eurasia collisional system. // *Earth and Planetary Science Letters*. – 2005. – Vol. 236(3-4). – pp. 732-750. DOI:10.1016/j.epsl.2005.05.036
24. Kamto P.G., Lemotio W., Tokam A.-P.K., Yap L. Combination of Terrestrial and Satellite Gravity Data for the Characterization of the Southwestern Coastal Region of Cameroon: Appraisal for Hydrocarbon Exploration. // *International Journal of Geophysics*. – 2021. – Article ID 5554528. – 14 p.
25. Pedrera A., Garcia-Senz J., Ayala C., Ruiz-Constan A., Rodriguez-Fernandez L.R., Robador A., & Menendez L.G. Reconstruction of the Exhumed Mantle Across the North Iberian Margin by Crustal-Scale 3-D Gravity Inversion and Geological Cross Section. // *Tectonics*. – 2017. – Vol. 36(12). – pp. 3155-3177. DOI:10.1002/2017tc004716
26. Sharma S., Sarma J.N., & Baruah S. Dynamics of Mikir hills plateau and its vicinity:

inferences on Kopili and Bomdila faults in northeastern India through seismotectonics, gravity and magnetic anomalies. // *Annals of Geophysics*. – 2018. Vol. 61(3). Article Se338. DOI:10.4402/ag-7516

27. Wang X., Zhang J.F., Jiang W.L., & Wang D.H. Gravity field and deep seismogenic environment in the Longmen Shan and adjacent regions, Eastern Tibetan Plateau. // *Journal of Asian Earth Sciences*. – 2019. – Vol. 176. – pp. 79-87. DOI:10.1016/j.jseas.2019.02.003

28. Wu Y., & Gao Y. Gravity pattern in southeast margin of Tibetan Plateau and its implications to tectonics and large earthquakes. // *Earth and Planetary Physics*. – 2019. – Vol. 3(5). – pp. 425-434. DOI:10.26464/epp2019044

References

1. Ananin I.V. Seismicity of the North Caucasus. Moscow. Nauka, 1977. 148 p. (In Russ.)
2. Gorshkov G.P. Regional seismotectonics of the territory of the south of the USSR. Alpine belt. Moscow. Nauka, 1984. 272 p. (In Russ.)
3. Dzhibladze E.A. Energy of earthquakes, seismic regime and seismotectonic movements of the Caucasus. Tbilisi. Metsniereba, 1980. 255 p. (In Russ.)
4. Giorgobiani T.V. Stages, Mechanism and Geodynamics of Formation of the Folded System of the Greater Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10(1). pp. 35–42. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59063. (in Russ.)
5. Kerimov I.A. F-approximation method for solving problems of gravimetry and magnetometry. Moscow. Fizmatlit, 2011. 264 p. (In Russ.)
6. Kerimov I.A., Badaev S.V. Seismicity and seismic regime of the territory of the Eastern Ciscaucasia. *Izvestiya KBSC RAS*. 2014. No. 1. Issue 57. pp. 38–45. (In Russ.)
7. Krisyuk I.M., Sazonov I.G., Sterlenko Z.V. The role of faults of different generations in the formation of hydrocarbon accumulations in the Tersk-Caspian trough. Geological and geophysical problems of oil prospecting. Moscow. Nauka, 1988. pp. 47–53. (In Russ.)
8. Mineral resources of the Chechen Republic. Ed. I.A. Kerimov, E.M. Aksenov. Grozny. Grozny worker, 2015. 512 p.
9. Rogozhin E.A. Tectonic position, seismotectonic, makroseismic and seismic manifestations of the Kurchaloy earthquake 11 October 2008 in the Chechen Republic. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 7. No.3. pp. 111-116. (in Russ.)
10. Rogozhin E.A., Lutikov A.I., Ovsyuchenko A.N. Assessment of the seismic hazard of the North Caucasus on a detailed scale. *Earthquake Engineering. Constructions Safety*. 2013. No. 5. pp. 14–19. (In Russ.)
11. Sidorov V.A., Kuzmin Yu.O. Contemporary movements of the Earth's crust in sedimentary basins. Moscow. Nauka, 1989. 183 p. (In Russ.)
12. Smirnova M.N., Stanulis V.A., Yakovleva T.V. Recommendations for the further direction of prospecting and exploration work and new data on the deep structure of the Terek-Caspian trough. Grozny. Grozny worker, 1967. 51 p. (In Russ.)
13. Sterlenko Yu.A., Voblikov B.G. Geodynamics, deep faults and destructive fields of the Terek-Caspian trough. *Bulletin of Higher Education Institutes. Natural Sciences*. 1991. No. 3. pp. 80–88. (In Russ.)
14. Letavin A.I., Romanov Yu.A., Savelyeva L.M. et al. Tectonics of the Eastern Ciscaucasia. Moscow. Nauka, 1975. 80 p. (In Russ.)
15. Cherkashin V.I., Sabanaev K.A., Gavrillov Yu.O., Panov D.I. Tectonic map of Dagestan in Scale 1: 500 000. Explanatory note. Makhachkala: IG DSC RAS, 2012. 129 p. (In Russ.)
16. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geoecological 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.)
17. Shempelev A.G. Fault-block tectonics of the North Caucasus according to geophysical data. *Geological journal*. 1982. No. 4. pp. 97–108. (In Russ.)

18. Shempelev A.G., Chotchaev H.O., Khuhmazov S.U. Data of deep geophysical surveys along Chegem profile (central block, the Greater Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 7. No.3. pp. 129-134. (In Russ.)
19. Blinova T. Generalization of the features of the geodynamically unstable zones and their connection with the deep structure low seismic activity region. 19th International Multidisciplinary Scientific Geoconference SGEM. 2019. Vol. 19. pp. 813-820.
20. Derakhshani R., Eslami S. A new viewpoint for seismotectonic zoning. *American Journal of Environmental Sciences*. 2011. Vol. 7. No.3. pp. 212–218.
21. Fofie K.A.D., Koumetio F., Kenfack J.V., & Yemele D. Lineament characteristics using gravity data in the Garoua Zone, North Cameroon: Natural risks implications. *Earth and Planetary Physics*. 2019. Vol. 3(1). pp. 33-44. DOI:10.26464/epp2019009
22. Hiramatsu Y., Sawada A., Kobayashi W., Ishida S., & Hamada M. Gravity gradient tensor analysis to an active fault: a case study at the Togi-gawa Nangan fault, Noto Peninsula, central Japan. *Earth Planets and Space*. 2019. Vol. 71(1). Article 107. DOI:10.1186/s40623-019-1088-5
23. Jordan T.A., & Watts A.B. Gravity anomalies, flexure and the elastic thickness structure of the India-Eurasia collisional system. *Earth and Planetary Science Letters*. 2005. Vol. 236(3-4). pp. 732-750. DOI:10.1016/j.epsl.2005.05.036
24. Kamto P.G., Lemotio W., Tokam A.-P.K., Yap L. Combination of Terrestrial and Satellite Gravity Data for the Characterization of the Southwestern Coastal Region of Cameroon: Appraisal for Hydrocarbon Exploration. *International Journal of Geophysics*. 2021. Article ID 5554528. 14 p.
25. Pedrera A., Garcia-Senz J., Ayala C., Ruiz-Constan A., Rodriguez-Fernandez L.R., Robador A., & Menendez L.G. Reconstruction of the Exhumed Mantle Across the North Iberian Margin by Crustal-Scale 3-D Gravity Inversion and Geological Cross Section. *Tectonics*. 2017. Vol. 36(12). pp. 3155-3177. DOI:10.1002/2017tc004716
26. Sharma S., Sarma J.N., & Baruah S. Dynamics of Mikir hills plateau and its vicinity: inferences on Kopili and Bomdila faults in northeastern india through seismotectonics, gravity and magnetic anomalies. *Annals of Geophysics*. 2018. Vol. 61(3). Article Se338. DOI:10.4402/ag-7516
27. Wang X., Zhang J.F., Jiang W.L., & Wang D.H. Gravity field and deep seismogenic environment in the Longmen Shan and adjacent regions, Eastern Tibetan Plateau. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2019. Vol. 176. pp. 79-87. DOI:10.1016/j.jseaes.2019.02.003
28. Wu Y., & Gao Y. Gravity pattern in southeast margin of Tibetan Plateau and its implications to tectonics and large earthquakes. *Earth and Planetary Physics*. 2019. Vol. 3(5). pp. 425-434. DOI:10.26464/epp2019044

ГЕОТЕКТНИКА И ГЕОДИНАМИКА

УДК 551.24

DOI: [10.46698/VNC.2021.71.60.004](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.71.60.004)

Оригинальная статья

Оценка сейсмотектонического потенциала
блоков Восточного КавказаР.А. Магомедов , М.А. Мусаев 

Институт геологии Дагестанского федерального исследовательского центра РАН,
Россия, 367030, Республика Дагестан, г. Махачкала, ул. Ярагского, 75, e-mail:
ra-mag@yandex.ru

Статья поступила: 28.10.2021, доработана: 29.11.2021, одобрена в печать: 02.12.2021

Резюме: Актуальность работы. Восточный Кавказ является самым сейсмоактивным регионом европейской части России, в сферу повышенных сейсмических воздействий которого попадают крупные энергетические объекты Сулакского каскада ГЭС, высоковольтные линии электропередач, основные транспортные коммуникации, нефте- и газопроводы федерального и республиканского значения, аэро- и морской порты и крупные, разросшиеся города и поселки региона. Отсутствие исследований по проблеме оценки сейсмотектонической и геотектонической ситуации значительно ослабляет готовность региона к предупреждению обширных экологических и техногенных катастроф. Современные сейсмически активные зоны Восточного Кавказа в условиях позднеальпийского тектогенеза характеризуются иными геодинамическими и сейсмотектоническими условиями по сравнению с герцинской и киммерийской. Альпийский этап тектогенеза характеризуется значительным максимумом своей активизации, с которым связаны современные геодинамические и сейсмотектонические процессы и повышенная современная сейсмическая активность региона. Уровень сейсмотектонического потенциала, как сейсмического и геодинамического, является важнейшим показателем оценки степени сейсмической опасности. **Цель исследования.** Оценка уровня сейсмотектонического потенциала блоков земной коры северо-восточного сегмента Восточного Кавказа и выделение потенциальных зон ожидания возможных очагов сильных землетрясений региона (ВОЗ). **Методы исследования.** Анализ пространственно-временного распределения сейсмичности за инструментальный период наблюдений и экспертная оценка сейсмотектонического потенциала блоков земной коры по комплексу сейсмологических показателей, таких как мощность сейсмоактивного слоя, сейсмическая активность и наклон графика повторяемости землетрясений, максимальная отмеченная (наблюденная) магнитуда, период последней активизации и тектоническая активность. **Результаты исследования.** Закартировано в условных единицах изменение сейсмотектонического потенциала на исследуемой территории. Составлена схема зон возможных очагов землетрясений региона. Распределение гипоцентров сильных землетрясений демонстрирует расслоенность геологической среды региона. В интервале глубин, в среднем от 33 до 42 км, выделяется так называемая «зона молчания».

Ключевые слова: региональная геотектоника, сейсмотектонический потенциал, геодинамика, современная сейсмичность, сейсмическая активность, палеосейсмичность, очаг землетрясения, зона ВОЗ.

Для цитирования: Магомедов Р.А., Мусаев М.А. Оценка сейсмотектонического потенциала блоков Восточного Кавказа. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 43-57. DOI: 10.46698/VNC.2021.71.60.004.

[DOI: 10.46698/VNC.2021.71.60.004](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.71.60.004)

Original paper

Assessment of the seismotectonic potential of the East Caucasus blocks

R.A. Magomedov^{id}, M.A. Musaev^{id}

Institute of Geology, Dagestan Federal Research Center, Russian Academy of Sciences, Russia, 367030, Republic of Dagestan, Makhachkala, Yaragskogo str., 75,
e-mail: ra-mag@yandex.ru

Received: 28.10.2021, revised: 29.11.2021, accepted: 02.12.2021

Abstract: Relevance. The Eastern Caucasus is the most seismically active region of the European part of Russia, where large energy facilities of the Sulak cascade of hydroelectric power plants, high-voltage power lines, main transport communications, oil and gas pipelines of federal and republican significance, air and sea ports and large, sprawling cities and towns of the region fall into the sphere of increased seismic impacts. The lack of research on the problem of assessing the seismotectonic and geotectonic situation can lead to undesirable environmental consequences. Modern seismically active zones of the Eastern Caucasus in the conditions of Late Alpine tectogenesis are characterized by different geodynamic and seismotectonic conditions compared to the Hercynian and Cimmerian. The Alpine stage of tectogenesis is characterized by a significant maximum of its activation, which is associated with modern geodynamic and seismotectonic processes and increased modern seismic activity of the region. The level of seismotectonic potential, both seismic and geodynamic, is the most important indicator of assessing the degree of seismic danger. **Aim.** Assessment of the level of the seismotectonic potential of the crustal blocks of the north-eastern segment of the Eastern Caucasus and identification of potential waiting zones for possible foci of strong earthquakes in the region (PFE). **Methods.** Analysis of the spatiotemporal distribution of seismicity over the instrumental observation period and expert assessment of the seismotectonic potential of the Earth's crust blocks according to a set of seismological indicators, such as the power of the seismoactive layer, seismic activity and the slope of the earthquake recurrence graph, the maximum marked (observed) magnitude, the period of the last activation and tectonic activity. **Results.** The change in the seismotectonic potential in the studied territory is mapped in conventional units. A diagram of the zones of possible earthquake foci in the region has been compiled. The distribution of hypocenters of strong earthquakes demonstrates the stratification of the geological environment of the region. In the depth range, on average from 33 to 42 km, the so-called "zone of silence" is allocated.

Keywords: regional geotectonics, seismotectonic potential, geodynamics, modern seismicity, seismic activity, paleoseismicity, earthquake focus, PFE zone.

For citation: Magomedov R.A., Musaev M.A. Assessment of the seismotectonic potential of the East Caucasus blocks. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 43-57. DOI: 10.46698/VNC.2021.71.60.004.

Введение

В науках о Земле общепринятых терминов «геодинамический потенциал» и «сейсмотектонический потенциал» к настоящему времени нет. Терминологическая неопределенность характерна и для других направлений наук [Леонов, 2011]. Она серьезно осложняет работу исследователей и вносит большие издержки при исследовании научных проблем. Каждый исследователь вкладывает свой смысл в эти понятия. Мазур И.И. и Молдованов О.И. [Мазур и др., 1996] дают следующее определение геодинамического потенциала: «*Геодинамический потенциал геологической*

среды – вероятностный параметр, определяющий возможность возникновения и развития того или иного деградиционного процесса или их совокупности, которые могут произойти в случае нарушения под воздействием человека целостности земной коры или её почвенно-растительного слоя, изменения гидрологического режима рек и т.д.».

Данное определение, как нам представляется, не дает полной характеристики потенциальной энергии, заключенной в конкретной структуре геосреды.

Поскольку геодинамический потенциал характеризует энергию среды (энергетический показатель), под «*геодинамическим потенциалом*» конкретной структуры геосреды нами подразумевается вся энергия, заключенная в ней не только на атомарном (вещественном) уровне, но и запасенная геотектоническая (генетически обретенная в процессе длительного литогенеза и в процессе истории его геологического развития), а также – накопленная в результате современных геодинамических и геотектонических процессов. Каждый блок земной коры имеет свой уровень геодинамического потенциала, зависящий от литолого-структурного строения, вещественного состава, геолого-геофизических условий и истории его геологического развития. Запасенная потенциальная энергия может вырваться в зависимости от разных причин: от снятия литостатического давления в результате экзогенных геологических процессов (эрозия, размыв и т.д.) с «расконсервацией» генетически обретенных и накопленных в современный период геонапряжений; в результате тектонических подвижек; физико-химических процессов в самой геологической среде (фазовых переходов в минералах на большой глубине при больших р-Т-условиях со скачкообразным изменением упругих и прочностных характеристик и т.д.). Чем больше размер блока, тем больше и заключенная в нем энергия. Однако, при оценке потенциальной тектонической энергии в любом регионе, следует учитывать, что раздробленная (дезинтегрированная) геологическая среда в межблоковых зонах, в условиях постоянного тектонического стресса, не может копить энергию выше энергии на пределе прочности горной породы цельного блока. Эта энергия будет расходоваться (в виде слабых сейсмических событий и тектонического крипа) в процессе ее накопления, не доходя до уровня на пределе прочности горной породы цельного блока.

Есть определение *сейсмического потенциала* [Рейснер, Рогожин, 2002] под которым понимается максимальная энергия, которую способны выделять землетрясения, уже произошедшие или ожидаемые в будущем в пределах того или иного участка земной коры. Эту характеристику авторы [Рейснер, Рогожин, 2002] предлагают оценивать в единицах магнитуды и, выдвигается универсальная методика выявления M_{max} для территории практически любого тектонического строения, обеспеченного необходимыми исходными геолого-геофизическими данными. Более того, они предлагают прогнозирование сейсмического потенциала в разных масштабах – на локальном, региональном, континентальном и любом промежуточном между ними уровнях. Оно реализуется на базе разработанного в Институте физики Земли РАН внерегионального сейсмотектонического метода [Рейснер и др., 1998]. Он представляет собой разновидность метода аналогий, в соответствии с которым предполагается, что одинаковые геолого-геофизические условия в земной коре могут характеризоваться одинаковым уровнем потенциальной максимальной сейсмической энергии (M_{max}). Однако, следует учитывать, что степень изученности разных регионов к настоящему времени, не одинаковая

[Заалишвили и др., 2011; Imaeva et al., 2017; Bornyakov et al., 2012; McClusky et al., 2000; Zaalishvili, Rogozhin, 2011; Чотчаев и др., 2020] и, в качестве исходных данных использованы признаки, характеризующие современное строение и состояние земной коры и не учитывается запасенная геотектоническая (генетически обретенная в процессе длительного литогенеза и в процессе истории его геологического развития) энергия. Естественно, для характеристики сейсмического процесса в земной коре набор исходных данных о современном строении и состоянии земной коры является исчерпывающим, поскольку многие другие параметры невозможно использовать из-за их неполноты.

В настоящей работе сделана попытка оценки «сейсмотектонического потенциала» блоков Восточного Кавказа, на наш взгляд, в наибольшей степени, характеризующего его содержание. Уровень сейсмотектонического потенциала, как сейсмического и геодинамического, является важнейшим показателем оценки степени сейсмической опасности.

Материал и методы исследования

Ранее [Магомедов, 2021; Magomedov, 2021], оценка геодинамического потенциала блоков Восточного Кавказа нами проводилась, в основном, по геологическим критериям, таким как мощность земной коры, протяженность дизъюнктивных зон фундамента и осадочного чехла, наличие признаков палеосейсмичности и тектоническая активность. В данной работе оценка сейсмотектонического потенциала проведена на основе сейсмологических критериев: мощности сейсмоактивного слоя (h_s), сейсмической активности (A_{10}) и наклоне графика повторяемости землетрясений, максимальной отмеченной (наблюдаемой) магнитуде (M_{max}), периоде последней активизации (τ) и тектонической активности (a_t). К оценке величины сейсмотектонического потенциала привлечены все те данные, которые, как нам представляется, ответственны за накопление сейсмической энергии в земной коре. Уровень сейсмотектонического потенциала устанавливается по комплексу вышеприведенных показателей. Каждый показатель градуирован с условным весом, определенным экспертным путем (от 0 до 1) и учтен в суммарной оценке. Приведенный набор показателей является, как нам представляется, практически исчерпывающим на сегодняшний день, поскольку многие другие показатели (в частности, количественные характеристики тангенциальных тектонических напряжений, согласно существующей схеме разломно-блоковой структуры региона; скорость их современных движений; литолого-стратиграфическая характеристика с вещественным составом и определением предела прочности горных пород в конкретных геолого-геофизических условиях и т.д.) невозможно использовать из-за их неполноты. Правда, в последние годы предприняты попытки оценки «геодинамического потенциала» геологической структуры с учетом энергии, заключенной в ней на вещественном уровне [Тишкин, 2006]. Однако эта тема, в настоящее время остается дискуссионной.

Таким образом, сейсмотектонический потенциал (S_p) блоков Восточного Кавказа представляется как функция, зависящая от вышеприведенных показателей:

$$S_p = f(h_s, A_{10}, M_{max}, \tau, a_t) \quad (1)$$

При оценке сейсмотектонического потенциала приняты допущения:

1. Вертикальные и горизонтальные размеры блоков примерно одинаковые.

2. Блоки, на данный момент, изучены примерно с одинаковой полнотой.

Сейсмотектонический потенциал блока является величиной непостоянной в исторической и геологической перспективе.

В результате проведенных исследований удалось закартировать в условных единицах изменение сейсмотектонического потенциала на исследуемой территории. Наложив карту разломно-блоковой тектоники региона на карту сейсмотектонического и геодинамического потенциалов, можно проградировать предварительно выделенные квазиоднородные блоки и линеаменты региона, используя зарегистрированную и известную уже сейсмичность. Таким способом получается карта прогнозных зон возникновения землетрясений (ВОЗ). Обоснование размера, ориентировки блоков (рис. 1) и выбор представительной магнитуды для региона приводятся в наших исследованиях, посвященных геодинамическому потенциалу блоков Восточного Кавказа [Magomedov, 2021].

Результаты работы и их обсуждение

Мощность сейсмоактивного слоя (h_s). Распределение гипоцентров землетрясений по глубинам является важной характеристикой сейсмического режима региона. Оно дает сведения о сейсмоактивном слое и его глубине залегания. Для целей нашей работы показатель «мощность сейсмоактивного слоя» градуирован с условным весом от 0 до 1: максимальной мощности ($h = 54$ км) сейсмоактивного слоя присвоена – 1; при отсутствии очага в блоке – 0; при 0,5 h (27 ± 5 км) – 0,5; при 0,75 h (40 ± 5 км) – 0,8; при 0,25 h (13 ± 2 км) – 0,3; менее 0,12 h (≤ 10 км) – 0,1. Результаты градуировки приведены в таблице 1.

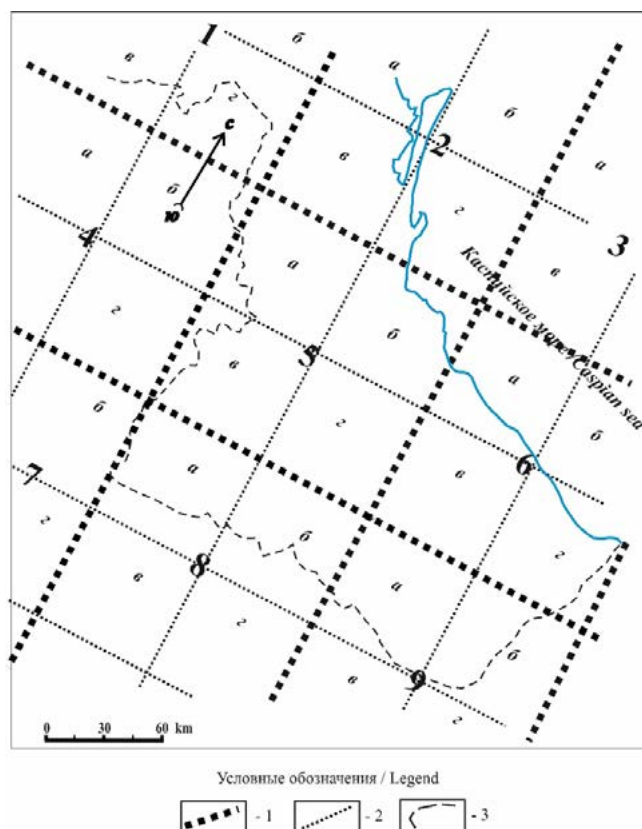


Рис. 1. Квазиоднородные блоки земной коры в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа [Magomedov, 2021]

1 – границы блоков местного порядка (в середине блока – его номер). 2 – границы блоков наименьшего порядка (в середине блока – его буквенное обозначение). 3 – граница республики. / Fig. 1. Quasi-homogeneous blocks of the Earth's crust in the north-eastern segment of the Eastern Caucasus [Magomedov, 2021].

1 – the boundaries of the local order blocks (in the middle of the block – its number). 2 – the boundaries of the blocks of the smallest order (in the middle of the block – its letter designation). 3 – the border of the republic.

Таблица 1 / Table 1

**Оценка условного веса геодинамических блоков по мощности
сейсмоактивного слоя /**
**Estimation of the conditional weight of geodynamic blocks by the thickness
of the seismoactive layer**

Геодинамические блоки / Geodynamic blocks		Мощность сейсмоактивного слоя, h (км) / Thickness of the seismoactive layer	Условная единица / Conventional unit
1	<i>a</i>	0	0
	<i>б</i>	0	0
	<i>в</i>	0	0
	<i>г</i>	0	0
2	<i>a</i>	0	0
	<i>б</i>	0	0
	<i>в</i>	0	0
	<i>г</i>	5	0,1
3	<i>a</i>	0	0
	<i>б</i>	0	0
	<i>в</i>	5	0,1
	<i>г</i>	5	0,1
4	<i>a</i>	5	0,1
	<i>б</i>	22	0,5
	<i>в</i>	10	0,1
	<i>г</i>	15	0,3
5	<i>a</i>	54	1
	<i>б</i>	12	0,3
	<i>в</i>	8	0,1
	<i>г</i>	53	1
6	<i>a</i>	23	0,5
	<i>б</i>	35	0,8
	<i>в</i>	17	0,3
	<i>г</i>	37	0,8
7	<i>a</i>	0	0
	<i>б</i>	0	0
	<i>в</i>	0	0
	<i>г</i>	0	0
8	<i>a</i>	40	0,8
	<i>б</i>	15	0,3
	<i>в</i>	18	0,3
	<i>г</i>	5	0,1
9	<i>a</i>	0	0
	<i>б</i>	10	0,1
	<i>в</i>	5	0,1
	<i>г</i>	10	0,1

Примечание: мощность сейсмоактивного слоя в блоке с одиночным и на одинаковом уровне очагами принимается за 5 км. При анализе использованы сейсмические события с M более 4.6. /
 Note: the power of the seismically active layer in a block with single and at the same level foci is taken as 5 km. The analysis uses seismic events with a M greater than 4.6.

Сейсмическая активность (A_{10}). Для вычисления A_{10} использовались вышеупомянутые каталоги землетрясений за период 1970–2020 гг. Рассмотренный каталог землетрясений характеризуется уровнем представительности энергетического класса $K_{\min} = 7$ за последние десять лет и $K_{\min} = 8$ – за более ранние десятилетия.

На территории исследуемого района за указанный период зарегистрировано порядка 11200 землетрясений с энергетическим классом $K \geq 8$, из них 189 – сильных землетрясений с классом $K \geq 12$ и 608 – с $K \geq 11$. Перед вычислением сейсмической активности использованный каталог землетрясений был очищен от афтершоков. Выделение афтершоков из каталога осуществлялось с использованием компьютерной программы AftIdent, составленной и любезно предоставленной нам д. ф.-м. н., заведующим кафедрой физики Земли физического факультета МГУ В.Б. Смирновым.

Для построения карты сейсмической активности A_{10} исследуемая территория была разбита на равные прямоугольные площадки размером $0,4^\circ$ по широте и $0,6^\circ$ по долготе (размеры площадки примерно $45'50$ км). Значение сейсмической активности A_{10} вычислялось по известной формуле [Арефьев и др., 1980; Бунэ, 1965; Бунэ и др., 1960; Мусаев, 2020; Ризниченко, 1979]:

$$A_{10} = \frac{S_0 \cdot T_0}{S \cdot T} \cdot \frac{\sum_{K_{\min}}^{K_{\max}} 10^{\gamma(K-10)} \cdot N_K}{K_{\max} - K_{\min} + 1} \quad (2)$$

где γ – наклон графика повторяемости (в нашем случае: $\gamma = 0,51$); S_0 – единица нормирования по площади ($S_0 = 1000 \text{ км}^2$); T_0 – единица времени ($T_0 = 1$ год); S – площадь выбранных площадок (в нашем случае: $S = 2250 \text{ км}^2$); T – период наблюдения землетрясений (в нашем случае: $T = 51$ год).

Для каждой площадки находилось N_K – число землетрясений энергетического класса K , где $K = \lg E$, (E – энергия землетрясения в Дж), произошедших на этой площадке за период наблюдения и проводилось суммирование от минимального энергетического класса $K_{\min}$ до максимального $K_{\max}$ по формуле (2). Расчет карты сейсмической активности по формуле (2) проводился с помощью программы, разработанной нами на Delphi. Вычисленное значение A_{10} приписывалось центру вышеуказанных площадок. Для определения значений сейсмической активности каждого блока региона произведено наложение и совмещение построенной карты A_{10} со схемой геодинамических блоков (рис. 2).

На полученной, таким образом, схеме видно, что наиболее сейсмически активная зона расположена в центральной части исследуемой территории, где значение активности достигает $A_{10} = 1,96$. Переход A_{10} к условным единицам (от 0 до 1) произведено экспертным путем: максимальному значению A_{10} (1,96) присвоена – 1; минимальному значению и при отсутствии информации по блоку – 0; при значении A_{10} в блоках от 0,50 до 1,00 – 0,7; при значении от 0,36 до 0,49 – 0,5; при значении от 0,02 до 0,35 – 0,3. Результаты перевода A_{10} в условные единицы приведены в таблице суммарной оценки сеймотектонического потенциала (табл. 3).

Максимальная отмеченная (наблюденная) магнитуда ($M_{\max}$) определена по результатам анализа общего каталога землетрясений ЕГС РАН и ее Дагестанского отделения. Максимальный условный вес придан сейсмическому событию в блоке с M

$\geq 6,6 - 1$, с $M = 6-6,5 - 0,9$, $M = 5,5-5,9 - 0,8$, $M = 4,5-5,4 - 0,7$, $M = 3,8-4,4 - 0,5$, $M < 3,8 - 0,1$. Результаты оценки приведены в таблице 3.

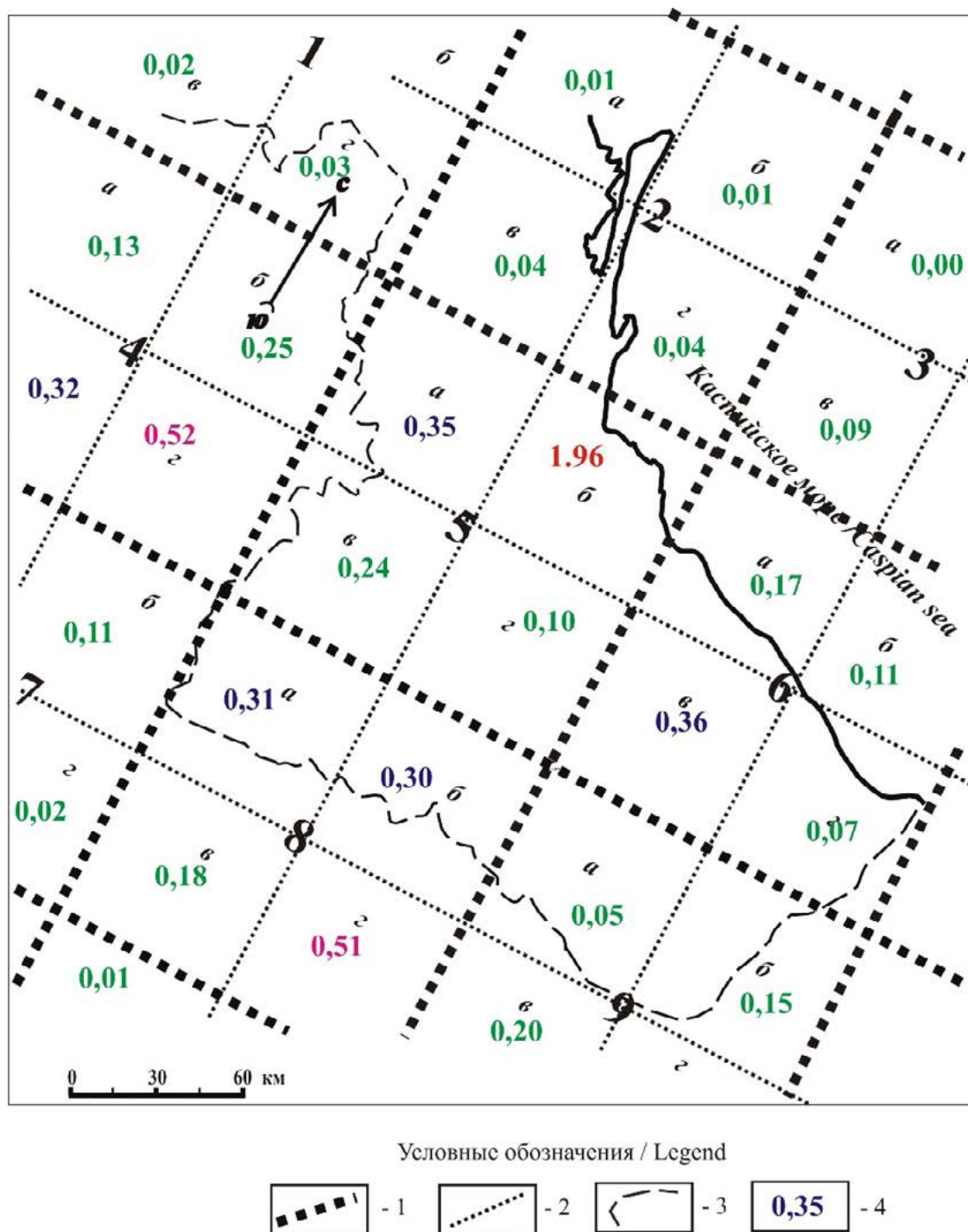


Рис. 2. Карта сейсмической активности (A_{10}) блоков С-В сегмента Восточного Кавказа.

1 – границы блоков местного порядка (в середине блока – его номер). 2 – границы блоков наименьшего порядка (в середине блока – его буквенное обозначение). 3 – граница республики. 4 – сейсмическая активность /

Fig. 2. Map of seismic activity (A_{10}) of blocks N-E of the Eastern Caucasus segment.

1 – the boundaries of the local order blocks (in the middle of the block – its number). 2 – the boundaries of the blocks of the smallest order (in the middle of the block – its letter designation). 3 – the border of the republic. 4 – seismic activity

Период последней активизации (τ) определялся по каталогу исторических землетрясений. Макросейсмические данные о сильных землетрясениях Дагестана имеются с VII века нашей эры [Левкович и др., 1977]. В доинструментальный период (VII-XIX вв.) имеются сведения о 18 землетрясениях, весьма существенно отличающихся по своей информативности. Оценка условного веса по периоду последней активизации (по результатам анализа каталога исторических землетрясений) приведена в таблице 3. Максимальная условная единица – 1 придана сильному сейсмическому событию в блоке XVIII-XIX вв., XVII века – 0,5, с VII по XIII вв. – по 0,1.

Тектоническая активность (a_t). Оценка тектонической активности блоков в неогеновый и четвертичный периоды геологического развития производился также в условных единицах. Для целей определения сейсмотектонического потенциала блоков и определения потенциальных зон ВОЗ современная и историческая активность имеет наибольшее значение и условный вес по сравнению с общей четвертичной и новейшей активностью (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Тектоническая активность блоков различных порядков в неотектонический и четвертичный периоды геологического развития /
Tectonic activity of blocks of various orders in the neotectonic and Quaternary periods of geological development

Четвертичный период / Quaternary period	Современная активность (последние 100 лет) / Modern activity (last 100 years)	1 (макс.)
	Историческая активность (от 100 до 6000 лет) / Historical activity (from 100 to 6000 years)	0,7
	Четвертичная активность (до 1,8 млн лет) / Quaternary activity (up to 1.8 Ma)	0,2
Неогеновый период / Neogene Period	Новейшая активность (последние 25–35 млн лет) / Recent activity (last 25-35 million years)	0,1

Анализ современной активности показывает, что за последние 100 лет самым активным являлся блок 5б, которому присвоена и максимальное значение – 1.

Исторически активным блокам присвоены по 0,7 условных единиц. Наиболее исторически сейсмоактивными оказались блоки 5(а) и 6(з), где произошли сильные сейсмические события с магнитудами от 5 и выше.

Четвертичная и новейшая активность подтверждается многими авторитетными геологами и не подлежит сомнению. Всем остальным блокам Восточного Кавказа присвоены по 0,2+0,1 условных единиц.

Суммарная оценка сейсмотектонического потенциала показала что, наибольший условный вес имеют блоки – 5(а,б), 6в, 8а и 9б (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

**Суммарная оценка сеймотектонического потенциала блоков С-В сегмента Восточного Кавказа (в условных единицах) /
Summary assessment of the seismotectonic potential of blocks N-E of the Eastern Caucasus segment (in conventional units)**

Геодинамические блоки / Geodynamic blocks	Показатели сеймотектонического потенциала / Indicators of the seismotectonic potential					Суммарная оценка, усл. ед. / Total assessment, conventional units
	Мощность сейсмоактивного слоя, h / Thickness of the seismically active layer	Сейсмическая активность, A_{10} / Seismic activity	Максимальная отмеченная (наблюденная) магнитуда (M) / Maximum noted (observed) magnitude	Период последней активизации (τ) / Period of last activation	Тектоническая активность (a_t) / Tectonic activity	
1	a	0	0	0	0.2 + 0.1	0.3
	b	0	0	0	0.2 + 0.1	0.3
	e	0.3	0.7	0	0.2 + 0.1	1.3
	z	0.3	0.7	0	0.2 + 0.1	1.3
2	a	0	0.5	0	0.2 + 0.1	0.8
	b	0	0.1	0	0.2 + 0.1	0.4
	e	0.3	0.5	0	0.2 + 0.1	1.1
	z	0.3	0.5	0	0.2 + 0.1	1.2
3	a	0	0.1	0	0.2 + 0.1	0.4
	b	0	0.5	0	0.2 + 0.1	0.8
	e	0.3	0.5	0	0.2 + 0.1	1.2
	z	0	0.5	0	0.2 + 0.1	0.9
4	a	0.3	0.7	0	0.2 + 0.1	1.4
	b	0.3	0.7	1	0.7	3.2
	e	0.3	0	0	0.7	1.1
	z	0.7	0.7	0	0.7	2.4
5	a	0.3	1	1	0.7	4.0
	b	1.0	0.8	1	1	4.05
	e	0.3	0.7	1	0.7	2.8
	z	0.3	0.8	0.5	0.2 + 0.1	2.9

6	<i>a</i>	0,5	0,3		0,9	0,1	0,7	2.5
	<i>б</i>	0,8	0,3		0,5	0,1	0,2 + 0,1	2,0
	<i>в</i>	0,3	0,5		0,8	1	0,7	3.3
	<i>г</i>	0,8	0,3		0,9	0,1	0,7	2.8
7	<i>a</i>	0	0		0,8	0	0,2 + 0,1	1,1
	<i>б</i>	0	0,3		0,8	0	0,7	1,8
	<i>в</i>	0	0		0	0	0,2 + 0,1	0,3
	<i>г</i>	0	0,3		0,7	0	0,2 + 0,1	1,3
8	<i>a</i>	0,8	0,3		0,8	1	0,7	3.6
	<i>б</i>	0,3	0,3		0,8	0	0,2 + 0,1	1,7
	<i>в</i>	0,3	0,3		0,7	0	0,7	2,0
	<i>г</i>	0,1	0,7		0,7	0	0,2 + 0,1	1,8
9	<i>a</i>	0	0,3		1	0,5	0,2 + 0,1	2,1
	<i>б</i>	0,1	0,3		0,8	1 + 0,5	0,7	3.4
	<i>в</i>	0,1	0,3		0,7	0	0,2 + 0,1	1,4
	<i>г</i>	0,1	0		0,8	0	0,2 + 0,1	1,2

Максимальное значение потенциала (**4,05**) и современную активность имеют блок 5б (рис. 3) что подтверждают и ранее полученные, при оценке геодинамического потенциала, результаты [Магомедов, 2021; Magomedov, 2021].

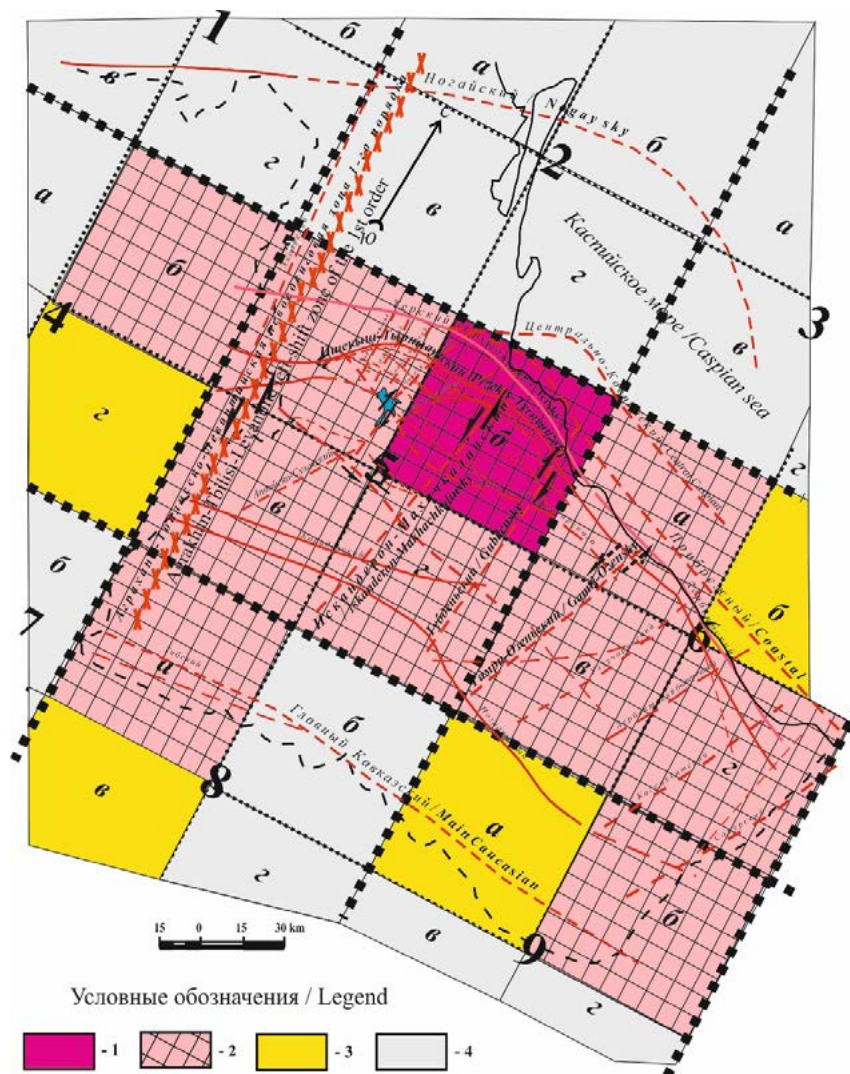


Рис. 3. Потенциальные зоны ВОЗ и блоки, имеющие критический сейсмотектонический потенциал, в северо-восточном сегменте Восточного Кавказа.

1 – блок, имеющий максимальный сейсмотектонический потенциал (**4,05**) и современную активность, 2 – потенциальные зоны ожидания возможных очагов сильных землетрясений, имеющие суммарные значения сейсмотектонического потенциала в пределах от **2,5** до **4,05**, 3 – блоки, имеющие критический (более **2,0** ед. – 50% барьер) сейсмотектонический потенциал, 4 – прочие блоки, имеющие сейсмотектонический потенциал ниже критического. Остальные обозначения приведены в условных обозначениях к рис. 3 /

Fig. 3. Potential PFE zones and blocks with critical seismotectonic potential in the north-eastern segment of the Eastern Caucasus.

1 – block, with the greatest seismotectonic potential (**4.05**) and modern activity; 2 – the potential of the waiting area of possible foci of strong earthquakes, with the total value of the seismotectonic potential in the range from **2.5** to **4.05**; 3 – blocks of critical (more than **2.0** units – 50 % threshold) seismotectonic potential; 4 – other blocks of the seismotectonic potential below the critical. The remaining symbols are given in the legend to Fig. 3

Выводы

В результате проведенных исследований составлена карта изменений сейсмо-тектонического потенциала (в условных единицах) территории северо-восточного сегмента Восточного Кавказа. Учитывая, что исторически активным являлся блок 5а, а современным активным – блок 5б, следует ожидать сильные сейсмические события со «сдвиговым» механизмом очага в блоках 5б и 6(а,в), а именно – на стыке Капчугайского грабена и Губденского блока по Искандерон-Махачкалинскому глубинному разлому, а также на стыке Губденского и Гамри-Озенского блоков по одноименным глубинным разломам.

Выделенные потенциальные зоны ВОЗ в уточненном варианте, могут послужить основанием для постановки дополнительных геофизических и GPS (ГЛОНАС)-наблюдений, а также геодеформационных наблюдений (совместно с наблюдением за ГГД-полем) в режиме мониторинга.

Проведенные исследования позволят сделать обоснованный выбор объектов и методов эффективных управляющих воздействий на геологические системы с целью минимизировать негативные последствия от воздействия потенциальных катастрофических геологических процессов природного характера и обеспечат рациональное использование природных ресурсов в условиях повышенной геодинамической и сейсмической активности.

Литература

1. Арефьев С.С., Асманов О.А., Дейнега А.Г., Мусаев М.А., Шебалин Н.В. Количественные характеристики сейсмичности Дагестана. // Дагестанское землетрясение 14 мая 1970 г. Сейсмология, геология, геофизика. – М.: Наука, 1980. – С. 10–17.
2. Бунэ В.И. Сейсмический режим Вахшского района Таджикской ССР. – Душанбе: АН Тадж. ССР, 1965. – С. 71–128.
3. Бунэ В.И., Гзовский М.В., Запольский К.К. и др. Методы детального изучения сейсмичности. // Тр. Ин-та Физики Земли АН СССР. – 1960. – №9(176). – С. 327.
4. Джигладзе Э.А. Энергия землетрясений, сейсмический режим и сеймотектонические движения Кавказа. – Тбилиси: Мецниереба, 1980. – 255 с.
5. Заалишвили В.Б., Дзеранов Б.В., Габараев А.Ф. Оценка сейсмической опасности территории и построение вероятностных карт. // Геология и геофизика Юга России. – 2011. – №1. – С. 48–58.
6. Краснопевцева Г.В. и др. Результаты глубинного сейсмического зондирования земной коры Кавказа. – В кн.: Глубинное строение Кавказа. – М.: Наука, 1966. – С. 43–56.
7. Левкович Р.А., Магомедов А.М., Асманов О.А. К сейсмическому районированию Дагестанской АССР. // Сейсмический режим территории Дагестана. Сб. Ин-та геологии Даг. ФАН СССР. – 1977. – №1. – С. 31–40.
8. Леонов Ю.Г. Тектоника и геодинамика на современном этапе: вопросы методологии исследований. // Геология и геофизика Юга России. – 2011. – №1. – С. 4–19.
9. 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. – Т. 11(1). – С. 69–80. DOI: 10.46698/VNC. 2021.72.56.006.
10. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. Инженерная экология. // Учеб. пособие для вузов. В 2 т. Под общ. ред. И.И. Мазура. – М.: Высшая школа, 1996. – 636 с.
11. Мусаев М.А. Пространственно-временные вариации распределения сейсмично-

сти на территории Дагестана с сопредельными территориями за 2006–2019 гг. // Тр. Института геологии Дагестанского научного центра РАН. – 2020. – №1(80). – С. 70–76. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-64-1-70-76.

12. Рейснер Г.И. и др. Типизация земной коры и сейсмический потенциал Сахалина. // Вулканология и сейсмология. – 1998. – №4-5. – С. 103–111.

13. Рейснер Г.И., Рогожин Е.А. Прогнозирование сейсмического потенциала. // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций и их источников. Научно-практическая конференция. 26-27 июня 2001 г. Доклады и выступления. – М.: Центр «Антистихия», 2002. – С. 236–241

14. Ризниченко Ю.В. Сейсмическая активность территории СССР. – М.: Наука. 1979. – 192 с.

15. Тишкин Б.М. Способ оценки геодинамического потенциала структур и использование его в геологических задачах. // Вестник КРАУНЦ. Серия «Науки о Земле». – 2006. – №1. Вып. 7. – С. 138–152.

16. 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. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005.

17. Borneyakov 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.

18. 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.

19. Magomedov R.A. Geoecological significance of block potential in the Eastern Caucasus in an arid climate. // *Arid ecosystems*. – 2021. – Vol. 27. No.3(88). – pp. 111–119. DOI: 10.1134/S2079096121030094.

20. McClusky S., Balassanian S., Barku C. et al. Global Position System constraints on plate kinematics and dynamics of the Mediterranean and Caucasus. // *J. Geophys. Res.* – 2000. – Vol. 105. N B3. – pp. 5695 – 5719.

21. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of Seismic Hazard of Territory on Basis of Modern Methods of Detailed Zoning and Seismic Microzonation. // *The Open Construction and Building Technology Journal*. – 2011. – Vol. 5. – pp. 30–40.

References

1. Arefiev S.S., Asmanov O.A., Deinega A.G., Musaev M.A., Shebalin N.V. Quantitative characteristics of the seismicity of Dagestan. Dagestan earthquake on May 14, 1970. *Seismology, geology, geophysics*. Moscow. Nauka, 1980. pp. 10–17. (In Russ.)

2. Bune V.I. Seismic regime of the Vakhsh region of the Tajik SSR. Dushanbe. Academy of Sciences of Tajik SSR, 1965. pp. 71–128. (In Russ.)

3. Bune V.I., Gzovsky M.V., Zapolsky K.K. et al. Methods of detailed study of seismicity. Proceedings of the IPE of the Academy of Sciences of the USSR. 1960. No. 9. Issue 176. pp. 327. (In Russ.)

4. Dzhibladze E.A. Energy of earthquakes, seismic regime and seismotectonic movements of the Caucasus. Tbilisi. Metsniereba, 1980. 255 p. (In Russ.)

5. Zaalishvili V.B., Dzeranov B.V., Gabaraev A.F. Seismic hazard assessment of the territory and construction of probability maps. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2011. No. 1. pp. 48–58. (In Russ.)

6. Krasnopevtseva G.V. et al. Results of deep seismic sounding of the Earth's crust in the

Caucasus. In the book: The deep structure of the Caucasus. Moscow. Nauka, 1966. pp. 43–56. (In Russ.)

7. Levkovich R.A., Magomedov A.M., Asmanov O.A. Towards seismic zoning of the Dagestan ASSR. Seismic regime of the territory of Dagestan. In: Proceedings of the Institute of Geology Dagestan Branch of AS USSR. 1977. No. 1. pp. 31–40. (In Russ.)

8. Leonov Yu.G. Tectonics and geodynamics at modern stage: research methodology questions. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2011. No. 1. pp. 4–19. (In Russ.)

9. 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. Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 69–80. DOI: 10.46698/VNC.2021.72.56.006. (In Russ.)

10. Mazur I.I., Moldavanov O.I., Shishov V.N. Engineering ecology. Manual for graduate students. In 2 vol. ed. I.I. Mazur. Moscow. Higher school, 1996. 636 p. (In Russ.)

11. Musaev M.A. Spatio-temporal variations in the seismicity distribution in the territory of Dagestan with adjacent territories for 2006–2019. In: Proceedings of Institute of Geology DSC RAS. 2020. No. 1. Issue 80. pp. 70–76. DOI: 10.33580/2541-9684-2020-64-1-70-76. (In Russ.)

12. Reisner G.I. et al. Typification of the Earth's crust and the seismic potential of Sakhalin. Volcanology and seismology. 1998. No. 4-5. pp. 103–111. (In Russ.)

13. Reisner G.I., Rogozhin E.A. Prediction of seismic potential. Problems of forecasting emergency situations and their sources. Scientific and practical conference. June 26-27, 2001 Reports and presentations. Moscow. Center Antistikhia, 2002. pp. 236–241. (In Russ.)

14. Riznichenko Yu.V. Seismic activity in the territory of the USSR. Moscow. Nauka. 1979. 192 p. (In Russ.)

15. Tishkin B.M. A method for assessing the geodynamic potential of structures and its use in geological problems. Bulletin KRAUNZ. Series "Earth Sciences". 2006. No. 1. Issue 7. pp. 138–152. (In Russ.)

16. Chotchaev H.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high-altitude territories. Geology and Geophysics of the South of Russia. 2020. Vol. 10. No.4. pp. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005 (In Russ.)

17. Bornyakov S.A., Ma J., Miroshnichenko A.I., Guo Y., Salko D.V., Zuev F.L. Diagnostics of meta-instable state of seismically active fault. Geodynamics & Tectonophysics. 2017. Vol. 8. Issue 4. pp. 989–998.

18. 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. Issue 4. pp. 737–768.

19. Magomedov R.A. Geoecological significance of block potential in the Eastern Caucasus in an arid climate. Arid ecosystems. 2021. Vol. 27. No.3. Issue 88. pp. 111–119. DOI: 10.1134/S2079096121030094.

20. McClusky S., Balassanian S., Barku C. et al. Global Position System constraints on plate kinematics and dynamics of the Mediterranean and Caucasus. J. Geophys. Res. 2000. Vol. 105. N B3. pp. 5695–5719.

21. Zaalishvili V.B., Rogozhin E.A. Assessment of Seismic Hazard of Territory on Basis of Modern Methods of Detailed Zoning and Seismic Microzonation. The Open Construction and Building Technology Journal. 2011. Vol. 5. pp. 30–40.

УДК 550.348

DOI: [10.46698/VNC.2021.13.46.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.13.46.005)

Original paper

Ismayilli earthquake on February 5th, 2019G.J. Yetirmishli^{id}, S.S. Ismailova^{id}, S.E. Kazimova^{id}

National Academy of Sciences of Azerbaijan, Republican Seismic Survey Center, 123 Guseyn Javid Str., Baku AZ1001, Azerbaijan, e-mail: gyetirmishli@gmail.com

Received: 01.10.2021, revised: 09.11.2021, accepted: 17.11.2021

Abstract: Relevance. The Shamakhi-Ismayilli seismogenic zone is known as the zone of the most powerful earthquakes in the Caucasus, which has been characterized by high seismic activity for centuries. Analysis of seismicity over the past 15 years has shown an increase in activity in this region. In October 2012, there was a devastating earthquake with a magnitude of 5.3. It is this earthquake that can be considered a trigger of activity in this region in subsequent years. In view of this, the task of studying seismicity, as well as the stress fields of the lithosphere of the region under study, seems to be especially urgent. The study of the seismicity of the Shamakhi-Ismayilli zone provides additional information on the deep tectonic processes occurring in this region, which is important for seismic zoning. **Aim.** The article analyzes the seismic activity of the Shamakhi-Ismayilli region, which began with an earthquake on February 5 at 19 h 19 min, with $m_l = 4.4$, which occurred 11 minutes before the main shock with an intensity of 6 points, which occurred on February 5, 2019 at 19 h 31 m. **Methods.** The epicentral field was studied, as well as the distribution of foci in depth, solutions of the mechanisms of foci of the main shock and the most noticeable aftershock were constructed and analyzed. A diagram of the main elements of the rupture tectonics of the Shamakhi-Ismayilli focal zone has been drawn, on which the mechanisms of the focal points of the lakes of the Ismayilli field are plotted. **Results.** It has been established that the source area is located in the zone of intersection of the Vandam longitudinal fault with the West Caspian and transverse Akhsu strike-slip faults, which additionally characterizes the high seismic activity and deep penetration of the West Caspian right-sided orthogonal fault. Thus, it can be seen that, in terms of epicenters, they tend to the basement faults and the nodes of their intersection, i.e. The main shock that occurred on February 5, 2019, shows the agreement of the second nodal plane NP2 with the right-lateral Akhsu and West-Caspian transverse faults characterized by the type of displacement right-lateral strike-slip. An analysis of the orientation of the compression axes showed the NE-SW orientation, and the extension axes of the NW-SE orientation.

Keywords: Shamakhi-Ismayilliseismogenic zone, southeastern part of the Greater Caucasus, landslides, mud volcanoes, earthquake source mechanism, Ismayilli earthquake.

For citation: Yetirmishli G.J., Ismailova S.S., Kazimova S.E. Ismayilli earthquake on February 5th, 2019. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. 11(4): 58-69. DOI: [10.46698/VNC.2021.13.46.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.13.46.005).

[DOI: 10.46698/VNC.2021.13.46.005](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.13.46.005)

Оригинальная статья

Исмаиллинское землетрясение 5 февраля 2019

Г.Д. Етирмишли , С.С. Исмаилова , С.Е. Казымова 

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

Статья поступила: 01.10.2021, доработана: 09.11.2021, принята к публикации: 17.11.2021

Резюме: Актуальность работы. Шамахи-Исмаиллинская сейсмогенная зона известна как зона самых сильных землетрясений на Кавказе, которая на протяжении веков характеризовалась высокой сейсмической активностью. Анализ сейсмичности за последние 15 лет показал рост активности в этом регионе. В октябре 2012 года произошло разрушительное землетрясение магнитудой 5,3. Именно это землетрясение можно считать триггером активности в этом регионе в последующие годы. В связи с этим задача изучения сейсмичности, а также полей напряжений литосферы изучаемого региона представляется особенно актуальной. Изучение сейсмичности Шамахи-Исмаиллинской зоны дает дополнительную информацию о глубинных тектонических процессах, происходящих в этом регионе, что важно для сейсмического районирования. **Цель работы.** В статье проанализирована сейсмическая активность Шамахи-Исмаиллинского района, начавшаяся землетрясением 5 февраля в 19 ч 19 мин, с $m_l = 4,4$, произошедшим за 11 минут до главного толчка с интенсивностью 6 баллов, произошедшего 5 февраля 2019 в 19 час 31 мин. **Методы работы.** Изучены эпицентрально поле, распределение очагов по глубине, построены и проанализированы решения механизмов очагов главного толчка и наиболее заметного афтершока. Составлена схема основных элементов разрывной тектоники Шамахи-Исмаиллинской очаговой зоны, на которой нанесены механизмы очагов озер Исмаиллинского месторождения. **Результаты работы.** Установлено, что очаговая область расположена в зоне пересечения Вандамского продольного разлома с Западно-Каспийским и поперечным Ахсуйским сдвигами, что дополнительно характеризует высокую сейсмическую активность и глубокое проникновение Западно-Каспийского правостороннего ортогонального разлома. Таким образом, видно, что в плане эпицентров они стремятся к разломам фундамента и узлам их пересечения, т.е. главный толчок, произошедший 5 февраля 2019 г., показывает совпадение второй узловой плоскости NP2 с правосторонним Ахсуйским и Западно-Каспийским поперечным разломом, характеризующимися правосторонним сдвиговым типом смещения. Анализ ориентации осей сжатия показал ориентацию СВ-ЮЗ, а оси растяжения – ориентацию СЗ-ЮВ.

Ключевые слова: Шамахи-Исмаиллинская сейсмогенная зона, юго-восток Большого Кавказа, оползни, грязевые вулканы, механизм очага землетрясений, Исмаиллинское землетрясение.

Для цитирования: Етирмишли Г.Д., Исмаилова С.С., Казымова С.Е. Исмаиллинское землетрясение 5 февраля 2019. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 58-69. DOI: 10.46698/VNC.2021.13.46.005.

Introduction

The Shamakhi-Ismayilli seismogenic zone is known as the zone of the most powerful earthquakes in the Caucasus, which for centuries has been characterized by high seismic activity. These studies have been reflected in the works of many scientists [Gasanov et al., 1984, 1997]. The first information about earthquakes that occurred in Shamakhi and its environs dates back to ancient times. One of the earliest destructive earthquakes according to Georgian sources occurred in 1192. In the zone of the southern foothills of the Greater Caucasus near the city of Shamakhi in 1667, a catastrophic earthquake with a magnitude of 6.9 occurred, which is one of the largest earthquakes in the Greater Caucasus. The

geodynamic processes in its source caused intense changes in the geomorphological situation in the region (failure of mountain ranges) and huge human casualties (more than 80.000 people died) [Tibaldi et al., 2019]. In the same source in 1828, 1859, 1869, 1872, destructive earthquakes of $M = 5.7-7.0$ were repeated, and in 1902 a catastrophic earthquake of magnitude $M = 6.9$ occurred, which claimed many lives. The first scientific description of the Caucasian earthquakes was made by G. Abikh, who examined the consequences of the Shamakhi earthquake of 1859. An analysis of macroseismic and instrumental material over the past 150 years suggests that more than 200 earthquakes in the Shamakhi zone of various magnitudes occurred from sources that are located in four almost parallel latitudinal bands. The two southern epicentral bands give rise to catastrophic earthquakes, while the northern bands mainly generate 6 and 7-point shocks. One of the characteristic features of this zone is the elongation of macroseismic fields in the general Caucasian direction. (Fig. 1) [Agamirzoev, 1987; Akhmedbeili, Gasanov, 2004; Shempelev et al., 2017].

Over the past 15 years, one of the strongest earthquakes in this region is the earthquake that occurred on October 7, 2012, at 15^h42^m, 17 km southeast of the Ismayilli seismic station in the Ismayilli region with $m_l = 5.3$.

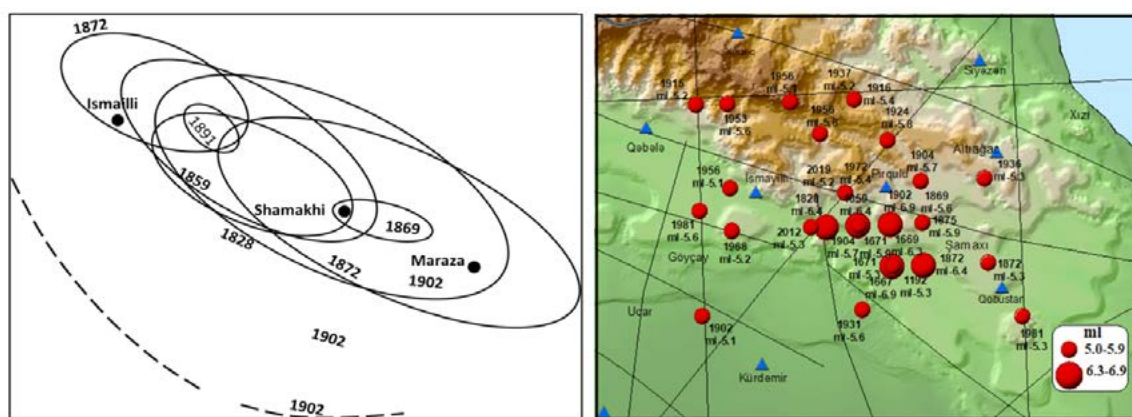


Fig. 1. Diagram of the pleistoseist zones of the devastating Shamakhi earthquakes [Agamirzoev, 1987] and map of the epicenters of strong earthquakes that occurred in the Shamakhi-Ismayilli seismogenic zone for the period 427-2019 with $m_l \geq 5.0$

The intensity at the epicenter of this earthquake on a 12-point scale was estimated at 6 points; in the nearby settlements of Pirkulu, Shamakhi, Ismaili and Akhsu, the earthquake was felt up to 4-2 points. In Figures 2 a map of the epicenters of strong catastrophic earthquakes with magnitude greater than 5 that occurred in the Shamakhi-Ismayilli seismogenic zone for the period 427-2019 is shown. Historical data was taken from [Shebalin, Kondorskaya, 1977].

Tectonics

As is known, the West Caspian Fault was identified by V.E. Khain (1966) by the presence of a hidden at a depth the gravity ledge along the eastern side of the Talish-Vandam (now Saatli-Kurdamir) maximum, stretching from the coast of the Caspian Sea at the Kura Spit to the north-north-western direction and before it intersects with the river Girdimanchay at the Baku-Tbilisi highway. To the north, this fault runs along the middle course of the Girdimanchay river to the village of Lagich and further north-east through

the watershed of the Main Range to the village of Qonakhkend and further through the village of Khachmaz to the Caspian Sea. It turns out that the West Caspian fault has an arcuate shape or two strike directions: north-north-west and north-east.

East of the Akhsu-Astrakhan line with the simultaneous expansion of the propagation fields of the Upper Cretaceous sediments, there is an expansion of negative ones, narrowing and complication by thrust disturbances of positive structures in the upper reaches of the Girdimanchay-Kozluchay River; and near the village of Astrakhanovka the amplitude of cover-thrust formation increases significantly. These data clearly illustrate the presence of an ancient northeastern fault along the Akhsu River, reflected both in the pre-Alpine basement and in the Cenozoic deposits of the Adjinour and Langebiz ridge. From this, it follows that the Sigirly-Buinuz and Padar-Akhsu-Baskal north-northwest faults of the basement are reflected in the Mesozoic-Cenozoic deposits of the northern part of the Kura Depression, Adjinour and the Vandam zone of the Greater Caucasus. Probably, the northeastern part of the West Caspian fault corresponds to a wide strip enclosed between the Ismayilli-Babadag and Akhsu-Chagan-Khaltan faults [Aliev et al., 2002; Akhmedbeili et al., 2002; Giorgobiani, 2020; Khain, Alizade, 2005; Shikhalibeili et al., 1989; Shikhalibeili, 1996].

Research methods

Seismicity. The seismic conditions of the Shamakhi zone, as well as the entire South-East Caucasus, which is distinguished by significant amplitudes of the latest, Quaternary and modern movements, complex morphological and structural differentiation, are typical for focal zones of strong earthquakes. Based on the statistical data on the seismic zoning map, the Shamakhi region is identified as a zone of 8-9 point earthquakes, as the ground conditions, as well as the quality of buildings in the Shamakhi region, significantly affect the degree of destruction during earthquakes that occur in this region [Khain, Alizade, 2005].

The seismicity of the Shamakhi epicenter zone is associated with the presence of two differently oriented structural elements: submerged transverse uplift and folded structures of the Greater Caucasus. The length of this zone, as indicated by a number of researchers, is 60-70 km, the width is from 15 to 25 km. immediately outside the specified territory, the force of oscillations of the earth's surface decreases sharply, and already in the area of Ismaili village never exceeds 5-6 points. It should be noted that each of the destructive earthquakes that occurred in the Shamakhi region almost always covered the same area, and the phenomena accompanying the earthquake – landslides, eruptions of mud hills, formation of cracks in the soil, etc., also almost always occurred in the same places [Khain, Alizade, 2005]. The earthquake that occurred on February 5, 2019 at 19^h31^m with $m_l=5.2$, $h=8$ was no exception. The seismic activity in this zone began with the February 5 earthquake at 19^h 19^m54^s, with $m_l=4.4$ which occurred 11 minutes before the main shock and is considered to be its strong foreshock, felt up to 3-4 points. In addition, a large number of weak foreshocks with $m_l<3$ were recorded. Aftershock activity was also high. Figures 3 show the waveforms of the main shock and aftershocks at both Pirgulu station and at all digital stations.

An analysis of the map of epicenters showed that foreshocks are located mainly northeast and southeast of the main shock, and the maximum of them is boundary on the left. The main shock on February 05, 2019 at 04^h40^m caused a rather active aftershock process. On the first day after it, 142 aftershocks were recorded (Fig. 2). In total, the

number of earthquakes that occurred in the Ismaili region in February amounted to 19 foreshocks and 413 aftershocks, and the released energy was $125 \cdot 10^{11} \text{J}$.

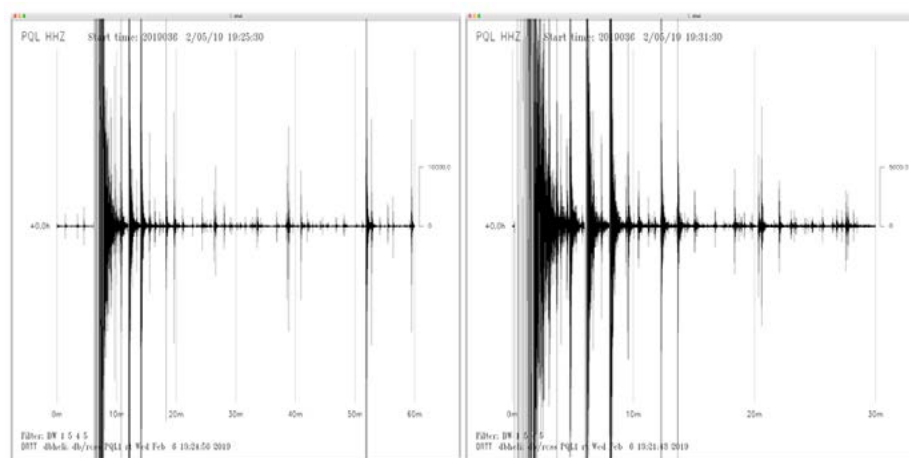


Fig. 2. Image of waveforms of the Ismayilli earthquakes of February 05, 2019 at Pirgulu station

In order to study the peculiarities of the spatiotemporal distribution of seismicity within the Shamakhi-Ismayilli region, a map of the epicenters of earthquakes that occurred in the studied region for 2019 was compiled. 5. This is primarily the area of aftershocks near the main shocks, which have a shape similar to the shape of the letter ("I"), stretched out in the general Caucasian direction (Fig. 3).

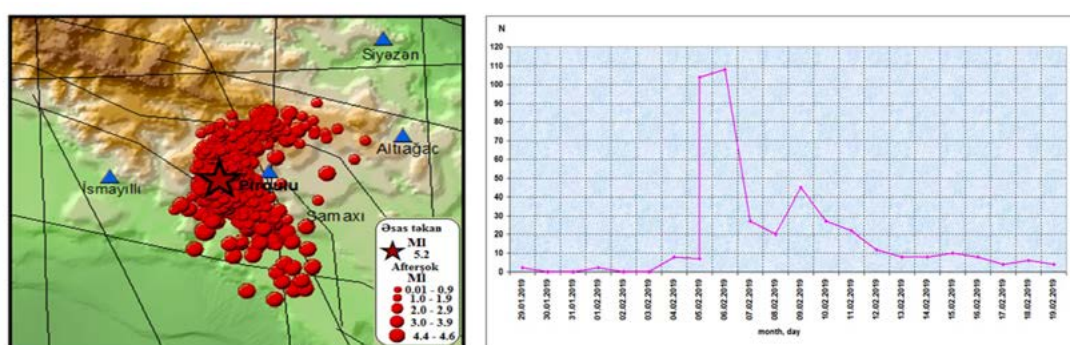


Fig. 3. Map of the main shock and aftershocks epicenters and distribution of the aftershocks of the February 5, 2019 earthquake by day

In order to monitor the swarm process from February 5-15 in the epicenter zone, temporary portable stations were installed in the earthquake area. The statistics of aftershocks within the focal zone for the following days indicate their sharp decline already in early March, in the number of aftershocks no more than 2-3. In order to study the distribution of the depth of earthquake sources, two seismological profiles were constructed – NW-SE and SW-NE strike. This makes it possible to identify zones of intersection of faults in different directions, to which the densest sections of hypocenters gravitate. Figure 4 shows a section along the I-I profile of NW-SE direction, coinciding with the strike of longitudinal deep faults (Fig. 4).

As can be seen, two groups of earthquake hypocenters (earthquake sources) are distinguished here – presumably, the sources associated with the strike of the Vandam fault with an angle of incline of 45° and the Akhsu fault with an angle of incidence of

30°. The depth of the location of the centers of the main mass of earthquakes varies from 5-15 km; more are established deep sources with depths up to 35 km. The main number of earthquakes is concentrated in the zone of intersection of multidirectional faults in the central part of the profile. From the northwest to the southeast, an arcuate occurrence of the basement surface is observed. Considering that the basaltic layer lies in the Shamakhi-Ismaili zone at depths of 20–25 km, it can be assumed that the earthquake source is located in the sedimentary layer, on the surface of the pre-alpine basement. It should be noted that the sources of relatively strong earthquakes with $M_L = 4.4-5.2$ are located at a depth of 8-10 km.

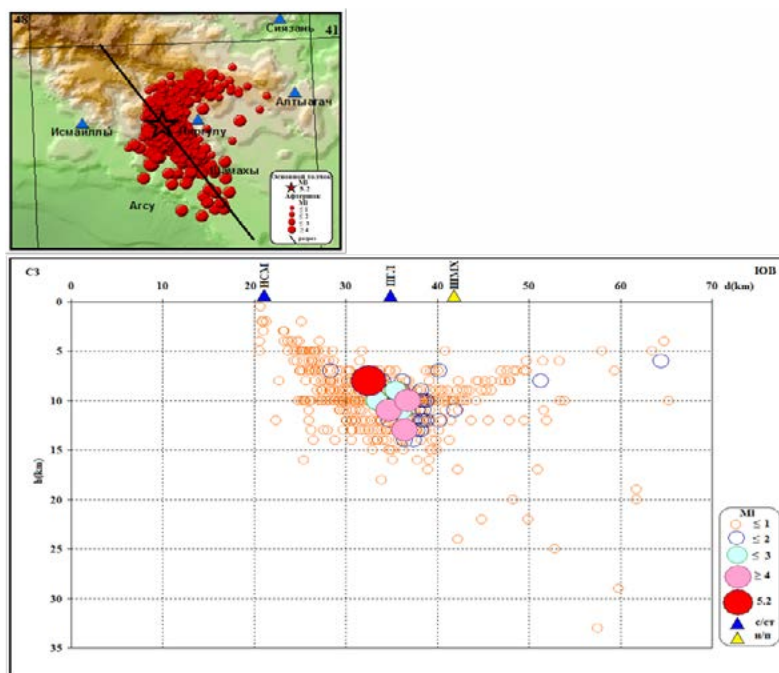


Fig. 4. Seismic-geological section I-I of the Shamakhi-Ismaili seismogenic zone of the NW-SE strike

As was noted earlier, a unique feature of the surface structure of the Shamakhi seismically active zone is tectonic coverings, whose contacts with underlying younger formations are characterized by clearly expressed angular and structural disagreements and create conditions for the occurrence of weak earthquakes. A high density of sources in the central part of the profile is connected, concentrated mainly at an epicentral distance of 30-50 km. The depths of the sources also vary from 5 to 15 km. [Kazimova, 2020].

Macroseismic studies

For the purpose of macroseismic research of earthquakes, the macroseismic expedition of the RSSC ANAS conducted work in the territories where the earthquake was felt. The buildings in these villages that suffered the most vulnerability and destruction are mainly associated with the construction of torn stones, cubes and local river stones. During strong vibrations, which lasted up to 10 seconds, residents in a panic ran out into the street. The earth fluttered. The houses creaked, hanging objects swayed violently, and other objects fell from shelves. Light, heavy, and very heavy objects moved from their places (Fig. 5). Cracks appeared in the house; the plaster fell off. Along the entire perimeter, which covered a number of buildings, there were longitudinal, cruciform, and transverse cracks, stone fences were destroyed. Electricity has been cut off.

The macroseismic field of this earthquake is extended in a northwest direction. The pleistoseist zone covers the regions of Akhsu and Shamakhi with an area of $13 \times 20 = 260$ km². The coordinates of the macroseismic epicenter are $\varphi = 40.78^\circ\text{N}$, $\lambda = 48.46^\circ\text{E}$ [Kuliev, 1977]. Based on these studies, it was revealed that the most intense earthquake was felt in the territories of such villages as Chukhuryurd, Nagarakhan, Madras, Shamakhi and Pirgulu. Here, the intensity of the earthquake was estimated at 6 points. In Baku, an earthquake was felt up to 3 points.



Fig. 5. Damaged buildings in the village of Shamakhi district

After the earthquake, landslides of considerable size arose. Disturbances in the relief, a change in the flow rate of springs and hum from the bowels are noted. According to the research conducted by the RSSC staff, the activity of two sections of landslide processes on the 4 km section of the Gizmeydan road in the Shamakhi district was identified (Fig. 5). After the first landslide process, cracks 5-10 mm wide were formed on the asphalt road, and 15-25 mm wide along the road. After the second landslide process, cracks 5-10 mm wide were also formed on the asphalt road, and 20-30 mm along the road. In addition, cracks and dips are observed on asphalt at 154 km of the Akhsu pass road.

Analysis of the accumulated factual material about the eruptions of mud volcanoes and seismic events in Azerbaijan with full confidence shows that a significant part of the mud volcanoes erupts after a strong earthquake ($M=5$ or more). As noted earlier [Aliiev et al., 2001, 2002; Aliiev, Keramova, 2002], a surely causal relationship between the eruption of mud volcanoes and tremors is established when the earthquake source and mud volcano are within the same fault structure, and if the volcano has accumulated sufficient energy for paroxysmal activity, i.e. earthquakes play, as it were, the role of the “trigger” in the mud volcanic process [Yetirmishli et al., 2019; Kangarli, 2007].

On February 13, local time, 06^h25^m, the Gushchu mud volcano erupted within the Shamakhi region (Fig. 6). The ejection height reached 4-5 meters. The eruption occurred 150 meters from the village, closer to the sown areas, and lasted 1.5 minutes (Table 1). As a result of the eruption, a layer of volcanic mud covered an area of approximately two hectares. So far, 14 eruptions of this volcano have been recorded. This time during the eruption, no flame or characteristic cracks were observed.

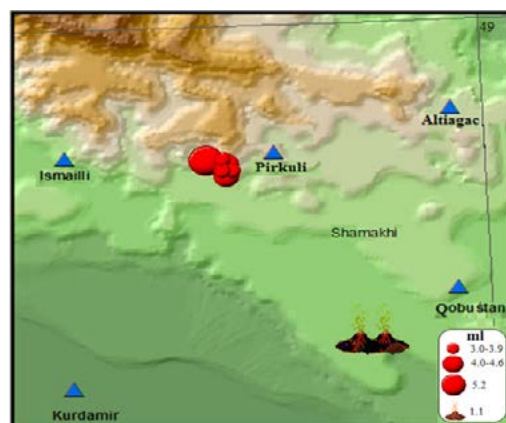


Fig. 6. The location map of the main shock of the Ismayilli earthquake with the strongest aftershocks, as well as the epicenters of 2 eruptions of the Gushchu mud volcano

Table 1

Main parameters of the eruption of the mud volcano “Gushchu”

№	Data	Time UTS	Coordinates		h, Δ km	ml	Duration of the eruption
			φ	λ			
1	13.02.2019	02:25:55	40.44	48.74	4	1.1	1m.30 sec
2	13.02.2019	02:38:29	40.44	48.74	3	1.1	1 m.30 sec

Results of work

An indispensable condition for the occurrence of strong earthquakes is increased mobility, i.e. contrasting tectonic movements, which are characteristic of zones dividing areas with different, and sometimes sharply changing, directions of tectonic movements. In this regard, the mechanisms of the sources of the Ismayilli earthquakes were constructed and analyzed: 2019.02.05 19^h19^m (foreshock), 2019.02.05 19^h31^m (main shock), 2019.02.05 19^h37^m, 2019.02.05 22^h34^m, 2019.02.06 02^h25^m, 2019.02.09 16^h35^m, 2019.02.11 15^h29^m (aftershocks) (Table 2). Magnitude M_w was taken from the catalog (<http://www.emsc-csem.org/Earthquake/earthquake.php>).

Table 2

Parameters of the mechanisms of foci of the Ismayilli earthquake in February 2019

№	Data, d m y	t_0 , hms	h, км	Magni- tude		Major stress axes						Nodal plane					
				ml	M_w	T		N		P		NP1			NP2		
						PL	AZM	PL	AZM	PL	AZM	STK	DP	SLIP	STK	DP	SLIP
1	20190205	19:19:54	11	4.4		71	104	19	284	0	14	266	48	65	122	48	116
2	20190205	19:31:37	8	5.2	5.0	7	297	82	90	4	207	72	88	8	342	82	177
3	20190205	19:37:24	11	3.4		54	139	6	238	36	333	237	81	84	93	11	125
4	20190205	22:34:05	9	3.0		5	306	82	180	7	36	171	89	-172	81	82	-1
5	20190206	02:25:50	10	3.9		18	297	72	117	0	27	340	77	167	73	77	13
6	20190209	16:35:09	11	2.9		41	102	20	353	41	244	-110	90	353	0	20	263
7	20190211	15:29:31	13	4.0	3.9	31	325	28	74	46	197	258	82	-62	3	29	-164

Based on the works [Rzaev et al., 2013], a diagram of the basic elements of the discontinuous tectonics of the Shamakhi-Ismayilli source zone (Fig. 7) was drawn up, on

which the mechanisms of the sources of the Ismayilli earthquakes are plotted. Here we see that the focal region lies in the zone of intersection of the Vandam longitudinal fault with the West Caspian and Akhsu transverse fault shifts, additionally characterizing high seismic activity and deep penetration of the West Caspian right-lateral orthogonal fault. Thus, it can be seen that, in terms of epicenters, they tend to the foundation faults and the nodes of their intersection, i.e. it can be concluded that the faults that cut the foundation, and even more so penetrate the upper mantle, are fraught with a constant seismic hazard.

The main shock on February 5, 2019 at 23:31:37, local time in the Ismayilli district with $m_l=5.2$, was characterized by near horizontal ($PL_p=4^\circ$) compressive southwest orientations and tensile northwestern orientations ($PL_T=7^\circ$). The type of movement along both steep ($DP_1=88^\circ$, $DP_2=82^\circ$) planes is a shift. The $NP1$ plane has a northeastern ($STK_1=72^\circ$) strike with a slip type of left-lateral strike-slip, and $NP2$ has a northwest ($STK_2=342^\circ$) with a slip type of right-lateral strike-slip. A comparison of the strike of the nodal planes with the fault lines shows the agreement of the second nodal plane $NP2$ with the right-lateral Akhsu and West Caspian transverse faults, which allows us to consider the $NP2$ plane as active [Akhmedbeili et al., 2002].

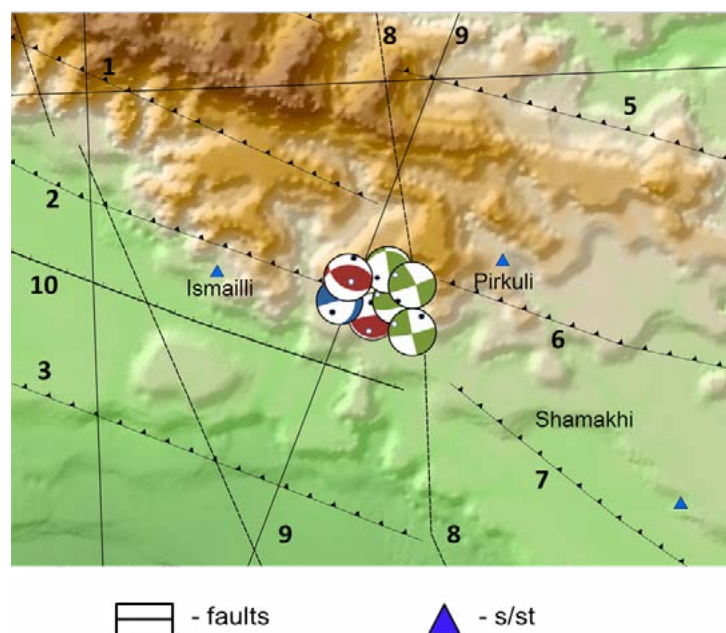


Fig. 7. Diagram of the main elements of the discontinuous tectonics of the Shamakhi-Ismayilli source zone and the mechanisms of the earthquake sources for 2019.

Tectonic faults: 1-Dashgil-Mudrese, 2-Vandam, 3-Geokchay, 4-Siyazan, 5-Zangi-Kozluchay, 6-Germian, 7-Adjichay-Alyat, 8-West-Caspian, 9 – Akhsu; 10 – North-Adjinour
[Metaksas et al., 2011; Rzaev et al., 2013]

The mechanisms of the aftershock earthquake sources are mainly of two types: uplifts and shifts. An exception is the earthquake that occurred on February 6 at 02:34:05 local time on the territory of the Akhsu district ($m_l=3.0$). The earthquake was characterized by near-horizontal ($PL_p=7^\circ$) compressive NE orientations and tensile NW orientations ($PL_T=5^\circ$). The type of movement along both steep ($DP=89-82^\circ$) planes is a strike-slip with normal fault elements. The $NP1$ plane is near-vertical ($STK_1=171^\circ$), and $NP2$ is near-horizontal ($STK_2=81^\circ$). A comparison of the strike of the nodal planes with the fault lines in Fig. 18 shows the agreement of the first $NP1$ nodal plane with the North-Adjinour longitudinal fault.

Based on the results obtained, the orientations of the compression and extension axes of the studied strong earthquakes were analyzed. An analysis of the orientation of the compression axes showed the NE-SW orientation, and the extension axes of the NW-SE orientation.

Conclusions

The source zone of the Ismayilli earthquake is located on the southeastern subsidence of the meganticlinorium of the Greater Caucasus, composed of thick volcanic and sedimentary strata of the Meso Cenozoic and extended in the general Caucasian direction. Between the Shamakhi-Gobustan and Alazan-Agrichay synclinoria stands out the Baskal tectonic cover, with a thickness of 1.5-2 km, a width of 10-12 km, a length of 20-25 km.

The high seismicity of the Shamakhi zone is associated with the presence of gravitational anomalies, of which the largest and most interesting is the positive anomaly located along the Astara-Astrakhan-Bazar-Kurdamir line and further north-north-east to the latitude of Ismaili.

The Ismayilli source zone is associated with the presence of two differently oriented structural elements: submerged transverse elevation and folded structures of the Greater Caucasus. The length of this zone is 60-70 km; the width is from 15 to 25 km. On February 5, 2019 at 19^h31^m with $m_l=5.2$, an earthquake occurred at a depth of $h=8$ in this zone. Seismic activity in this zone began with the February 5 earthquake at 19^h19^m54^s, with $m_l=4.4$ which occurred 11 minutes before the main shock and is considered to be its strong foreshock, felt up to 3-4 points. In addition, a large number of weak foreshocks with $m_l<3$ were recorded. Aftershock activity was also high. The most powerful aftershocks had magnitudes with $m_l>3.4$, 3.0, 3.9.

An analysis of the deep distribution of the sources showed that the sources are presumably related to the strike of the Vandam fault with an angle of inclination of 45 and the Akhsu fault with an angle of incidence of 30. The depth of the location of the sources of the main mass of earthquakes varies from 5-15 km, and deeper sources with depths of up to 35 km have been established. The main number of earthquakes is concentrated in the zone of intersection of multidirectional faults in the central part of the profile. From the northwest to the southeast, an arcuate occurrence of the basement surface is observed. The earthquake source is located in the sedimentary layer, on the surface of the pre-alpine basement. It should be noted that the sources of relatively strong earthquakes with $m_l=4.4-5.2$ are located at a depth of 8-10 km. An analysis of the mechanisms of the earthquake sources showed that the source region is located at the intersection of the Vanda longitudinal fault with the West Caspian and Akhsu transverse fault-shifts. The main shock that occurred on February 5, 2019, shows the agreement of the second nodal plane NP2 with the right-lateral Akhsu and West-Caspian transverse faults characterized by the type of displacement right-lateral strike-slip. An analysis of the orientation of the compression axes showed the NE-SW orientation, and the extension axes of the NW-SE orientation.

References

1. Agamirzoev R.A. Seismotectonics of the Azerbaijan part of the Greater Caucasus. Baku. Elm, 1987. 124 p. (In Russ.)

2. Aliev Ad.A., Keramova R.A. Activation of mud volcanism in Absheron in 2001 after the Caspian earthquake (November 25, 2000). In: Proceedings of Int. conf. Assessment of seismic hazard and risk in oil and gas regions (to the 100th anniversary of the Shamakhi earthquake). 28-30 October 2002 Abstracts. Baku. 2002. pp. 181. (In Russ.)
3. Aliev Ad.A., Gasanov A.G., Bairamov A.A., Belov I.S. Earthquakes and activation of mud volcanic activity (causation and interaction). In: Proceedings of IGAN Azerbaijan. 2001. No. 29. pp. 35. (In Russ.)
4. Aliev Ad.A., Guliev I.S., Belov I.S. Catalog of recorded eruptions of mud volcanoes (1810-2001). Baku. Nafta-Press, 2002. 94 p. (In Russ.)
5. Akhmedbeili F.S., Gasanov A.G. Tectonic types of seismic foci in Azerbaijan. Baku: Elm, 2004. p. 130. (In Russ.)
6. Akhmedbeili F.S., Ismail-zade A.D., Kengerli T.N. Geodynamics of the Eastern Caucasus in the Alpine tectonic-magmatic cycle (Azerbaijan). In: Proceedings of IGNANA. 2002. No. 30. pp. 36–48. (In Russ.)
7. Gasanov A.G., Mamedov T.Ya. et al. Studies of the seismic regime of the Shamakhi-Ismayilli zone by weak earthquakes. In: Proceedings of IGANA. Baku. Nafta press, 1997. pp. 228–235. (In Russ.)
8. Gasanov A.G., Metaskas H.P. et al. Results of a comprehensive study of the Ismayilli series of 1981 earthquakes: precursors, parameters, mechanism. In the book: Contemporary state of the seismological research in Europe. Proceedings of XIX General Assembly ECK. Moscow. Nauka, 1984. pp. 142–148. (In Russ.)
9. Giorgobiani T.V. Stages, Mechanism and Geodynamics of Formation of the Folded System of the Greater Caucasus. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10. No.1. pp. 35–42. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59063
10. Etirmishli G.J., Mammadli T.Ya., Kazymova S.E., Ismailova S.S. Modern seismic situation in Azerbaijan. Monograph: Hazardous natural and man-made processes in mountainous regions: models, systems, technologies. Vladikavkaz: GPI VSC RAS, 2019. pp. 29–36. (In Russ.)
11. Kengerli T.N. Features of the geological and tectonic structure of the Southeastern Caucasus and issues of oil and gas content. Proceedings. State Oil Company of Republic Azerbaijan. 2007. No. 19. pp. 3–12. (In Russ.)
12. Kuliev F.T. Equation of the macroseismic field for Azerbaijan and its geostructural areas. *Seismological Bulletin of the Caucasus*. Tbilisi. Metsniereba, 1977. pp. 129–140. (In Russ.)
13. Metaxas Kh.P., Rzaev A.G., Isaeva M.I. Seismic hazard parameters of the Shamakhi-Ismayilli focal zone of earthquakes. Catalog of seismic forecast data in Azerbaijan. 2011. pp. 314–321. (In Russ.)
14. Rzayev A.G., Etirmishli G.J., Kazymova S.E., Reflection of the geodynamic regime in variations in the intensity of the geomagnetic field (on the example of the southern slope of the Greater Caucasus). *News, Earth Sciences*. 2013. No.4. pp. 3–15. (In Russ.)
15. Khain V.E., Alizadeh Ak.A. Geology of Azerbaijan. Volume IV. Tectonics. Baku. Nafta-Press, 2005. pp. 214–234. (In Russ.)
16. Shebalin N.V., Kondorskaya N.V. A new catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR from the earliest time to 1975. Moscow. Nauka, 1977. pp. 69–170. (In Russ.)
17. Shempelev A.G., Chotchaev H.O., Khuhmazov S.U. Data of deep geophysical surveys along chegem profile (central block, the Greater Caucasus). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2017. Vol. 7. No.2. pp. 129–134. (In Russ.)
18. Shikhalibeili E.Sh. Some problematic issues of the geological structure and tectonics of Azerbaijan. Baku. Elm, 1996. 215 p. (In Russ.)
19. Shikhalibeili E.Sh., Babazade O.B., Veliyev G.O. The structure of the pre-Alpine basement of the Shamakhi-Ismayilli zone of the southern slope of the Greater Caucasus. In: Proceedings of anniversary session to the 50th anniversary of the Institute of Geology of the AS of Azerbaijan SSR. Baku. 1989. pp. 96–104. (In Russ.)
20. Kazimova S.E. Redefinition of earthquake hypocenters by the double difference method.

Geology and Geophysics of Russian South, 2020. Vol. 10. No.4. pp. 41–52. DOI: 10.46698/VNC.2020.36.81.003 (In Russ.)

1. Tibaldi A., Tsereteli N., Varazanashvili O., Babayev G., Barth A. et. al. Active stress field and fault kinematics of the Greater Caucasus. *Journal of Asian Earth Sciences*. 2019. Vol. 188. pp. 1–18. <https://DOI.org/10.1016/j.jseaes.2019.104108>

ГЕОФИЗИКА

УДК 550.347.097

DOI: [10.46698/VNC.2021.77.59.006](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.77.59.006)

Оригинальная статья

Нелинейные колебания грунтовой толщи по инструментальным и численным данным

В.Б. Заалишвили , **Д.А. Мельков** , **А.Ф. Габараев** , **Т.И. Мерзликин** 

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

Статья поступила: 21.10.2021, после рецензирования: 18.11.2021, принята к публикации: 29.11.2021

Резюме: Актуальность работы. Исследования нелинейных явлений в грунтах, начатые в России почти 60 лет назад, явились стимулом современного развития исследований сейсмоаномальных явлений в комплексе геофизических показателей, наблюдающихся при сильных и разрушительных землетрясениях. Кроме чисто научных интересов большой интерес вызывает вопрос прогнозирования поведения грунтов и сооружений с точки зрения адекватности ожидаемому проявлению сейсмического воздействия. Адекватное изучение нелинейности, являющейся неотъемлемой характеристикой природных явлений, позволит приблизить соответствующее антисейсмические мероприятия к реальным особенностям проявлений сейсмического эффекта при сильных землетрясениях. **Целью** работы являлось построение расчетной модели, описывающей явления, наблюдаемые в грунтовой среде при сильных сейсмических воздействиях и сопоставление расчетных данных с результатами инструментальных наблюдений. **Методы.** В работе анализируется инструментальная запись, полученная на слабых грунтах, на основе вейвлет анализа. Моделируются импульсы различной продолжительности в среде с различной степенью проявления нелинейных свойств (крутизны нелинейной зависимости напряжение-деформация) методом конечных элементов. **Результаты.** В результате установлены различия в спектральном составе моделируемых импульсов. Сильное проявление нелинейных свойств характеризуется резкими изменениями фаз колебаний, в фазах высокой скорости нарастания амплитуд. В нелинейных спектрах происходит перераспределение энергии в более высокочастотную область, кратную основному пику, тем сильнее, чем сильнее нелинейность кривой напряжение-деформация.

Ключевые слова: землетрясения, нелинейность, сильные воздействия, грунтовая толща.

Для цитирования: Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Габараев А.Ф., Мерзликин Т.И. Нелинейные колебания грунтовой толщи по инструментальным и численным данным. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 70-82. DOI: [10.46698/VNC.2021.77.59.006](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.77.59.006).

GEOPHYSICS

[DOI: 10.46698/VNC.2021.77.59.006](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.77.59.006)

Original paper

Nonlinear vibrations of soil strata according to instrumental and numerical data

V.B. Zaalishvili , **D.A. Melkov** , **A.F. Gabaraev** , **T.I. Merzlikin** 

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

Received: 21.10.2021, revised: 18.11.2021, accepted: 29.11.2021

Abstract: Relevance. Studies of nonlinear phenomena in soils, which began in Russia almost 60 years ago, have stimulated the modern development of studies of seismically anomalous phenomena in the complex of geophysical indicators observed during strong and destructive earthquakes. In addition to scientific interests, the issue of forecasting the behavior of soils and structures from the point of view of adequacy to the expected manifestation of seismic impact is of great interest. An adequate study of nonlinearity, which is an integral characteristic of natural phenomena, will make it possible to bring the corresponding antiseismic measures closer to the real features of the manifestations of the seismic effect during strong earthquakes. **Aim.** The aim of the work was to build a computational model describing the phenomena observed in a soil medium under strong seismic effects and to compare the computed data with the results of instrumental observations. **Methods.** The paper analyzes an instrumental record obtained on soft soils using wavelet analysis. With the help of the finite element method pulses of different duration are modeled in a medium with different degrees of nonlinear properties manifestation (steepness of nonlinear stress-strain dependence). **Results.** As a result, differences in the spectral composition of the modeled pulses were determined. A strong manifestation of nonlinear properties is characterized by sharp changes in the phases of vibrations, in the phases of a high rate of amplitude rise. In nonlinear spectra, the energy is redistributed to a higher frequency region, which is a multiple of the main peak and the stronger the nonlinearity of the stress-strain curve is stronger.

Keywords: earthquakes, nonlinearity, strong impacts, soil strata.

For citation: Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Gabaraev A.F., Merzlikin T.I. Nonlinear vibrations of soil strata according to instrumental and numerical data. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 70-82. DOI: 10.46698/VNC.2021.77.59.006.

Введение

При интенсивных воздействиях в рыхлых грунтах наблюдаются различные нелинейные явления, выраженные, как правило, в увеличении сейсмического эффекта. В то же время, при сильных воздействиях сейсмический эффект из-за нелинейности грунтов может иногда значительно уменьшаться, как например при Нотридском землетрясении (США, 1994). Таким образом, приближение к реальным условиям процессов сейсмического воздействия и реакции грунтов должно предполагать непосредственный учет нелинейных свойств грунтов.

Перечислим кратко основные признаки нелинейных систем. Это – неприменимость принципа суперпозиции, свободные колебания нелинейных систем не всегда затухающие. Так при наличии сопротивления в нелинейных системах могут наблюдаться периодические, устойчивые, свободные колебания. В нелинейных системах вынужденные колебания от гармонической силы могут происходить не только с

ее периодом, но и с периодами, равными целым кратным периода возмущающей силы, т.е. при этом можно наблюдать несколько резонансов. И, самое главное, собственный период нелинейной системы, как правило, зависит от начальных условий, в частности, от величины амплитуды возмущающей силы.

При воздействии на грунтовую толщу относительно умеренного динамического воздействия, грунты ведут себя в соответствии с основными положениями теории упругости [Снеддон, Берри, 1961], что позволяет определять допустимые нагрузки, при которых в зданиях и сооружениях не возникают напряжения или перемещения, опасные для их прочности. Физические законы упругости рыхлых грунтов при малых деформациях отражают взаимно однозначные зависимости между значениями напряжений и деформаций, в отличие от законов пластичности, где напряжения зависят от процесса изменения деформаций.

Основным физическим законом теории упругости является обобщенный закон Гука, согласно которому нормальные напряжения линейно зависят от деформаций. С помощью указанного закона решается весьма обширный круг практических задач, правда, пределы его применимости ограничены.

Отметим, что строгой линейности в таком фундаментальном физическом законе, как закон Гука, все же нет – существует определенный допуск (по интервалу напряжений, отклонение от линейности) в пределах которого этот закон выполняется. Известно, что еще в 1849 г. Британская Королевская комиссия по железу «отменила» закон Гука и рекомендовала пользоваться нелинейными зависимостями между деформациями и напряжениями [Белл, 1984].

Первой работой, которая была посвящена вопросам непосредственной оценки физической нелинейности в грунтах, явилась теоретическая работа А.В.Николаева [Николаев, 1967]. Позже А.А.Гвоздев и В.В.Кузнецов исследовали нелинейные явления в эпицентре небольшого взрыва [Гвоздев, Кузнецов, 1977]. Как показывают соответствующие исследования, в формировании сейсмических волновых полей в реальных средах определенную роль играет физическая нелинейность, характеризующаяся нелинейностью связи напряжения и деформации.

Экспериментальные исследования в методическом плане необходимо было проводить на участках с известной проявленной интенсивностью землетрясения, что предполагает сопоставление параметров нелинейности соответствующих грунтов. С другой стороны, из существующих приемов оценки нелинейности необходимо было избрать наиболее оптимальные, дающие возможность получения указанных параметров в виде, который мог быть непосредственно использован в последующем, при решении практических задач сейсмического микрорайонирования.

Действительно, при интенсивных сейсмических воздействиях, в грунтах возникают явления, которые не могут быть описаны с помощью линейной теории упругости. В частности, при возрастании возмущающей силы и амплитуды колебаний фундаментов наблюдается смещение максимума резонансной кривой в сторону длинных периодов. С увеличением площади фундамента, при постоянной возмущающей силе и постоянном давлении на грунт, наблюдается увеличение частоты его собственных колебаний. Хорошо видно, что при трансформации линейно-упругих деформаций в нелинейно-упругие энергия «перекачивается» в ВЧ диапазон спектра, оставаясь постоянной, и площадь реального спектра колебаний не меняется – рис. 1 [Bonnet, Heitz, 1994]. Проявление нелинейных свойств грунтов, в высокочастотной области спектра инструментально было установлено одним из авторов

(Заалишвили) ещё в 1987 г. при исследованиях грунтов мощным невзрывным импульсным источником СИ – 32 на территории г. Гори (рис. 2) [Заалишвили, 1987].

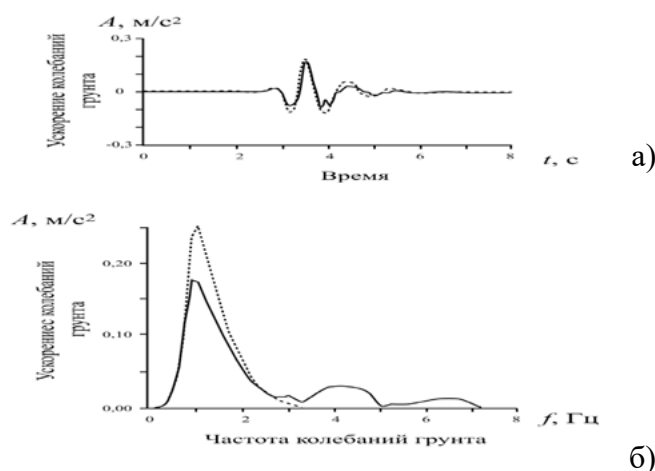


Рис. 1. Сопоставление расчетных акселерограмм (а) и соответствующих спектров Фурье (б) в линейном (пункт.) и нелинейном решениях [Bonnet, Heitz, 1994] /

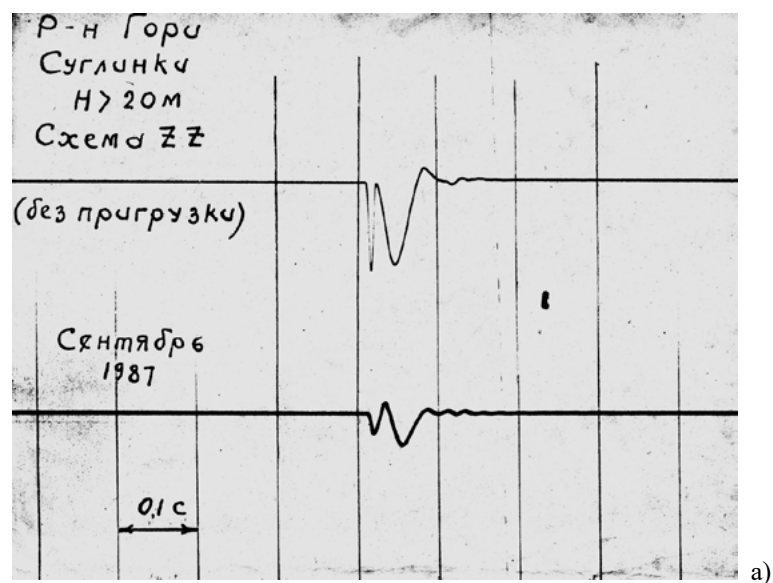
Fig. 1. Comparison of the calculated accelerograms (a) and the corresponding Fourier spectra (b) in the linear (dash line) and nonlinear solutions [Bonnet, Heitz, 1994]

Хорошо видно, что на первой записи наблюдается неупругая реакция грунта, и возврат колебаний в исходное положение связан с типом регистрирующего прибора и его инерционными характеристиками.

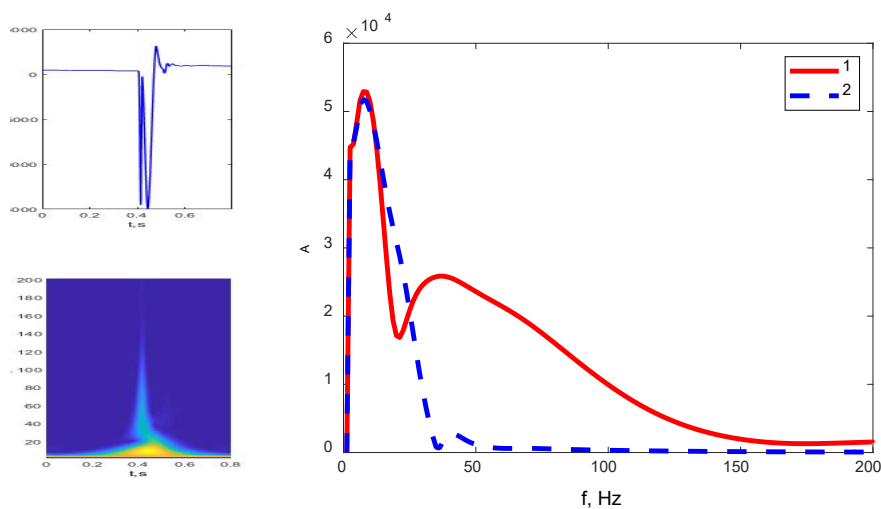
При интенсивных нагрузках на «мягких» или рыхлых грунтах могут наблюдаться весьма сильные остаточные деформации грунтов, во много раз превышающие упругие. Задачи эти решаются более или менее приближенно на основе использования различных моделей поведения (Фогхт, Прандтль, С.С. Григорян и т.д.) [Григорян, 1960; Ержанов и др., 1984].

Наилучшее приближение к реальным условиям землетрясения с точки зрения, например, сейсмического микрорайонирования должно предполагать непосредственный учет степени нелинейности грунтов. Действительно, многие классические законы сейсмологии плохо отображают явления, наблюдающиеся в ближней зоне землетрясения. Законы, основанные на теории малых деформаций здесь, практически, не выполняются. При интенсивных воздействиях меняются модули упругости грунтов, падает их несущая способность, характеризуемая, в большинстве своем, «мягкой» нелинейностью. Кроме того, волны в процессе распространения обогащаются высокочастотными составляющими, т.е. идет накопление нелинейности и т.д.

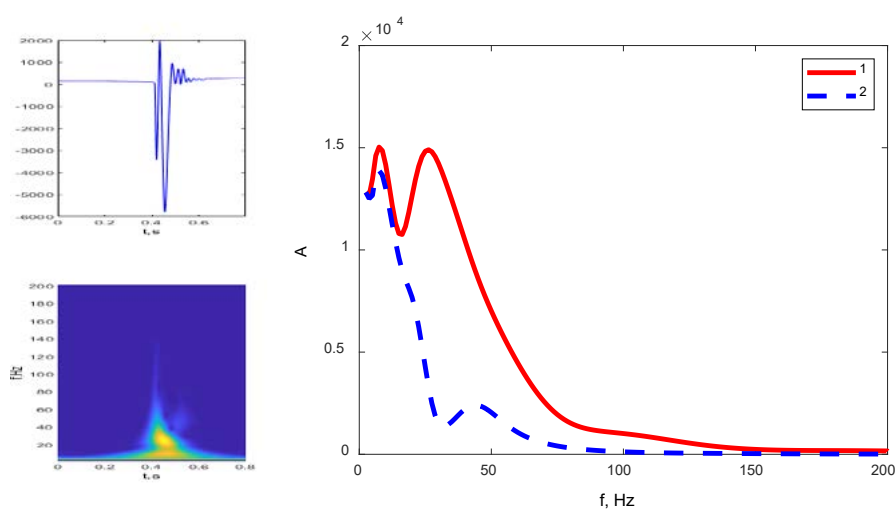
Поскольку при сильных землетрясениях (Ниигата, 1966; Кобе, 1995) наблюдались разжижение грунта и неравномерные осадки сооружений, будет физически обоснованным оценить возможную неупругость грунтов при интенсивных природных (сейсмических) и искусственных динамических (импульсных и вибрационных) воздействиях (рис. 2) – актуальнейшая задача инженерной сейсмологии, сейсмостойкого строительства, инженерной геофизики и геотехнологии. Это обуславливает необходимость прямой инструментальной оценки величины зон неупругости и нелинейности, которая становится вполне реализуемой благодаря применению современной цифровой аппаратуры. Проведение экспериментов должно сопровождаться разработкой численных моделей, описывающих наблюдаемые явления. При этом на начальном этапе может быть рассмотрена модель плоской свободной



a)



б)



в)

Рис. 2. Эксперимент в г. Гори, 1987 г. а) Инструментальная запись; б), в) вейвлет разложение сигналов и спектральный состав высокочастотной – 1 и низкочастотной – 2 составляющих /
Fig. 2. Experiment in Gori, 1987 а) Instrumental recording; б), в) wavelet decomposition of signals and spectral composition of high-frequency – 1 and low-frequency – 2 components

поверхности при различных уровнях воздействия, как, например, в работе [Gicev, et al., 2021], в которой использован метод конечных разностей. В данной работе рассматривается построение модели на основе метода конечных элементов (МКЭ).

Метод конечных элементов

Расчетную среду представляют в виде совокупности элементов, в целом, образующих модель с произвольными границами раздела. На модели выделяют отдельные части подсистемы, разделенные на конечные элементы. Входными данными при этом являются [Полтавцев и др., 1998]:

- номера закрепленных узлов;
- объемная масса ρ , коэффициент Пуассона μ и динамический модуль упругости E для каждого элемента;
- номера узлов, для которых выдаются результаты расчетов;
- входная акселерограмма (или амплитуда и период синусоиды).

В результате расчета для заданных номеров узлов конечно-элементной модели выдаются:

- акселерограммы с заданным шагом дискретизации;
- спектр реакции ускорения, построенный по расчетной акселерограмме;
- максимальная величина ускорения.

Подробное описание метода конечных элементов дается в работе [Бате, Вильсон, 1982].

Согласно МКЭ континуум рассматривают в качестве совокупности дискретных элементов (границы которых определяются узловыми точками). Делают допущение, что реакция континуума на внешнее воздействие может быть описана реакцией узловых точек.

На основе принципа д'Аламбера инерционные силы рассматривают как составную часть объемных сил. В результате с учетом диссипации уравнение примет вид:

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = R \quad (1)$$

где M – матрица масс,

K – матрица жесткости ансамбля;

C – матрица демпфирования.

На практике часто используются приближенные методы вычисления матриц. Так, для треугольного элемента матрицу M вычисляют, предполагая, что в узле сосредоточена $1/3$ всей массы элемента. Матрицу C вычисляют по следующей формуле, предполагая демпфирование по Релею [Бате, Вильсон, 1982]:

$$C = \alpha M + \beta K, \quad (2)$$

где α и β – постоянные, определяемые обычно по значениям коэффициента демпфирования системы для нескольких частот колебаний.

Зависимость напряжение-деформация

Поведение свойств грунта описывается зависимостью, связывающей функции деформации $\gamma(z, t)$ и касательного напряжения $\tau(z, t)$ (t – время) [Hardin, Drnevich, 1972; Bonnet, Heitz, 1995]:

$$\tau = G(\gamma)\gamma, \quad G(\gamma) = \frac{G_0}{1 + \frac{|\gamma|}{\gamma_0}}, \quad \gamma_0 = \frac{\tau_{\max}}{G_0}, \quad (3)$$

$\tau_{\max}$ – предельно допустимое (максимальное) значение касательного напряжения. Иначе,

$$G(\gamma) = \frac{G_0}{1 + \alpha|\gamma|}, \quad (4)$$

где $\alpha = \frac{1}{\gamma_0}$ – нелинейный параметр, соответствующий тому или иному типу

грунта [Banab et al, 2012; Voaga et al., 2021].

Далее вводится в рассмотрение коэффициент, т.н. коэффициент потерь, зависящий от деформации, и определенной зависимостью связанный с модулем сдвига $G(\gamma)$:

$$\beta(\gamma) = \beta_0 + [\beta_m - \beta_0]\varphi(\gamma), \quad (5)$$

$$\varphi(\gamma) = \frac{\alpha|\gamma|}{1 + \alpha|\gamma|}$$

β_0 – коэффициент поглощения при слабом уровне воздействия,

β_m – коэффициент поглощения при деформациях грунта с нелинейными свойствами при интенсивной нагрузке на среду.

Нелинейные колебания грунта по данным расчета численным способом метода конечных элементов (МКЭ) сейсмического микрорайонирования

Задачу определения реакции грунтового массива на динамическое воздействие, учитывая нелинейные свойства грунта, можно решить, используя метод конечных элементов (МКЭ) подобно подходу, предложенному В.Б. Заалишвили и М.Г. Отиашвили [Заалишвили и др., 2001].

При этом, грунтовая среда или толща представлена в виде двухмерного массива, аппроксимированного треугольными конечными элементами. Сетка из треугольных элементов позволяет достаточно точно описать любую форму рельефа и слоистой структуры грунтового массива со своими физико-механическими параметрами. В пределах конечного элемента грунт однороден с присущими ему характеристиками, изменяющимися во времени в зависимости от интенсивности воздействия. В качестве воздействия используют акселерограмму землетрясения горизонтального или вертикального направления, задаваемую, как правило, к основанию грунтового массива. Грунт находится в условиях плоской деформации и рассматривается как ортотропная среда. Оси ортотропии совпадают с направлениями главных напряжений.

Задачу нелинейной динамики грунтового массива решают путем последовательного определения напряженно-деформированного состояния системы в каждый момент времени (дискретизации акселерограммы), учитывая состояние системы на предыдущем шаге. На каждом шаге система – линейно-упругая.

Для построения расчетной модели рассматривалась толща глинистых грунтов с $V_s=300$ м/с мощностью 20 метров. Расчетная сетка строилась для прямоугольной области шириной 50 метров. Внешнее воздействие задавалось в нижней части массива. Использовался генератор треугольных сеток, максимальный размер элемента был задан не более 0.5 м.

Таким образом, если рассматривать, что на длину волны приходится не менее 10 узловых точек, моделируемая максимальная частота колебаний или максимальная частота колебаний, которая может быть рассчитана для данной сетки, составит 60 Гц. В результате анализа шаг по времени был выбран равным 0.02 с, что соответствует частоте дискретизации 50 Гц. Внешнее воздействие моделировалось гармоническим колебанием, нормированным функцией Гаусса, т.е. функцией локализованной по частоте и времени и, таким образом, по сути, представляющей собой вейвлет функцию (действительный вейвлет Морле):

$$U(f,t)=U_0 \sin (2\pi f (t-t_0)) \exp ((t-t_0)^2/\sigma^2) \quad (6)$$

где f – частота, t – время,

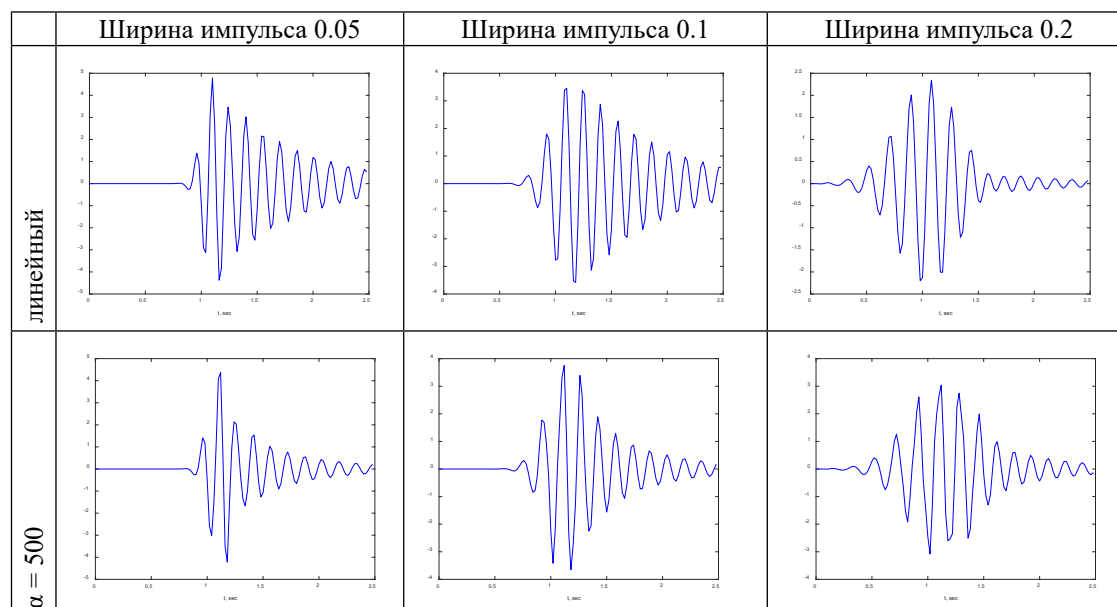
t_0 – момент времени, в который задается максимум (центр) функции,

σ^2 – параметр, определяющий ширину (продолжительность) импульса.

Известно, что продолжительность колебаний является важным фактором, влияющим на повреждаемость объектов [Аптикаев, 2021].

Параметр t_0 был выбран равным 1 с при общей продолжительности рассчитываемого интервала 2.5 с. Частота воздействия – 5 Гц. Расчеты выполнялись для различной ширины импульса: 0.05, 0.1 и 0.2 и параметра нелинейности α – 0 (линейный расчет), 500 и 2000. Результаты представлены на рис. 3 и 4.

На каждом временном шаге выполнялись расчеты уравнения (1) с учетом свойств среды, зависящих от текущих деформаций в соответствии с выражениями (4)-(5).



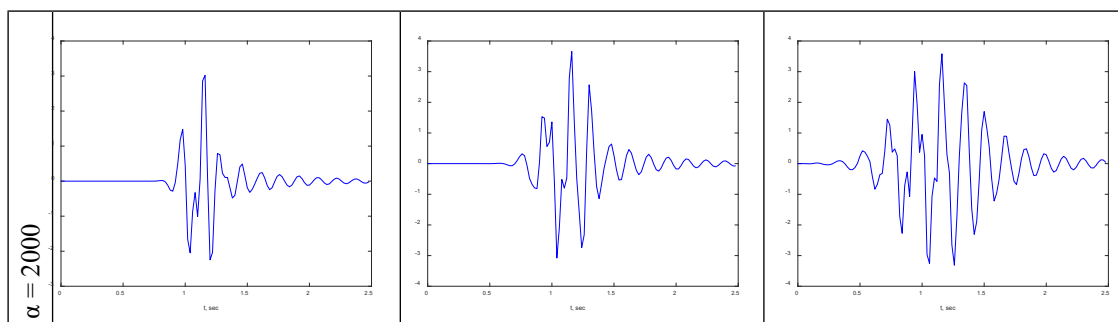
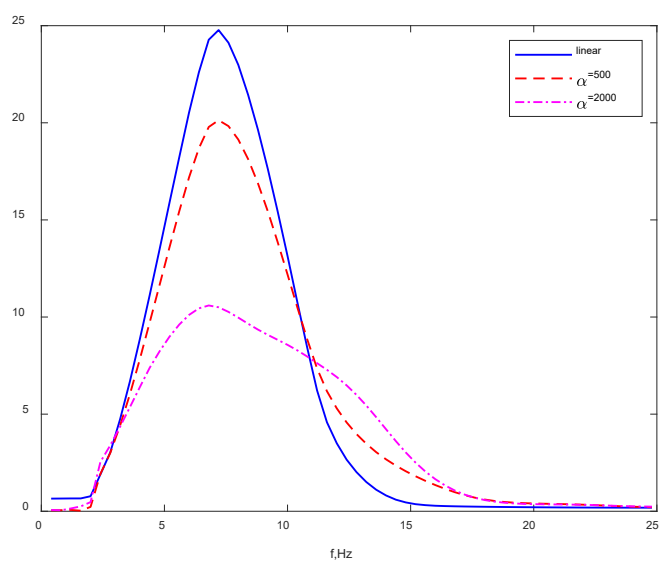
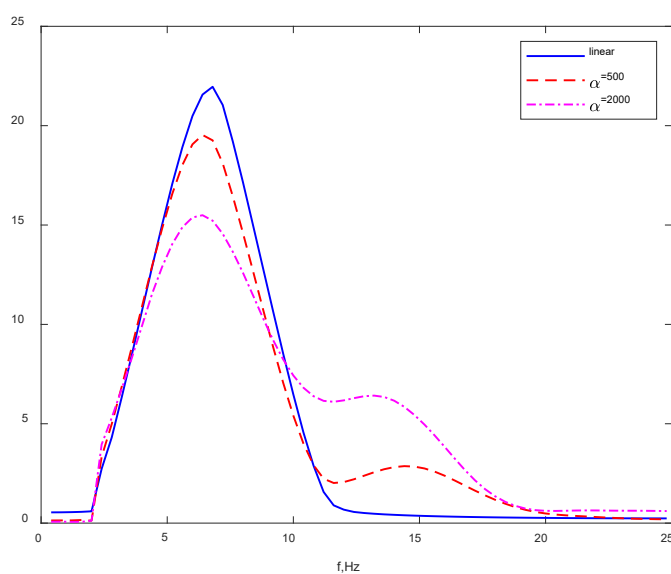


Рис. 3. Результаты моделирования методом конечных элементов нелинейного отклика грунтовой толщи при различном параметре нелинейности α и длительности импульса /

Fig. 3. The results of modeling the nonlinear response of the soil layer by the finite elements method for different nonlinearity parameter α and pulse duration



a)



b)

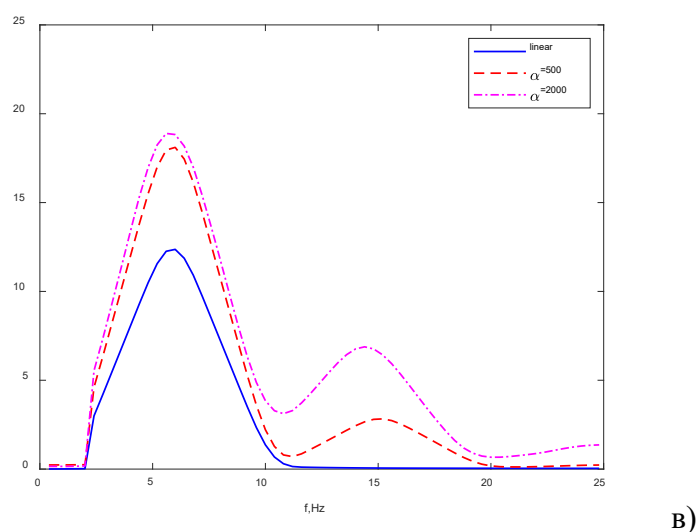


Рис. 4. Спектры сигналов при ширине импульса 0,05 (а), 0,1 (б) и 0,2 (в) /
Fig. 4. Signal spectra at pulse widths of 0.05 (a), 0.1 (b), and 0.2 (c)

Результаты и обсуждение

При интенсивных воздействиях в «мягких» или рыхлых грунтах наблюдаются различные нелинейные явления, выраженные, как правило, в росте сейсмического эффекта и различных аномалиях [Николаев, 1987; Zaalishvili, 2016; Zaalishvili et al., 2019; Negmatullaev et al., 1999; Kuo et al., 2019, 2021; Huang et al., 2020; Wen et al., 1994]. При сильных воздействиях сейсмический эффект, обусловленный нелинейностью грунтов, иногда значительно уменьшается. Это подтверждается результатами макросейсмических обследований, записями сильных землетрясений и прямыми экспериментальными данными (например, запись на территории г. Гори в 1987 г.) [Заалишвили, 1987]. Актуальность исследований также обуславливается переходом от традиционных интенсивностей к ускорениям при построении карт детального сейсмического районирования и возможным проявлением сильного землетрясения в ближней зоне Владикавказского разлома с потенциалом М 7,1 [Чернов, 2021; Аптикаев, 2021].

На основе экспериментальных зависимостей «Напряжение-деформация» реализован алгоритм МКЭ расчета нелинейного отклика грунтовой толщи на сильное воздействие. Моделировались импульсы различной продолжительности в среде с различной степенью проявления нелинейных свойств (крутизны нелинейной зависимости «Напряжение-деформация»). В результате анализа установлены различия в спектральном составе моделируемых импульсов. Сильное проявление нелинейных свойств характеризуется резкими изменениями фаз колебаний, в фазах высокой скорости нарастания амплитуд, которые могут быть приняты за вступления сейсмических волн другого типа.

В нелинейных спектрах происходит перераспределение энергии в более высокочастотную область, кратную основному пику, тем сильнее, чем сильнее нелинейность кривой «Напряжение-деформация».

Выводы

Оценка нелинейных свойств грунтов проявляющихся при интенсивных природных (сейсмических) и искусственных динамических (импульсных и вибрационных) воздействиях представляет собой актуальную задачу инженерной сейсмологии, сейсмостойкого строительства, инженерной геофизики и геотехнологии. Это обуславливает необходимость прямой инструментальной оценки величины зон неупругости и нелинейности, которая становится вполне реализуемой благодаря применению современной цифровой аппаратуры. При этом проведение экспериментов должно сопровождаться разработкой численных моделей, описывающих наблюдаемые явления.

На основе метода конечных элементов (МКЭ) реализован алгоритм расчета нелинейного отклика грунтовой толщи на сильное воздействие. Установлено перераспределение энергии в более высокочастотную область, кратную основному пику, совпадающее с экспериментально наблюдаемыми явлениями.

Литература

1. Аптикаев Ф. Ф. О картах ОСР в ускорениях. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №1. – С. 95–103. DOI: 10.46698/VNC. 2021.24.94.008.
2. Бате К., Вилсон Е. Численные методы анализа и метод конечных элементов. / Пер. с англ. – М.: Стройиздат, 1982. – 448 с.
3. Гвоздев А.А., Кузнецов В.В. О явлении частичного откола. // Изв. АН СССР, Физика Земли. – 1977. – №2. – С. 21–27.
4. Григорян С.С. Об основных представлениях динамики грунтов. // ПМ. – 1960. – Т. 24. №6. – С. 1057–1072.
5. Ержанов Ж.С., Журбаев И.Ж., Зусьман А.М., Пикановский В.А., Синяев А.Я., Шапилов В.Н. Изучение механических характеристик грунтов при динамических воздействиях. // Сейсмическое микрорайонирование. – М.: Наука, 1984. – С. 187–197.
6. Заалишвили В.Б. Опыт применения инструментального метода сейсмического микрорайонирования. // Сейсмическое микрорайонирование территорий городов и крупных строок. – Тбилиси: Мецниереба, 1987. – С. 65–85.
7. Заалишвили В.Б., Джавришвили И.А., Отинашвили М. Г. Расчет нелинейных колебаний грунтовой толщи с помощью численного способа МКЭ сейсмического микрорайонирования. // Теория сооружений и сейсмостойкость. №1. Тбилиси: ИСМИС им. К.С. Завриева, 2001. — С. 67–73.
8. Николаев А.В. Сейсмические свойства рыхлой среды. // Физика Земли. – 1967. – №2. – С. 23–31.
9. Николаев А.В. Проблемы нелинейной сеймики. // Проблемы нелинейной сеймики. – М.: Наука, 1987. – С. 2–5.
10. Снеддон И.Н., Берри Д.С. Классическая теория упругости. – М.: Физ.-Мат. ГИЗ, 1961. – 219 с.
11. Чернов Ю.К. Опыт детальных вероятностных оценок возможных сейсмических воздействий на территории РСО-Алания. // Геология и Геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №2. – С. 87–102. DOI: 10.46698/VNC. 2021.83.10.007.
12. Banab K.K., Kolaj M., Motazedian D., Sivathayalan S., Hunter J.A., Crow H.L., Pyne M. Seismic Site Response Analysis for Ottawa, Canada: A Comprehensive Study Using Measurements and Numerical Simulations. // Bulletin of the Seismological Society of America. – 2012. – Vol. 102(5). – pp. 1976–1993. DOI: 10.1785/0120110248
13. Boaga J., Barone I., Deidda G.P., Cassiani G., & Strobbia C. Multi-drive level Vibroseis test to evaluate the non-linear response of soft soils. // Soil Dynamics and Earthquake Engineering.

– 2021. – Vol. 149. Article 106861. DOI: 10.1016/j.soildyn.2021.106861

14. Bonnet G., Heitz J.F. Non linear seismic response of a soft layer. 10-th European conference on Earthquake Engineering. // Duma(et). 1995 Balkema, Rotterdam, ISBN 9054105283. – pp. 361-364.

15. Gicev V., Trifunac M.D., & Todorovska M.I. Reduction of peak ground velocity by nonlinear soil response – III: Excitation by an SV-wave pulse. // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2021. – Vol. 145. Article 106535. DOI: 10.1016/j.soildyn.2020.106535

16. Hardin B.O., Drnevich V.P. Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter effects. // J. Soil Mech. Found Div. Am. Soc. Civ. Eng. – 1972. – Vol. 98. – pp. 603–24.

17. Negmatullaev S.K., Todorovska M.I., & Trifunac M.D. Simulation of strong earthquake motion by explosions – experiments at the Lyaar testing range in Tajikistan. // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 1999. – Vol. 18(3). – pp. 189-207. DOI: 10.1016/s0267-7261(98)00044-x

18. Seed H.B., Wong R.T., Idriss I.M., & Tokimatsu K. Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of Cohesionless Soils. // Journal of Geotechnical Engineering. – 1986. – Vol. 112(11). – pp. 1016–1032. DOI:10.1061/(asce)0733-9410(1986)112:11(1016)

19. Huang Jyun-Yan, Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Kuo Chun-Hsiang, Wen Kuo-Liang, Chen Chun-Te 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. Kuo C.H., Huang J.Y., Lin C.M., Hsu T.Y., Chao S.H., & Wen K.L. Strong Ground Motion and Pulse-Like Velocity Observations in the Near-Fault Region of the 2018 M-w 6.4 Hualien, Taiwan, Earthquake. // Seismological Research Letters. – 2019. – Vol. 90(1). – pp. 40-50. DOI: 10.1785/0220180195

21. Kuo C.H., Huang J.Y., Lin C.M., Chen C.T., & Wen K.L. Near-surface frequency-dependent nonlinear damping ratio observation of ground motions using SMART1. // Soil Dynamics and Earthquake Engineering. – 2021. – Vol. 147, Article 106798. DOI: 10.1016/j.soildyn.2021.106798

22. Wen K.L., Beresnev I.A., Yeh Y.T. Non-linear soil amplification inferred from downhole strong seismic motion data. // Geophysical Research Letters. – 1994. – Vol. 21. – pp. 2625-2628.

23. Zaalishvili V.B. Spectral characteristics of seismic waves at strong ground motions. // International Journal of GEOMATE. – 2016. – Vol. 10(2). – pp. 1706-1717. DOI:10.21660/2016.20.5310

24. Zaalishvili V., Kanukov A., Melkov D., & Burdzieva O. Transformation of spectral peculiarities of the soil response to dynamic impacts of varying value. // Akustika. – 2019. – Vol. 34. – pp. 188-194.

References

1. Aptikaev F.F. About GSZ maps in acceleration units. Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11. No. 1. pp. 95–103. DOI: 10.46698/VNC. 2021.24.94.008(in Russ.)

2. Bathe K., Wilson E.L. Numerical methods in finite element analysis. 1976. 319 p.

3. Gvozdev A.A., Kuznetsov V.V. About the phenomenon of partial spalling. Izv. USSR Academy of Sciences, Physics of the Earth. 1977. No.2. pp.21–27. (In Russ.)

4. Grigoryan S.S. On the basic concepts of soil dynamics. PM. 1960. Vol. 24. No. 6. pp.1057–1072. (In Russ.)

5. Erzhanov Zh.S., Zhurbaev I.Zh., Zusman A.M., Pikanovsky V.A., Sinyaev A.Ya., Shatsilov V.N. Study of the mechanical characteristics of soils under dynamic loadings. Seismic microzonation. Moscow. Nauka, 1984. pp. 187–197. (In Russ.)

6. Zaalishvili V.B. Experience of using the instrumental method of seismic microzonation. Seismic microzonation of cities and large construction sites. Tbilisi. Metsniereba, 1987. pp. 65–85. (In Russ.)

7. Zaalishvili V.B., Dzhavrishvili I.A., Otinashvili M.G. Calculation of nonlinear vibrations of soil strata using the numerical method of FEM of seismic microzonation. Theory of structures and seismic stability. No. 1. ISMIS after K.S. Zavriev. Tbilisi, 2001. pp. 67–73. (In Russ.)
8. Nikolaev A.V. Seismic properties of a soft medium. Physics of the Earth. No.2. 1967. pp. 23–31. (In Russ.)
9. Nikolaev A.V. Problems of nonlinear seismics. Problems of nonlinear seismics. Moscow. Nauka, 1987. pp. 5–2. (In Russ.)
10. Sneddon I.N., Berry D.S. The classical theory of elasticity. Moscow. Phys.-Mat. GIZ, 1961. 219 p. (In Russ.)
11. Chernov Yu. K. The experience of detailed probabilistic assessments of possible seismic effects on the territory of North Ossetia-Alania. Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11. No. 2. pp. 87–102. DOI: 10.46698/VNC.2021.83.10.007(in Russ.)
12. Banab K.K., Kolaj M., Motazedian D., Sivathayalan S., Hunter J.A., Crow H.L., Pyne M. Seismic Site Response Analysis for Ottawa, Canada: A Comprehensive Study Using Measurements and Numerical Simulations. Bulletin of the Seismological Society of America, 2012. Vol. 102. No.5. pp. 1976–1993. DOI: 10.1785/0120110248
13. Boaga J., Barone I., Deidda G.P., Cassiani G., Strobbia C. Multi-drive level Vibroseis test to evaluate the non-linear response of soft soils. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2021. 149. Article 106861. DOI: 10.1016/j.soildyn.2021.106861
14. Bonnet G., Heitz J.F. Nonlinear seismic response of a soft layer. 10-th European conference on Earthquake Engineering. Duma(et). 1995. Balkema, Rotterdam, ISBN 9054105283. pp. 361–364.
15. Gicev, V., Trifunac, M. D., & Todorovska, M. I. Reduction of peak ground velocity by nonlinear soil response – III: Excitation by an SV-wave pulse. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2021. Vol. 145. Article 106535. DOI: 10.1016/j.soildyn.2020.106535
16. Hardin B.O., Drnevich V.P. Shear modulus and damping in soils: measurement and parameter effects. J. Soil Mech. Found Div. Am. Soc. Civ. Eng. 1972. Vol. 98. pp. 603–24.
17. Negmatullaev S.K., Todorovska M.I., Trifunac, M.D. Simulation of strong earthquake motion by explosions – experiments at the Lyaar testing range in Tajikistan. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 1999. Vol. 18. No. 3. pp. 189–207. DOI: 10.1016/s0267-7261(98)00044-x
18. Seed H.B., Wong R.T., Idriss I.M., Tokimatsu K. Moduli and Damping Factors for Dynamic Analyses of Cohesionless Soils. Journal of Geotechnical Engineering, 1986. Vol. 112. No. 11. pp. 1016–1032. DOI:10.1061/(asce)0733-9410(1986)112:11(1016)
19. Huang Jyun-Yan, Zaalishvili V. B., Melkov D. A., Kuo Chun-Hsiang, Wen Kuo-Liang, Chen Chun-Te Progress of Soil Nonlinearity Researches of Recent Years in Russia and Taiwan. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10. No. 2. pp. 95–112. DOI: 10.46698/VNC.2020.28.93.007.
20. Kuo C.H., Huang J.Y., Lin C.M., Hsu T.Y., Chao S.H., Wen K.L. Strong Ground Motion and Pulse-Like Velocity Observations in the Near-Fault Region of the 2018 M-w 6.4 Hualien, Taiwan, Earthquake. Seismological Research Letters, 2019. Vol. 90. No. 1. pp. 40–50. DOI: 10.1785/0220180195
21. Kuo C. H., Huang J. Y., Lin C. M., Chen C. T., & Wen K. L. (2021). Near-surface frequency-dependent nonlinear damping ratio observation of ground motions using SMART1. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2021. Vol. 147. Article 106798. DOI: 10.1016/j.soildyn.2021.106798
22. Wen K. L., Beresnev I.A., Yeh Y.T. Non-linear soil amplification inferred from downhole strong seismic motion data. Geophysical Research Letters. 1994. Vol. 21. pp. 2625–2628.
23. Zaalishvili V.B. Spectral characteristics of seismic waves at strong ground motions. International Journal of GEOMATE, 2016. Vol. 10(2). pp. 1706–1717. DOI:10.21660/2016.20.5310
24. Zaalishvili V., Kanukov A., Melkov D., Burdzieva O. Transformation of spectral peculiarities of the soil response to dynamic impacts of varying value. Akustika, 2019. Vol. 34. pp 188–194.

УДК 550.837

DOI: [10.46698/VNC.2021.77.30.007](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.77.30.007)

Оригинальная статья

Результаты оценки свойств грунтов Абовянского специального подземного хранилища газа по инженерно-геофизическим исследованиям

Дж.К. Карапетян^{id}, А.З. Чилингарян^{id}, К.А. Карапетян^{id}, Г.А. Мкртчян^{id}

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

Статья поступила: 24.10.2021, доработана: 27.11.2021, принята к публикации: 02.12.2021

Резюме: Актуальность работы. В статье излагаются результаты инженерно-геофизических исследований на территории новой компрессорной станции Специального подземного хранилища газа (СПХГ) в г. Абовян (Армения). Учитывая то, что Республика Армения находится в сейсмоактивной зоне, проведение данных исследований является весьма актуальным, а новая компрессорная станция Специального подземного хранилища газа является особо важным объектом. **Целью работы** является выявление для данной территории особенности удельного электрического сопротивления грунтов, наличия блуждающих токов (БТ), оценка коррозионной агрессивности грунтов, изучение сейсмических условий и оценка ожидаемой сейсмической интенсивности на территории, намеченной под строительство. **Методы работы.** Определение удельного (кажущегося) электрического сопротивления грунтов исследуемой территории производилось методом электропрофилирования с использованием симметричной четырехэлектродной установки Веннера. В статье представлены пункты измерения удельного электрического сопротивления грунтов на территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ, выявлено наличие блуждающих токов, приведены таблицы степени коррозионной агрессивности грунтов, указаны места наличия опасного уровня блуждающих токов. Также проведены работы по сейсмическому микрорайонированию для определения величины ожидаемой сейсмической интенсивности конкретной территории компрессорной станции. Ожидаемая сейсмическая интенсивность на данной территории определена на основе анализа инженерно-геологических материалов с учетом результатов полевых инженерно-сейсмометрических инструментальных исследований. С помощью малоглубинной сейсморазведки были определены скорости распространения сейсмических волн. Измерения проводились горизонтально-ориентированным сейсмоприемником СМ-3 (вертикальный удар). Ударные волны создавались импульсным возбуждением. Для обеспечения необходимой мощности возбуждения импульсное воздействие создавалось с помощью падающего груза. **Результаты работы.** В статье приведены сейсмические условия территории, результаты сейсмометрических исследований, данные по наблюдениям микросейсм, спектры Фурье преобладающих периодов по некоторым точкам наблюдений, схема инженерно-сейсмометрических наблюдений. В результате проведенных исследований установлено, что грунтовые условия данной территории относятся к грунтам первой категории по сейсмическим свойствам. Ожидаемую сейсмическую опасность исследованной территории необходимо характеризовать следующими значениями: I=7 баллов или PGA=0,24 g.

Ключевые слова: удельное сопротивление, блуждающие токи, коррозия, сейсмическая опасность, категория грунтов, Специальное подземное хранилище газа.

Для цитирования: Карапетян Дж.К., Чилингарян А.З., Карапетян К.А., Мкртчян Г.А., Чилингарян Т.А. Результаты оценки свойств грунтов Абовянского специального подземного хранилища газа по инженерно-геофизическим исследованиям. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 83-93. DOI: 10.46698/VNC.2021.77.30.007.

GEOPHYSICS

DOI: [10.46698/VNC.2021.77.30.007](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.77.30.007)

Original paper

Assessment results of soil properties by engineering-geophysical studies

J.K. Karapetyan , A.Z. Chilingaryan , K.A. Karapetyan , G.A. Mkrtchyan 

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

Received: 24.10.2021, revised: 27.11.2021, accepted: 02.12.2021

Abstract: Relevance. The article presents the results of engineering-geophysical studies on the territory of the new compressor station of the Special Underground Gas Storage (SPGS) in the city of Abovyan (Armenia). Considering that the Republic of Armenia is located in a seismically active zone, these studies are highly relevant, and the new compressor station of the Special Underground Gas Storage is especially important object. **The Aim** of the presented work is to identify the features of the specific electrical resistivity of soils, the presence of stray currents, assess the corrosive aggressiveness of soils, seismic conditions of the territory and the expected seismic intensity in the area designated for construction. **Methods.** The determination of the specific (apparent) electrical resistivity of the soils of the study area was carried out by the method of electrical profiling using symmetrical four-electrode Wenner setup. The article presents the points of measuring the electrical resistivity of soils in the territory of the new compressor station of the Abovyan SPGS, revealed the presence of stray currents, tables of the degree of corrosiveness of soils are given, the locations of the presence of a dangerous level of stray currents are indicated. Also works on seismic microzoning were carried out, the values of the expected seismic intensity of the compressor station territory were determined. The expected seismic intensity in this area has been determined based on analysis of engineering-geological materials, taking into account the results of field engineering-seismometric instrumental studies. By using shallow seismic surveys have determined the speed of seismic velocity. Measurements were carried out horizontally oriented seismic receiver SM-3 (vertical impact). Shock waves were generated by pulsed excitation. To provide the required excitation power the impulse action was created using a falling weight. **Results.** The article presents the seismic conditions of the territory, the results of seismometric studies, data on observations of microseisms, Fourier spectra of prevailing periods for some observation points, a scheme of engineering seismometric observations. As a result of the research carried out, it was found that that the soil conditions composing this territory belong to the soils of the first category in terms of seismic properties, the expected seismic hazard of the investigated area should be taken as $I = 7$ points or $PGA = 0.24 g$.

Keywords: resistivity, stray currents, corrosion, seismic hazard, soil category, Special Underground Gas Storage.

For citation: Karapetyan J.K., Chilingaryan A.Z., Karapetyan K.A., Mkrtchyan G.A., Chilingaryan T.A. Comparative analysis of the dynamic characteristics of various types of buildings during microseismic vibrations. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 83-93. DOI: 10.46698/VNC.2021.77.30.007.

Введение

Необходимость проведения инженерно-геофизических исследований возникает в случае специфичности решаемых задач. Одними из основных факторов, учитываемых при строительстве и эксплуатации инженерных сооружений, являются состояние и свойства грунтов. В данной статье представлены результаты инженерно-геофизических и сейсмометрических исследований на территории новой ком-

прессорной станции Специального подземного хранилища газа (СПХГ) в городе Абовян (Армения).

Цель работы – выявить особенности удельного электрического сопротивления (УЭС) грунтов, наличие блуждающих токов (БТ), оценить коррозионную агрессивность грунтов, сейсмические условия территории и ожидаемую сейсмическую интенсивность на территории, намеченной под строительство.

Работы выполнялись в соответствии с межгосударственным стандартом, с требованиями действующих нормативных документов о правилах производства геофизических исследований, согласно техническим требованиям к производству геофизических работ, а так же в соответствии с инструкцией по электроразведке (Межгосударственный стандарт ГОСТ 9.602-2005. Единая система защиты от коррозии и старения, 2006; Инженерные изыскания для строительства РСН 64-87. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка, 1987) [Инструкция по электроразведке, 1984; Rucker, 2010; Parsekian et al., 2017; Redman et al., 2018] и рекомендациями по сейсмическому микрорайонированию при инженерных изысканиях [Бабаян, Карапетян, 2011; Минасян и др., 2019].

Инженерно-геофизические исследования

Определение удельного (кажущегося) электрического сопротивления (УЭС) грунтов исследуемой территории производилось методом электропрофилирования с использованием симметричной четырехэлектродной установки Веннера AMNB, в которой $AM=MN=NB=h$, где h – глубина исследований [Воскресенский, 2010; Огильви, 1990; Инструкция по электроразведке, 1984].

Измерение УЭС грунтов производилось для глубины 2-х метров в соответствии с требованиями инженерно-геофизических изысканий прибором АЭ-72; в качестве питания использовались сухие элементы. Для определения наличия и величины блуждающих токов были выполнены замеры разности потенциалов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Разнос измерительных электродов составлял 100 м. На каждом пункте наблюдения проводились серии измерений разности потенциалов в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Пункты наблюдения блуждающих токов представлены на рисунке 1. Измерительные электроды располагались по азимуту на север – (U_1 , мВ), а затем перпендикулярно к предыдущему разносу – (U_2 , мВ). Наблюдения для каждого из направлений проводились в течение 10 минут, разности потенциалов измерялись через каждые 10 секунд.

Для определения кажущегося удельного электрического сопротивления грунтов на территории СПХГ были проведены исследования методом электропрофилирования на 26 пикетах. Места расположения пикетов представлены на рисунке 1 (рядом отмечены известные скважины). Обобщенные результаты исследований степени коррозионной агрессивности грунтов на данном участке приведены в таблице 1.

На основании полученных данных, в соответствии с Межгосударственным стандартом ГОСТ 9.602-2005 можно сделать вывод: грунты на площадке новой компрессорной станции СПХГ на глубине 2 метра характеризуются, в основном, низкой коррозионной агрессивностью, местами высокой и средней [Тараканов, 2014; Saribudak et al., 2020; Boadu, Ampadu, 2019].

Результаты изучения блуждающих токов в сводном виде представлены в таблице 2. Отсутствие блуждающих токов в таблице отмечено знаком «-», наличие – знаком «+» [Киселев, 2011; Кочешкова и др., 2012; Чилингарян, Акопян, 2011].

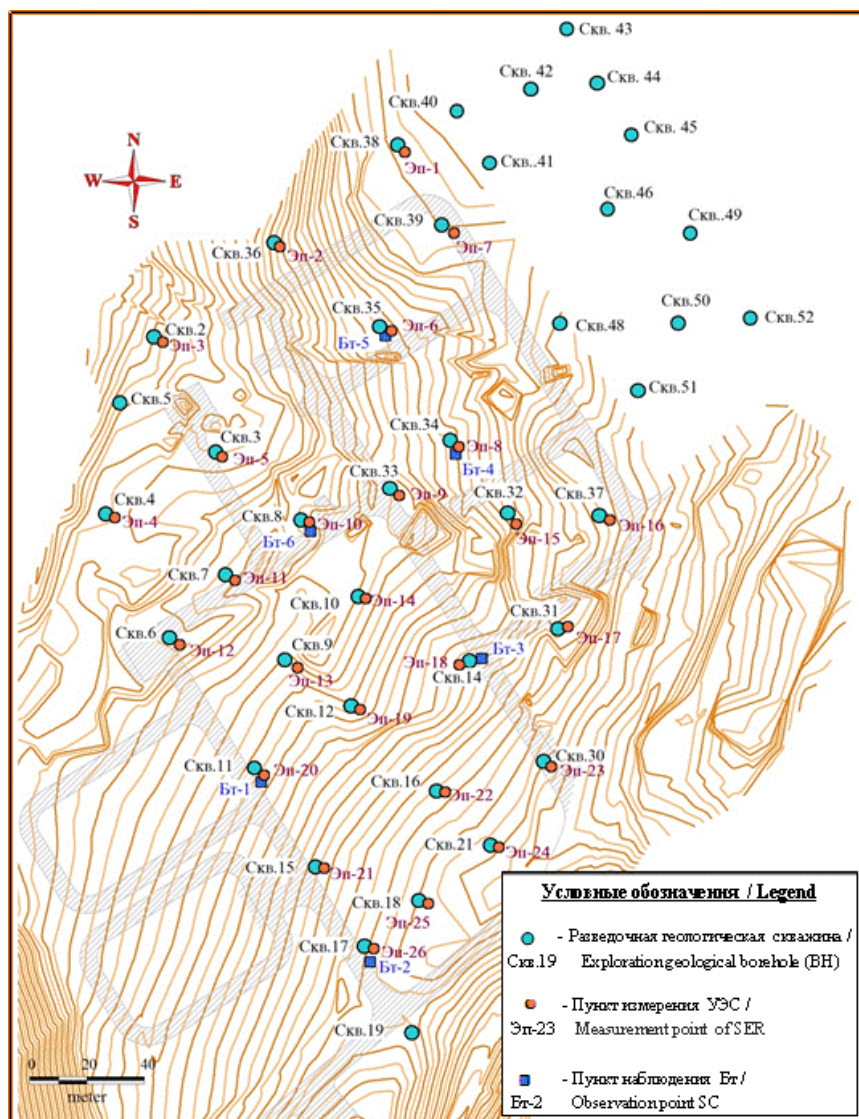


Рис. 1. Пункты измерения удельного электрического сопротивления грунтов и наблюдения блуждающих токов на территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ /
Fig. 1. Points for measuring the electrical resistivity of soils and observation point of SC on the territory of the new compressor station of the Abovyan Special Underground Gas (SUGS)

Таблица 1 / Table 1

**Степень коррозионной агрессивности грунтов на площадке новой компрессорной станции специального подземного хранилища газа (СПХГ) /
The degree of soils' corrosion activity at the site of the new compressor station of special underground gas storage (SUGS)**

№ пункта измерения / No. of the measurement point	Кажущееся удельное электрическое сопротивление, ρ_k , в Ом·м / Apparent electrical resistivity, ρ_k , ohm-meter	Степень коррозионной агрессивности грунтов / The degree of soils' corrosion activity	№ пункт измерения / No. of the measurement point	Кажущееся удельное электрическое сопротивление, ρ_k , в Ом·м / Apparent electrical resistivity, ρ_k , ohm-meter	Степень коррозионной агрессивности грунтов / The degree of soils' corrosion activity
ЭП-1 / EP-1	374,9	Низкая / Low	ЭП-14 / EP-14	17,6	Высокая / High
ЭП-2 / EP-2	189,7	Низкая / Low	ЭП-15 / EP-15	42,1	Средняя / Average

ЭП-3 / EP-3	106,8	Низкая / Low	ЭП-16 / EP-16	29,5	Средняя / Average
ЭП-4 / EP-4	315,9	Низкая / Low	ЭП-17 / EP-17	15,1	Высокая / High
ЭП-5 / EP-5	76,0	Низкая / Low	ЭП-18 / EP-18	49,5	Средняя / Average
ЭП-6 / EP-6	156,7	Низкая / Low	ЭП-19 / EP-19	49,5	Средняя / Average
ЭП-7 / EP-7	336,0	Низкая / Low	ЭП-20 / EP-20	300,8	Низкая / Low
ЭП-8 / EP-8	80,4	Низкая / Low	ЭП-21 / EP-21	385,0	Низкая / Low
ЭП-9 / EP-9	82,4	Низкая / Low	ЭП-22 / EP-22	122,6	Низкая / Low
ЭП-10 / EP-10	123,1	Низкая / Low	ЭП-23 / EP-23	181,5	Низкая / Low
ЭП-11 / EP-11	300,8	Низкая / Low	ЭП-24 / EP-24	271,3	Низкая / Low
ЭП-12 / EP-12	328,4	Низкая / Low	ЭП-25 / EP-25	358,0	Низкая / Low
ЭП-13 / EP-13	304,6	Низкая / Low	ЭП-26 / EP-26	446,5	Низкая / Low

Таблица 2 / Table 2

Результаты наблюдений блуждающих токов / The results of ground currents (GC) observation

№ точек / No. of points	U1, мВ / U1, mV			U2, мВ / U2, mV			Вектор потенциала U / Vector of U potential						БТ / GC	
							Амплитуда U, мВ / Amplitude U, mV			Азимут, град. / Azimuth, degree			U1	U2
	Мин. / Min	Макс. / Max	Сред. / Average	Мин. / Min	Макс. / Max	Сред. / Average	Мин. / Min	Макс. / Max	Сред. / Average	Мин. / Min	Макс. / Max	Сред. / Average		
1	24,5	26,5	25,5	27,0	28,0	27,5	36,5	38,6	37,5	47,8	46,6	47,2	-	-
2	27,0	30,0	28,5	31,0	32,5	31,8	41,1	44,2	42,7	48,9	47,3	48,1	-	-
3	66,0	69,0	67,5	47,0	52,0	49,5	81,0	86,4	83,7	35,5	37,0	36,3	+	+
4	78,0	80,0	79,0	94,0	99,0	96,5	122,1	127,3	124,7	50,3	51,1	50,7	+	+
5	86,5	90,5	88,5	66,0	69,0	67,5	108,8	113,8	111,3	37,3	37,3	37,3	+	+
6	63,5	69,5	66,5	46,0	50,0	48,0	78,4	85,6	82,0	35,9	35,7	35,8	+	+

За наличие блуждающих токов принимается замер с $DU > 0,04В$, или, при наибольшем размахе колебаний измеряемой величины во времени – более $0,04В$. Из таблицы 2 следует, что повышенный уровень БТ отмечен на четырех пунктах наблюдения изучаемой территории.

Сейсмические условия территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ

Абовянское специальное подземное хранилище газа (СПХГ) расположено недалеко от столицы Армении Еревана. В сейсмоактивных районах необходимо определение значения ожидаемой сейсмической опасности территории, отведенной под строительство. Обычно определение или уточнение величины ожидаемой сейсмической интенсивности проводится в два этапа [Заалишвили и др., 2018; Чотчаев и др., 2020; Zaalishvili et al., 2020; Soupios et al., 2007]:

- **На первом этапе** проводятся работы по определению исходной величины ожидаемой сейсмической интенсивности. Эту величину можно определить либо на основе нормативных документов (Нормы проектирования..., 2006), либо проводятся специальные сеймотектонические исследования в крупномасштабном формате (1:500 000, 1:200 000);

• **На втором этапе** проводятся работы по сейсмическому микрорайонированию (СМР), или определению величины ожидаемой сейсмической интенсивности конкретной территории, намеченной под строительство. Эти работы проводятся в мелкомасштабном формате (1:1000–1:25000 в зависимости от площади конкретной территории).

В настоящей работе исходная величина ожидаемой сейсмической интенсивности (первый этап) определена из СНИП РАП-6.02-2006, согласно которым территория новой компрессорной станции Абовянского СПХГ находится во второй зоне с ожидаемой сейсмической опасностью $I=8$ баллов или $PGA=0,3$ g.

Основой работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР) или определению ожидаемой сейсмической опасности (второй этап) являются инженерно-геологические материалы изучаемой территории. На основе этих материалов проводились инженерно-сейсмометрические полевые исследования с целью уточнения категорий (по сейсмическим свойствам) грунтов, слагающих данную территорию. Эти работы проводились согласно существующей методике проведения СМР (Нормы проектирования..., 2006) применяемой в РФ и РА.

Ожидаемая сейсмическая интенсивность на данной территории, намеченной под строительство новой компрессорной станции Абовянского СПХГ, определена на основе анализа инженерно-геологических материалов с учетом результатов полевых инженерно-сейсмометрических инструментальных исследований. В расчет принимались не только разрезы пробуренных скважин и физико-механические свойства слагающих территорию грунтовых разновидностей, а также результаты инженерно-сейсмометрических инструментальных исследований. Анализу подверглись результаты 40 скважин.

На основе проведенного анализа выяснено, что исследуемая территория, в основном, сложена из щебенисто-дресвяных грунтов с примесью глыб эффузивных пород андезито-базальтов, с супесчаным заполнителем до 35%, максимальная мощность которых составляет 3,8 м (скв. 52). Ниже этих грунтов залегают выветрелые базальты, максимальная мощность которых составляет 5 м (скв. 6) и 5,3 м (скв. 19), ниже которых залегают плотные долеритовые базальты мощностью больше 25 м. Поверхностный, почвенно-растительный слой супесчаного состава с максимальной мощностью 0,4 м не учитывается. По СНИП РА II-6.02-2006 первые два типа грунтов можно отнести ко второй категории по сейсмичности, суммарная максимальная мощность которых не превышает 10 м и составляет 9,2 м. Плотные долеритовые базальты – грунты первой категории. На основе требований СНИП РАП-6.02-2006 грунты, пройденные всеми 40 скважинами, можно отнести к грунтам первой категории [Dzeboev et al., 2020; Ismail-Zadeh et al., 2020; Karapetyan, Li, 2021].

С применением методики инженерно-геологических аналогий всю территорию, отведенную под строительство новой компрессорной станции Абовянского СПХГ, можно отнести к зоне сейсмичности $I=7$ баллов или:

$$PGA=0,3g'0,8=0,24g.$$

Инженерно-сейсмометрические исследования

Для обоснования результатов, полученных по методу инженерно-геологических аналогий, были проведены инженерно-сейсмометрические исследования. С помощью малоглубинной сейсморазведки были определены скорости распространения сейсмических волн по трем профилям (рис. 2). Измерения проводились гори-

зонтально ориентированным сейсмоприемником СМ-3 (вертикальный удар). Ударные волны создавались импульсным возбуждением. Для обеспечения необходимой мощности возбуждения импульсное воздействие создавалось с помощью падающего груза.

По записям ударных импульсов, зарегистрированных на 8-ми точках наблюдения (рис. 2), построены спектры Фурье, определены преобладающие периоды (рис. 3).

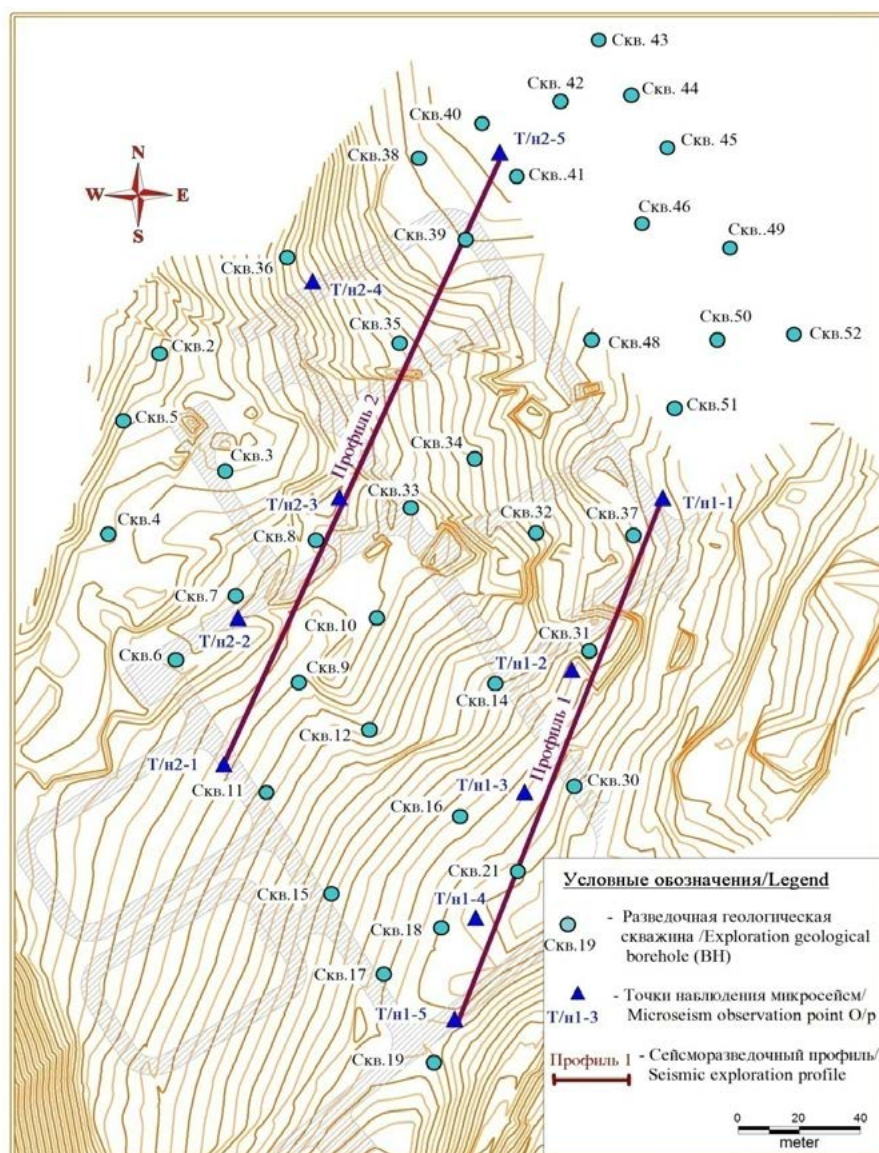


Рис. 2. Схема инженерно-сейсмометрических наблюдений /
Fig. 2. Scheme of engineering seismometric observations

После обработки полученного материала рассчитывались средние скорости прохождения поперечных волн: по всем профилям получилось $V_s = 830\text{--}1550$ м/с. Согласно СНиП РАП-6.02-2006 в грунтах первой категории скорость поперечных волн должна быть $V_s > 800$ м/с.

По записям ударных импульсов были рассчитаны спектры Фурье, по которым были определены преобладающие периоды в точках наблюдений (Т/н) (рис. 3). Все полученные результаты приведены в таблице 3.

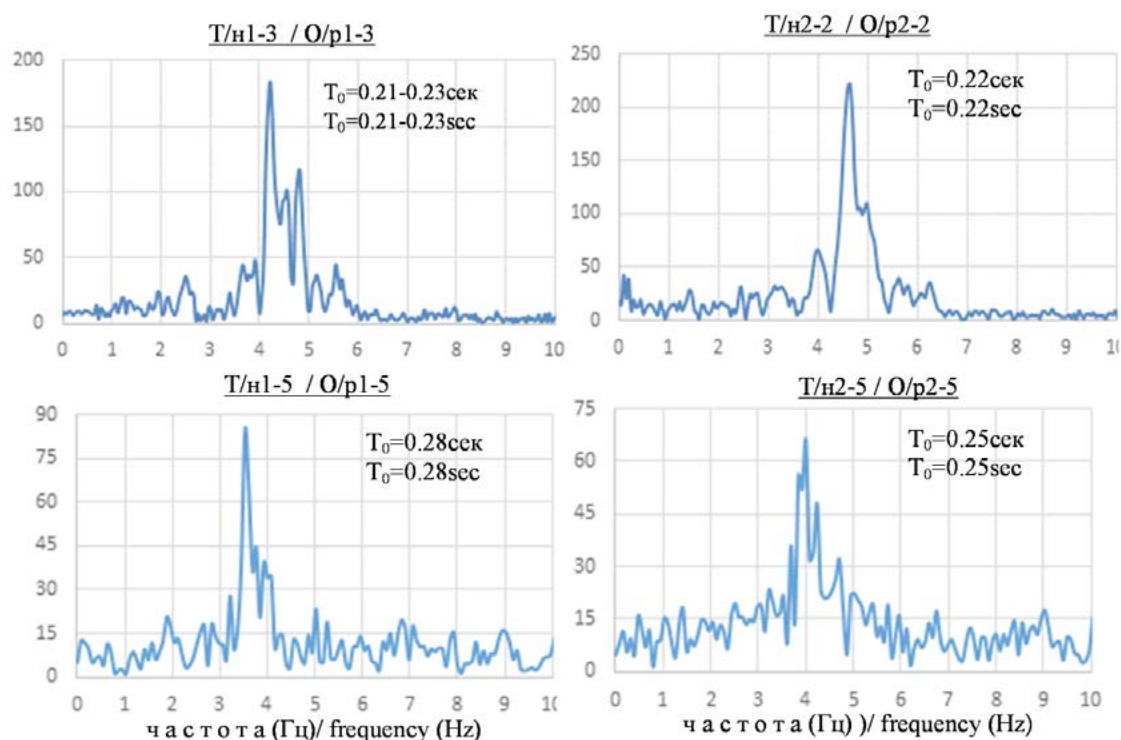


Рис. 3. Спектры Фурье преобладающих периодов T_0 по некоторым точкам наблюдений (Т/н) /
Fig. 3. Fourier spectra of prevailing periods T_0 for some observation points (O/p)

Таблица 3 / Table 3

Результаты наблюдений микросейсм / The observation results of microseisms

Точки наблюдения микросейсм / Observation points of microseism	Преобладающие периоды, $T_{пр}$ (сек) / Dominant periods, $T_{пр}$ (s)	Точки наблюдения микросейсм / Observation points of microseism	Преобладающие периоды, $T_{пр}$ (сек) / Dominant periods, $T_{пр}$ (s)
Т/н 1-1 / OP 1-1	0,2	Т/н 2-1 / OP 2-1	0,21-0,22
Т/н 1-2 / OP 1-2	0,22	Т/н 2-2 / OP 2-2	0,22
Т/н 1-3 / OP 1-3	0,21-0,23	Т/н 2-3 / OP 2-3	0,23
Т/н 1-4 / OP 1-4	0,23	Т/н 2-4 / OP 2-4	0,18
Т/н 1-5 / OP 1-5	0,28	Т/н 2-5 / OP 2-5	0,25

Как видно из полученных результатов, все значения преобладающих периодов в точках наблюдения по сейсмическим свойствам соответствуют грунтам первой категории (СНИП РАII-6.02-2006).

Результаты работы и их обсуждение

По проведенным исследованиям получены следующие результаты:

- Степень коррозионной агрессивности грунтов на площадке строительства новой компрессорной станции СПХГ по результатам измерений УЭС грунтов на глубине 2 м от уровня дневной поверхности является в основном низкой, местами высокой и средней.

- Источником блуждающих токов являются заземленные станки и компрессорные установки, трансформаторный пункт (ТП), расположенные рядом с площадкой строительства новой компрессорной станции СПХГ.

- Исходная величина ожидаемой сейсмической интенсивности территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ определена из СНиП РА II-6.02-2006, согласно которым она находится во второй зоне с ожидаемой сейсмической опасностью $I=8$ баллов или $PGA=0,3$ g.

- В результате комплексного изучения грунтовых условий территории новой компрессорной станции Абовянского СПХГ было установлено, что грунтовые условия данной территории соответствуют грунтам первой категории по сейсмическим свойствам.

Выводы

- Высокая коррозионная агрессивность пород в пунктах измерений ЭП-14 и ЭП-17 (табл. 1), по всей вероятности, обусловлена высокой влажностью почвенного слоя.

- Ожидаемую сейсмическую опасность исследованной территории следует характеризовать следующими величинами: $I=7$ баллов или $PGA=0,24$ g. Так как вся намеченная под строительство территория имеет значение $PGA=0,24$ g, то составленная карта СМР теряет смысл. Собственные преобладающие периоды колебаний грунтов получились в диапазоне $T_0=0,18-0,28$ сек.

В дальнейшем, во избежание резонансных явлений, следует определить собственный период колебаний самого компрессора и сопоставить со значениями полученных собственных преобладающих периодов грунтов.

Литература

1. Бабаян Т.О., Карапетян С.С. Разработка методики сейсмического микрорайонирования на примере территорий объектов Армении. // Сборник научных трудов конференции: «Современные задачи геофизики и инженерной сейсмологии». – Ереван: Гитутюн, 2011. – С. 299–310.
2. Воскресенский Ю.Н. Полевая геофизика. – М.: Недра, 2010. – 479 с.
3. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Макиев В.Д. Макросейсмическое проявление сейсмических событий, обусловленное влиянием грунтовых условий и формирование карт сейсмического микрорайонирования. // Геология и геофизика Юга России. – 2018. – Т. 8. №1. – С. 48–55. DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11247.
4. Инструкция по электроразведке. – М.: Недра, 1984. – 351 с.
5. Киселев В.Е. Влияние переменных блуждающих токов на скорость коррозионных процессов. // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Наука и образование. – 2011. – №1. – С. 69–74.
6. Кочешкова Л.Г., Кочева Е.А., Палашов В.В. Расчет электрических параметров в грунтовых и водных средах. // Успехи современного естествознания. – 2012. – №6. – С. 170–172.
7. Минасян Р.С., Карапетян Дж.К., Карамян Р.А., Игитян А.А., Геворгян А.А., Нургалиев Д.К., Крылов П.С., Даутов А.Н., Ясонов П.Г., Кузина Д.М. Палеогидрогеологические и геофизические исследования в связи с реконструкцией палеоклимата бассейна озера Севан (Армения). // Геология и геофизика Юга России. – 2019. – Т. 9. №1. – С. 122–134. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793.
8. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
9. Тараканов А.И. Специфика инженерных изысканий для строительства газопромыслового комплекса на Камчатке. // Инженерные изыскания, 2014. – №3. –

С. 11–15.

10. Чилингарян А.З., Акопян Л.В. Характер поля блуждающих токов при наличии высокоомных пластообразных тел. // В сборнике науч. трудов конф., посв. 50-летию основания ИГИС НАН РА. – Ереван: Гитутюн, 2011. – С. 288–294.

11. Чотчаев Х.О., Бурдзиева О.Г., Заалишвили В.Б. Влияние геодинамических процессов на геозоологическое состояние высокогорных территорий. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2020. – Т. 10. №4. – С. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005

12. Boadu F.K., Ampadu S. Assessing Relations Between Electrical and Geotechnical Properties of Sand-clay Mixtures Using Jonscher Fractal Power Law Model. // *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 2019. – Vol. 24. No.1. – pp. 77–85. doi:<https://doi.org/10.2113/JEEG24.1.77>

13. Dzeboev B.A., Karapetyan J.K., Aronov G.A., Dzeranov B.V., Kudin D.V., Karapetyan R.K., Vavilin E.V. FCAZ-recognition based on declustered earthquake catalogs. // *Russian Journal of Earth Sciences*. – 2020. – Vol. 20. No.6. ES6010. DOI: 10.2205/2020ES000754.

14. Ismail-Zadeh A., Adamia S., Chabukiani A., Chelidze T., Cloetingh S., et al. Geodynamics, seismicity and seismic hazards of the Caucasus. // *Earth Sci. Rev.* – 2020. – Vol. 10. Article 103222. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103222

15. Karapetyan J.K., Li L. Comprehensive Studies of Seismic Forecast and Seismic Hazard Assessment in Armenia, Current State and Prospects. // *Acta Geologica Sinica (English Edition)*. – 2021. – Vol. 95. – pp. 55–58. <https://doi.org/10.1111/1755-6724.14831>.

16. Saribudak M., Rucker D.F., Haas A. Electrical Resistivity Imaging near Abandoned Steel Oil Wells: Five Case Studies, USA. // *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*, 2020. – Vol. 25. No.4. – pp. 545–556. <https://doi.org/10.32389/JEEG20-048>

17. Parsekian A.D., Claes N., Singha K., Minsley B.J., Carr B., Voytek E., Harmon R., Kass A., Carey A., Thayer D., Flinchum B.. Comparing Measurement Response and Inverted Results of Electrical Resistivity Tomography Instruments. // *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*. – 2017. – Vol. 22(3). – pp. 249–266.

18. Redman J.D., Annan A.P., Diamanti N. Measurement of Bulk Electrical Properties Using GPR with a Variable Reflector. // *Journal of Environmental and Engineering Geophysics*. – 2018. – Vol. 23. – pp. 489–496.

19. Rucker D.F., Noonan G.E., Greenwood W.J. Electrical resistivity in support of geologic mapping along the Panama Canal. // *Engineering Geology*, 2011. – Vol. 117(1-2). – pp. 121–133.

20. Soupios P., Georgakopoulos P., Papadopoulos N., Vallianatos F. Use of Engineering Geophysics to Investigate a Site for a Building Foundation. // *Journal of Geophysics and Engineering*. – 2007. – Vol. 4. No.1. – pp. 94–103.

21. Zaalishvili V.B., Pinar A., Erdik M., Burdзиева О.Г., Melkov D.A. Issues of seismic risk assessment of Vladikavkaz city. // *Geology and Geophysics of Russian South*. – 2020. – Vol. 10. No.3. – pp. 94–113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.

References

1. Babayan T.O., Karapetyan S.S. Development of a methodology for seismic microzonation on the example of the territories of objects in Armenia. In: *Proceedings of the conference “Modern problems of geophysics and engineering seismology”*. Yerevan, Gitutyun, 2011. pp. 299–310. (In Russ.)

2. Voskresensky Yu.N. *Field geophysics*. Moscow. Nedra, 2010. 479 p. (In Russ.)

3. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Makiev V.D. Macroseismic evidence of seismic events caused by influence of ground conditions and formation of maps of seismic microzonation. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2018. Vol. 8. No. 1. pp. 48–55. DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11247. (In Russ.)

4. *Instructions for electrical exploration*. Moscow. Nedra, 1984. 351 p. (In Russ.)

5. Kiselev V.E. The influence of alternating stray currents on the rate of corrosion processes. Scientific and technical journal of SPbSPU. Nauka i obrazovanie. 2011. No. 1. pp. 69–74. (In Russ.)
6. Kocheshkova L.G., Kocheva E.A. Palashov V.V. Calculation of electrical parameters in soil and water environments. Successes of modern natural science. 2012. No. 6. pp. 170–172. (In Russ.)
7. Minasyan R.S., Karapetyan J.K., Karamyan R.A., Igityan A.A., Gevorgyan A.A., Nurgaliev D.K., Krilov P.S., Dautov A.N., Yasonov P.G., Kuzina D.M. Paleohydrogeological and geophysical research aimed at reconstruction of paleoclimate in lake Sevan basin, Armenia. Geology and Geophysics of Russian South. 2019. Vol. 9. No. 1. pp. 122–134. DOI: 10.23671/VNC.2019.1.26793. (In Russ.)
8. Ogilvi A.A. Fundamentals of engineering geophysics. Moscow. Nedra, 1990. 501 p. (In Russ.)
9. Tarakanov A.I. Specificity of engineering surveys for the construction of a gas production complex in Kamchatka. Engineering surveys, 2014. No. 3. pp. 11–15. (In Russ.)
10. Chilingaryan A.Z., Akopyan L.V. The nature of the field of stray currents in the presence of high-resistance sheet-like bodies. In: Proceedings of the Conference dedicated to the 50th anniversary of the foundation of ISIS NAS RA. Yerevan, Gitutyun, 2011. pp. 288–294. (In Russ.)
11. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Influence of geodynamic processes on the geoecological state of high mountain areas. Geology and Geophysics of Russian South. 2020. Vol. 10. No.4. pp. 70–100. DOI: 10.46698/VNC.2020.87.26.005 (In Russ.)
12. Boadu F.K., Ampadu S. Assessing Relations Between Electrical and Geotechnical Properties of Sand-clay Mixtures Using Jonscher Fractal Power Law Model. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2019. – Vol. 24. No.1. – pp. 77–85. DOI: 10.2113/JEEG24.1.77
13. Dzeboev B.A., Karapetyan J.K., Aronov G.A., Dzeranov B.V., Kudin D.V., Karapetyan R.K., Vavilin E.V. FCAZ-recognition based on declustered earthquake catalogs. Russian Journal of Earth Sciences. 2020. Vol. 20. No.6. ES6010. DOI: 10.2205/2020ES000754.
14. Ismail-Zadeh A., Adamia S., Chabukiani A., Chelidze T., Cloetingh S., et al. Geodynamics, seismicity and seismic hazards of the Caucasus. Earth Sci. Rev. 2020. Vol. 10. Article 103222. DOI: 10.1016/j.earscirev.2020.103222
15. Karapetyan J.K., Li L. Comprehensive Studies of Seismic Forecast and Seismic Hazard Assessment in Armenia, Current State and Prospects. Acta Geologica Sinica (English Edition). 2021. Vol. 95. pp. 55–58. DOI: 10.1111/1755-6724.14831.
16. Saribudak M., Rucker D.F., Haas A. Electrical Resistivity Imaging near Abandoned Steel Oil Wells: Five Case Studies, USA. Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2020. Vol. 25. No.4. pp. 545–556. DOI: 10.32389/JEEG20-048
17. Parsekian A.D., Claes N., Singha K., Minsley B.J., Carr B., Voytek E., Harmon R., Kass A., Carey A., Thayer D., Flinchum B.. Comparing Measurement Response and Inverted Results of Electrical Resistivity Tomography Instruments. Journal of Environmental and Engineering Geophysics. 2017. Vol. 22(3). pp. 249–266.
18. Redman J.D., Annan A.P., Diamanti N. Measurement of Bulk Electrical Properties Using GPR with a Variable Reflector. // Journal of Environmental and Engineering Geophysics. 2018. Vol. 23. pp. 489–496.
19. Rucker D.F., Noonan G.E., Greenwood W.J. Electrical resistivity in support of geologic mapping along the Panama Canal. Engineering Geology, 2011. Vol. 117(1-2). pp. 121–133.
20. Soupios P., Georgakopoulos P., Papadopoulos N., Vallianatos F. Use of Engineering Geophysics to Investigate a Site for a Building Foundation. Journal of Geophysics and Engineering. 2007. Vol. 4. No.1. pp. 94–103.
21. 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. 2020. Vol. 10. No.3. pp. 94–113. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.51.006.

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 669.21

DOI: [10.46698/VNC.2021.42.89.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.42.89.008)

Оригинальная статья

Комплексный анализ и оценка перспективных
золоторудных зон с применением современных
геофизических методовИ.И. Босиков¹, Р.В. Ключев², В.Х. Тавасиев³, Н.Н. Летичевская⁴

¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), 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;

³Северо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова», Россия, 362025, РСО-Алания, г. Владикавказ, ул. Ватутина, 44-46

⁴Астраханский государственный технический университет. Институт нефти и газа, Россия, 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 16

Статья поступила: 29.10.2021, доработана: 24.11.2021, принята к публикации: 03.12.2021

Резюме: Актуальность работы. В статье рассматривается комплексный анализ геологической и геофизической информации по проводимым исследованиям с целью выделения перспективных участков для проведения дальнейших геологоразведочных работ. **Цель работы.** Провести комплексный анализ и оценку перспективных золоторудных зон с применением современных геофизических методов. **Методы работы.** Вертикальное электрическое зондирование методом вызванной поляризации, метод вызванной поляризации в модификации срединного градиента, геоэлектрические разрезы по профилям, аномалии поляризуемости поля электрических сопротивлений, метод ТЗ электротомографии. **Результаты работы.** Авторами в 2019 г. в северной части участка на площади 2,87 кв. км были выполнены работы СГ-ВП по сети 50×10 м с MN – 10 м. и АВ – 2000 м. Измерения DU и $\varphi_{вп}$ проводились на частоте 1.22 Гц измерителями МЭРИ – 24 и ЭИН – 209 (режим измерения частотный). Использовался генератор ГЭР – 5000 – 25 (мощность 5 кВт). По результатам измерений построены карты изолиний поляризуемости и кажущегося сопротивления. Следует отметить, что при определении сдвига фаз $\varphi_{вп}$ в частотном режиме сигнал, используемый для измерения сдвига фаз при равных DU с импульсным режимом измерений в 30-100 раз выше. Это основное преимущество фазовых измерений над импульсными. Как видно из приведенного сравнения уменьшение длины приемной линии и шага наблюдений позволило увеличить детальность исследований СГ-ВП и выйти на уровень рудных тел, заданных в техническом задании. По результатам ТЗ электротомографии и ВЭЗ-ВП получены близкие результаты, хотя методически и теоретически ТЗ обладает в данных условиях большей детальностью и информативностью. По результатам геофизических работ построены карты изолиний и графиков ρ_k и $\varphi_{вп}$, выявлена их связь с рудовмещающими структурами и отдельными рудными телами. Всего выявлено 14 локальных аномалий поляризуемости связанных с золото-кварц-сульфидными и сульфидными рудными телами. Выявлены площадные аномалии повышенной поляризуемости и низких значений электрического сопротивления СГ-ВП вдоль Западной рудно-тектонической зоны. Они связаны с метасоматическими процессами в пределах Западной зоны сбросо-сдвигов. На площади работ отмечены слабоконтрастные аномалии магнитного поля в северо-западной части Северной зоны. Отмечено сильное влияние рельефа на характер магнитного поля, вследствие чего наблюдается корреляция хребтов с минимумами магнитного поля.

Ключевые слова: месторождение, геофизическое исследование, комплекс формационных, геолого-структурных, метасоматических, минералого-геохимических, геофизических поисковых критериев и признаков, петрографический состав, золото-кварц-сульфидные и сульфидные рудные тела.

Для цитирования: Босиков И.И., Ключев Р.В., Тавасиев В.Х., Летичевская Н.Н. Комплексный анализ и оценка перспективных золоторудных зон с применением современных геофизических методов. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 94-108. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.89.008.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

DOI: [10.46698/VNC.2021.42.89.008](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.42.89.008)

Original paper

Comprehensive analysis and assessment of prospective gold-ore zones using modern geophysical methods

I.I. Bosikov¹, R.V. Klyuev², V.Kh. Tavasiev³, N.N. Letichevskaya⁴

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

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

³North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, 44-46 Vatutina Str.,
Vladikavkaz 362025, Russian Federation;

⁴Astrakhan State Technical University. Institute of Oil and Gas, 16 Tatischeva Str.,
Astrakhan 414056, Russian Federation

Received: 29.10.2021, revised: 24.11.2021, accepted: 03.12.2021

Abstract: Relevance. The article discusses a comprehensive analysis of geological and geophysical information on ongoing research in order to identify promising areas for further exploration. **Aim.** Conduct a comprehensive analysis and assessment of promising gold ore zones using modern geophysical methods. **Methods.** Vertical electrical sounding by the induced polarization method, the induced polarization method in the modification of the median gradient, geoelectric sections along the profiles, anomalies of the polarizability of the electrical resistance field, TK method of electrotomography. **Results.** The authors in 2019 in the northern part of the site on an area of 2.87 sq. km SG-VP works were performed on a network of 50 × 10m with MN – 10m. and AB – 2000 m. Measurements of DU and φ_{vp} were carried out at a frequency of 1.22 Hz with meters MARI – 24 and EIN – 209 (frequency measurement mode). Used generator GER – 5000 – 25 (power 5 kW). Based on the measurement results, maps of isolines of polarizability and apparent resistivity were constructed. It should be noted that when determining the phase shift φ_{vp} in the frequency mode, the signal used to measure the phase shift at equal DU with the pulse measurement mode is 30-100 times higher. This is the main advantage of phase measurements over pulsed ones. As can be seen from the above comparison, a decrease in the length of the receiving line and the step of observations made it possible to increase the detail of SG-VP studies and to reach

the level of ore bodies specified in the terms of reference. Based on the results of the technical specification for electrotomography and VES-IP, similar results were obtained, although methodologically and theoretically, the technical specification has greater detail and information content under these conditions. Based on the results of geophysical work, maps of isolines and graphs of ρ_k and $\varphi_{\text{вп}}$ were constructed, their relationship with ore-bearing structures and individual ore bodies was revealed. In total, 14 local anomalies of polarizability associated with gold-quartz-sulfide and sulfide ore bodies have been identified. Areal anomalies of increased polarizability and low values of electrical resistance of SG-VP were revealed along the Western ore-tectonic zone. They are associated with metasomatic processes within the Western fault-strike zone. Low-contrast magnetic field anomalies in the northwestern part of the Northern Zone were noted in the survey area. A strong influence of the relief on the nature of the magnetic field was noted, as a result of which a correlation of the ridges with the minima of the magnetic field is observed.

Keywords: deposit, geophysical research, a complex of formational, geological-structural, metasomatic, mineralogical-geochemical, geophysical prospecting criteria and features, petrographic composition, gold-quartz-sulfide and sulfide ore bodies.

For citation: Bosikov I.I., Klyuev R.V., Tavasiev V.Kh., Letichevskaya N.N. Comprehensive analysis and assessment of prospective gold-ore zones using modern geophysical methods. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii* = *Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 94-108. DOI: 10.46698/VNC.2021.42.89.008.

Введение

Исследования проводились на золотоносном коренном рудопроявлении [Некрасов, 2018]. Для наблюдения изменения размеров и характера распределения оруденения были использованы материалы ранее проводимых работ на Северном участке [Босиков и др., 2021а, б; Ключев и др., 2020].

Исследуемый участок расположен в восточной части поднятия Передового хребта (рис. 1). Водно- и гравитационно-аккумулятивные формы рельефа на описываемой площади имеют подчиненное значение. Аллювиальные образования практически отсутствуют. Широко распространены обвальнo-осыпные образования. Они располагаются, как правило, в нижних частях склонов, несколько сглаживая рельеф. Иногда осыпи перекрывают древние гляциальные отложения [Голик и др., 2020].

На площади работ весной и в начале лета многочисленны временные водотоки и родники, большинство которых пересыхает к концу августа.

Форма долин рек V-образная. В верховьях рек развиты древние ледниковые цирки. Уклоны долин весьма значительны – до 0,25, часты перепады. Питание рек – преимущественно за счет атмосферных осадков, поэтому указанные водотоки наиболее обильны в летний период. Дебит рек весьма непостоянен и колеблется не только в течение года, но и суток. Осенью и в зимний период реки мелеют и почти полностью перемерзают [Литвиненко, 2018].

Климат района типично высокогорный с резкой сменой и значительными колебаниями суточной и годовой температуры, с большим количеством осадков, достигающих 900 мм в год.

Снежный покров ложится в октябре и держится до июня. В зимний период часты ураганные ветры, которые в совокупности с морозами создают неблагоприятную обстановку для проведения поверхностных геологических работ. Зимой нередки сходы лотковых и склоновых лавин. Летом обычны дожди и густые туманы [Голик и др., 2020; Некрасов, 2019].

Растительный покров весьма беден. Отдельные карликового типа березки и ольха поднимаются до высоты 2000 м на северном склоне хр. Ташорун-баш. До 2800 м развиты альпийские луга. Выше – скальные участки с лишайниками и мхами.

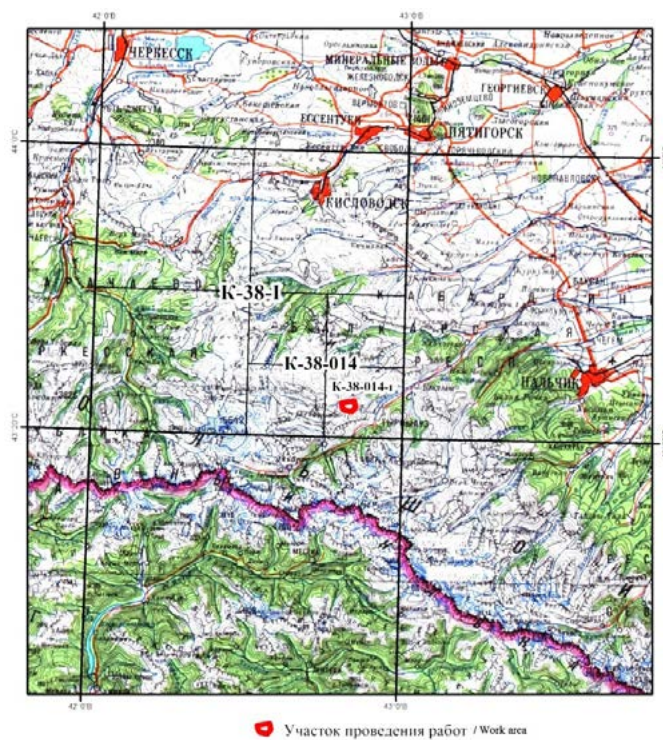


Рис.1. Обзорная карта района исследований /
Fig. 1. Overview map of the research area

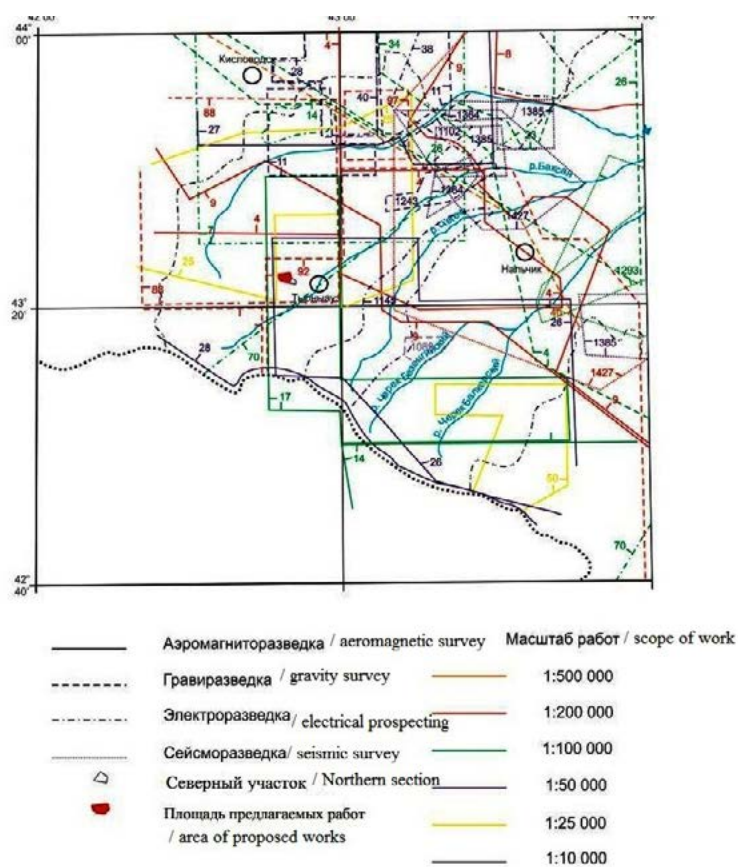


Рис 2. Схема геофизической изученности района /
Fig. 2. Scheme of geophysical study of the area

Геофизические аномалии, выделенные на площади по результатам исследований в 2018-2019 гг., сильно дифференцированы, имеют преимущественно субширотное простирание и локализуются в большей степени в вулканогенно-осадочном и интрузивном комплексах, в меньшей степени в молассовом.

1. Кажущееся удельное электрическое сопротивление изменяется в диапазоне от десятков Ом·м до первых тысяч Ом·м, поляризуемость – от долей процента до 5-6 процентов. Общее направление простирания электроразведочных аномалий – субширотное, что хорошо согласуется с направлением простирания основных геологических структур [Федорова и др., 2018; Чотчаев и др., 2021; Шарафелдин, 2018; Augustin, Gaboury, 2018; Ganapathy et al., 2020; Luo et al., 2018; Nassani et al., 2021; Sebutsoe et al., 2017].

Аномалии поляризуемости можно разделить на два типа. Аномалии первого типа отличаются высокими значениями поляризуемости 3-4% и более на фоне относительно низких значений сопротивления 100–400 Ом·м. Они могут быть ассоциированы с зонами прожилково-вкрапленной минерализации в разломных зонах. Аномальные зоны второго типа сочетают высокие значения поляризуемости с относительно более высокими сопротивлениями от 400 до 1000 и более Ом·м. Такие аномалии соответствуют, по-видимому, зонам метасоматической проработки с большим количеством непроводящих минералов, где отдельные сульфидные зерна электрически меньше связаны между собой.

По комплексу прямых и косвенных признаков оруденения предварительно было выделено несколько рудоперспективных участков. Так, в восточной части площади работ ожидалось выявление продолжений рудных зон, локализованных в пределах Северного участка и оставшихся неоконтуренными на флангах.

Методы исследований

Вертикальное электрическое зондирование методом вызванной поляризации, метод вызванной поляризации в модификации срединного градиента, геоэлектрические разрезы по профилям, аномалии поляризуемости поля электрических сопротивлений, метод ТЗ электротомографии.

Техническая часть. Поля электрических сопротивлений и поляризуемости участка определялись петрографическим составом пород участка, степенью метасоматических изменений и тектоническими нарушениями.

Большую часть площади составляют средне-позднедевонские (D_{2-3}) отложения, представленные в основном вулканогенно-осадочными породами: туфами, туфопесчаниками и лавами, перемежающимися слоями глинистых сланцев и филлитов. Все породы в разной степени рассланцованы и перекристаллизованы, подвергнуты метасоматозу пропилитового и березит-лиственитового типов.

2. Развита система разрывных нарушений различного направления. Основное направление – диагональное северо-западное. Выделяют две основных диагональных зоны сбросо-сдвигов: Зыгыркольская и Хромитовая зоны, по которым внедрялись тела гипербазитов, а также дайки и штоки гранитоидов. Тектонические зоны несколько разные по структурной позиции, минералогии интрузивных пород и метасоматитов. По диагональным тектоническим зонам, а также в пределах участка, который они ограничивают, интенсивно развиваются процессы скарнирования и золотоносной метасоматической проработки, таким образом, выделяется рудоносная полоса, шириной до 1 км [Sinclair et al., 2015; Song et al., 2017].

Рудоносные скарны представлены преимущественно крутопадающими линзовидными телами преимущественно эпидот-гранат-пироксенового состава. Рудная минерализация представлена неравномерной вкрапленностью, прожилками и гнездами сульфидов, в составе которых преобладают пирротин, пирит и арсенопирит.

Основной задачей поисковых геофизических работ методом ВП является выявление и оконтуривание минерализованных зон с золото-кварц-сульфидным оруденением, определение их геолого-структурной позиции.

3. Исследования с помощью метода вызванной поляризации в модификации срединного градиента. Электрическое сопротивление пород Северного участка колеблется в широких пределах от десятков до тысячи Ом·м и определяется их литологическим составом и степенью метасоматических изменений. Среднее значение их кажущегося сопротивления (p_k) составляет около 300 Ом·м. На этом фоне выделяются площадные аномалии повышенных и пониженных значений кажущегося сопротивления [Tyulenev et al., 2016, 2018; Zhukovskiy et al., 2019].

По результатам комплексной качественной интерпретации полей электрического сопротивления и поляризуемости с учётом геологического строения Северного участка, результатов бороздового и кернового опробования рудных зон было выделено два перспективных участка.

Участок №1 (Северный участок и проявления «Западное»).

Северный участок и проявления «Западное» входят в один перспективный высокоомный участок, характеризующийся значениями кажущегося сопротивления более 500 Ом·м. Размеры участка 1200 × 700 м.

В западной части этого участка наблюдается площадная аномалия поляризуемости, связанная с рассеянной сульфидной минерализацией. Большая ширина Северного перспективного участка объясняется большой глубинностью исследований (800 м) и падением зоны к северо-востоку. В пределах западной части участка сосредоточены все значимые рудопроявления золота.

В северной части участка выявлены две сближенные аномалии кажущегося сопротивления (№№6, 6.1) протяженностью около 1 км при общей ширине 50–100 м с северо-западной и северной ориентировкой. Почти на всём протяжении аномалии совпадает с ореолами золота, выявленными в рыхлых отложениях.

Часть площади аномалий была вскрыта канавой 4 и канавой 17 (рудопроявление «Западное»). По результатам пробирных анализов в бороздовых пробах, отобранных в этих канавах, оказалось высокое содержание золота.

Участок №2 (Северный).

Участок №2 выделен в восточной части исследуемой площади, в районе Северной зоны, где была выявлена область низкоомных пород со значениями кажущегося сопротивления менее 100 Ом·м. Они были вскрыты скважиной 9 и представляют собой графитизированные породы с разноориентированными кварцевыми и кварц-карбонатными прожилками и рассеянной вкрапленностью пирита. По результатам пробирных анализов керновых проб, отобранных по керну скважины 9, содержание золота в этих породах высокое.

Область пониженных сопротивлений сопровождается площадной аномалией поляризуемости и, в свою очередь, совпадает с ореолами золота по вторичным потокам рассеивания.

Поляризуемость φ_{en} горных пород Северного участка определяется объёмным содержанием сульфидных минералов и их минеральным составом. Повышенной фоновой поляризуемостью (около 1%) характеризуются вулканогенно-осадочные породы девона в юго-восточной части площади. На этом фоне зоны золотосульфидной минерализации отмечаются локальными аномалиями до 3%.

В северной части, перекрытой нерасчленёнными отложениями карбона, наблюдается повышенная фоновая поляризуемость, связанная с серией оперяющих ее тектонических нарушений и сульфидной минерализацией по ним.

В западной части, перекрытой отложениями карбона значительной мощности, не отмечено повышенной фоновой поляризуемости. Здесь по графикам φ_{en} выделяются малоамплитудные линейные аномалии поляризуемости, связанные с процессами гидротермальной проработки и метасоматоза по тектоническим зонам и их сульфидной минерализацией.

На картах графиков и изолиний поляризуемости φ_{en} методом вызванной поляризации (ВП) в модификации срединного градиента (СГ-ВП) выделяется 14 локальных линейных и две площадных аномалий, связанных с зонами сульфидной минерализации. Локальные аномалии φ_{en} №№1 и 2 имеют протяженность по 350 м и имеют амплитуду около 0,8° и не сопровождаются какими-либо изменениями ρ_k и, вероятно, связаны с маломощной зоной сульфидной минерализации. Аномалии поляризуемости №№3 и 4, протяженностью 350 м и 400 м, сопровождаются локальными максимумами ρ_k и связаны с кварц-сульфидными рудными телами. Локальные аномалии поляризуемости №№5, 5.1 находятся в пределах Северного участка. Аномалии прослеживаются по мало амплитудным повышениям поляризуемости в северо-западной и юго-восточной частях участка. Аномалии находятся в высокоомном блоке пород, вмещающем Северный участок. Широкая зона повышенных значений ρ_k связана с развитыми здесь скарнами и метасоматитами. Аномалия №№5 вскрыта скважинами 1, 2, 6, 4, 5, 7. Во всех скважинах выявлена сульфидная минерализация с золотым оруденением, объясняющая природу аномалии поляризуемости. Аномалия поляризуемости №6 имеет протяженность 1600 м. Амплитуда в пределах аномалии изменяется от 0,8° до 2,5°, образуя узлы увеличения мощности и амплитуды. Аномалия сопровождается повышением ρ_k , характерным для золото-кварц-сульфидного оруденения. В северо-западной, центральной и юго-восточной части площади пространственно совпадает с точками сульфидной минерализации. На профиле 14 аномалия вскрыта канавой 4. По результатам опробования канавы содержание золота составляет до 8,48 г/т. На профиле 12 по канаве 17, пройденной в пределах аномалии, содержание золота составляет 14 г/т. Простираие аномалии на участке канав совпадает с рудным телом рудопроявления «Западное». Учитывая протяженность аномалии, перспективы рудопроявления могут значительно возрасти. Следует отметить, что аномалия 6 была выделена как перспективная для постановки горных работ ещё в июле 2019 г. Аномалия поляризуемости №6.1 отмечается в 40 м от аномалии 6 и не сопровождается четким повышением значений электрического сопротивления, и связана, вероятно, с сульфидной минерализацией в метасоматически изменённых породах.

Локальная линейная аномалия φ_{en} №7 с амплитудой до 2,5° имеет протяженность 1700 м и сопровождается повышением удельного электрического сопротивления. По своим параметрам аномалия сходна с аномалией 6 и является перспективной на золотое оруденение. Локальная линейная аномалия φ_{en} №8 протяженностью 1800 м и амплитудой до 3° в юго-восточной части площади. Аномалия связана с сульфидной

минерализацией. Локальная линейная аномалия поляризуемости №9 имеет протяженность 1950 м и амплитуду φ_{en} до 2° . Аномалии 5–9 объединены в один Зыгыркольский перспективный участок, включающий в себя практически все известные на данный момент золоторудные тела. Локальная линейная аномалия поляризуемости №10 имеет протяженность 2100 м и амплитуду φ_{en} $1-2,5^\circ$. В геологическом плане она связана с сульфидной минерализацией по кварц-карбонатным метасоматитам Северной зоны. Локальная линейная аномалия поляризуемости №11 имеет протяженность 1200 м и амплитуду φ_{en} $1,0-2,5^\circ$. В геологическом плане она связана с сульфидной минерализацией по кварц-карбонатным метасоматитам Северной зоны.

Линейная аномалия поляризуемости №12 имеет протяжённость 1100 м, пространственно совпадает с линейной аномалией проводимости. Локальные линейные аномалии поляризуемости в пределах перспективного Северного участка, вскрытые в юго-восточной части отдельными горными выработками, связаны с кварц-золото-сульфидным оруденением и являются перспективными на всём своём протяжении. Положение аномалий на карте точно совпадает с рудными интервалами по канавам. Линейные аномалии поляризуемости №№13 и 14 протяженностью 1000 м и амплитудой до $2,5^\circ$ связаны с сульфидными зонами Теверсинчиккольской зоны. Аномалия 14 пространственно совпадает с геохимическими аномалиями золота. Линейные аномалии поляризуемости №№15 и 16 протяженностью 900 м пространственно совпадают с кварц-карбонатными метасоматитами Западной зоны, выходящими на поверхность и продолжающимися под отложениями карбона.

Вертикальное электрическое зондирование методом вызванной поляризации.

По результатам количественной интерпретации вертикального электрического зондирования с измерением вызванной поляризуемости (ВЭЗ–ВП) построены геоэлектрические разрезы по профилям, проходящим через проектируемые скважины (рис. 3–5) и перспективные аномалии.

Профиль 1 пройден в пределах Северного участка по дороге на склоне крутизной 45° . В связи с этим, все результаты по глубинам следует относить ортогонально к склону. Как видно из приведенного рисунка на точках 1 и 2 верхняя часть разреза мощностью до 40 м представлена делювиальными отложениями, состоящими в нижней части из глыб коренных пород с высокой поляризуемостью и высоким сопротивлением. На точках 3–4 мощность делювия составляет первые метры и далее расположен высокоомный блок скарных с низкой поляризуемостью. Похожие результаты ранее получены в начале профиля 4. Профиль 2. Профиль пройден в пределах Северного участка по пр. 4–5 СГ–ВП. Как видно из графиков СГ–ВП на пикетах 57–58 выделяется локальная аномалия $\varphi_{вп}$ амплитудой – $1,1^\circ$. На геоэлектрических разрезах мощность делювиальных отложений составляет до 50 м. На ВЭЗ–ВП №7–8 высокими значениями ρ_k и φ_{en} выделяются скарны с сульфидной минерализацией. Профиль 3. В пределах профиля ВЭЗ–ВП по СГ–ВП на пр. 15 аномалий поляризуемости не выявлено. На пр. 3 аномальной поляризуемостью и высокими значениями сопротивлений отмечаются четвертичные аллювиальные отложения мощностью до 60 м, вероятно, представленные чередованием суглинков с гравием и глыбами пород с сульфидной минерализацией. Малоамплитудное повышение поляризуемости отмечено на зондировании №12. Профиль ВЭЗ–ВП №4 пройден в пределах пр. 9 СГ–ВП. На графиках φ_{en} на ПК. 66–67 (ВЭЗ–ВП 17) отмечается локальная аномалия амплитудой – $1,2^\circ$. На геоэлектрических разрезах поляризуемости и сопротивлений четвертичные делювиальные отложения имеют мощность до 60 м и характеризуются как многослойный

разрез с чередованием слоёв разной поляризуемости и сопротивлений. Породы кызылкольской свиты характеризуются сопротивлением ρ 250 Ом·м и поляризуемостью 0,5°. Зона повышенной поляризуемости, связанная с сульфидной минерализацией отмечается на ВЭЗ-ВП №23. Профиль 5. Профиль пройден в пределах Северного участка по пр. 4-5 СГ-ВП. Как видно из графиков СГ-ВП на пикетах 57-58 выделяется локальная аномалия $\varphi_{\text{вп}}$ амплитудой 1,1°. На геоэлектрических разрезах (рис. 3) мощность делювиальных отложений составляет около 50 м. На ВЭЗ-ВП №7-8 высокими значениями ρ_k и $\varphi_{\text{вп}}$ выделяются скарны с сульфидной минерализацией. Профиль 6 проведен между профилями 11 и 12 СГ-ВП в районе скв. 10. На представленных геоэлектрических разрезах мощность четвертичных отложений составляет первые метры. В пределах всего профиля отмечается аномальная поляризуемость и низкие значения электрических сопротивлений. Аномально низким сопротивлением величиной в 16 Ом·м и поляризуемостью 7% характеризуется ВЭЗ-ВП №23. Такие значения поляризуемости и сопротивлений характерны для рудных тел с густовкрапленными рудами. Профиль 7. Профиль выполнен в пределах аномалий поляризуемости №№9 и 10 связанных хромитовой зоной. Как видно из приведенных разрезов мощность четвертичных отложений составляет 7 м. На точках 22-23 в зоне северного сбросо-сдвига в отложениях кызылкольской свиты на глубине около 50 м. выделяется зона сульфидной минерализации. Профиль 8. Измерения выполнены через скв. 11 по пр. 22 СГ-ВП. Как видно из приведенных разрезов мощность четвертичных отложений по профилю 3–5 м. Профиль пройден в районе северного сбросо-сдвига, но в разрезе сопротивлений и поляризуемости это не находит отражения. Профиль 9. Профиль ВЭЗ-ВП №9 пройден в пределах пр. 9 СГ-ВП. На графиках $\varphi_{\text{вп}}$ на ПК. 66-67 (ВЭЗ-ВП 17) отмечается локальная аномалия с амплитудой – 1,2°. На геоэлектрических разрезах поляризуемости и сопротивлений четвертичные делювиальные отложения имеют мощность до 60 м и характеризуются как многослойный разрез с чередованием слоёв разной поляризуемости и сопротивлений. Породы кызылкольской свиты характеризуются сопротивлением ρ 250 Ом·м и поляризуемостью 0,5°. Зона повышенной поляризуемости, связанная с сульфидной минерализацией отмечается на ВЭЗ-ВП №23. Профиль 11 проведен между профилями 11 и 12 СГ-ВП в пределах Северной зоны минерализации. На представленных геоэлектрических разрезах мощность четвертичных отложений составляет первые метры. В пределах всего профиля отмечается аномальная поляризуемость и низкие значения электрических сопротивлений, связанные с развитыми здесь графитизацией и вкрапленной пиритизацией. Аномально низким сопротивлением в 16 Ом·м и поляризуемостью 7° характеризуется ВЭЗ-ВП №25. Такие значения поляризуемости и сопротивлений характерны для рудных тел с густо вкрапленными рудами. Профиль 15. В пределах профиля ВЭЗ-ВП по СГ-ВП на пр. 15 ПК. 85 выделена аномалия поляризуемости. На пр. 15 аномальной поляризуемостью и высокими значениями сопротивлений отмечаются четвертичные делювиальные отложения мощностью 40–60 м, вероятно, представленные чередованием суглинков с гравием и глыбами пород с сульфидной минерализацией. Малоамплитудное повышение поляризуемости на глубине 50 м отмечено на зондировании №12. Профиль 18 отработан в пределах локальных аномалий поляризуемости на профиле 18 СГ-ВП по Северной зоне. На пр. 17 ПК. 91 выделена аномалия поляризуемости. На разрезе сопротивлений ВЭЗ-ВП №30–32 выделяется область очень высоких сопротивлений, связанная с блоком метасоматически изменённых пород. На глубине 100 м в точках 31 и 32 отмечается аномалия поляризуемости, связанная с сульфидной

минерализацией. Мощность четвертичных отложений в пределах профиля составляет 20–25 м. Профиль 22. Измерения выполнены через пр. 22 СГ-ВП. Как видно из приведенных разрезов, мощность четвертичных отложений по профилю составляет 3–5 м. Профиль пройден в районе Северного сбросо-сдвига. На ПК 190 графиков ρ_k СГ-ВП выделяется аномалия низких сопротивлений, связанная с тектонической зоной дробления. На геоэлектрическом разрезе на ВЭЗ-ВП №37 тектоническая зона характеризуется понижением электрического сопротивления до 123 Ом·м и северо-восточным падением. На разрезах поляризуемости аномалии СГ-ВП №№10, 11, 12 не отмечаются, вероятно, из-за их большой глубины залегания. Профиль 26 пройден через аномалию поляризуемости №5. На профиле на глубинах около 30 м выделяется зона повышенных сопротивлений и поляризуемости, обусловленная метасоматически изменёнными породами с сульфидной минерализацией. Мощность четвертичных отложений в пределах профиля около 20 м. Профиль 34 (рис. 4). Профиль пройден через аномалию №5 по пр. 34 СГ-ВП. В пределах профиля на ВЭЗ-ВП 76–78 на глубине около 100 м выявлена аномалия поляризуемости, связанная с зоной сульфидной минерализации. Мощность четвертичных отложений около 50 м. Профиль 42. Профиль пройден через перспективную аномалию поляризуемости №10. На ВЭЗ-ВП №63 выявлена зона повышенных электрических сопротивлений, связанная, вероятно, с зоной метасоматических изменений и окварцевания. На ВЭЗ-ВП №59-60 выделяется область низких значений электрического сопротивления северо-восточного падения, связанная с тектонической зоной дробления.

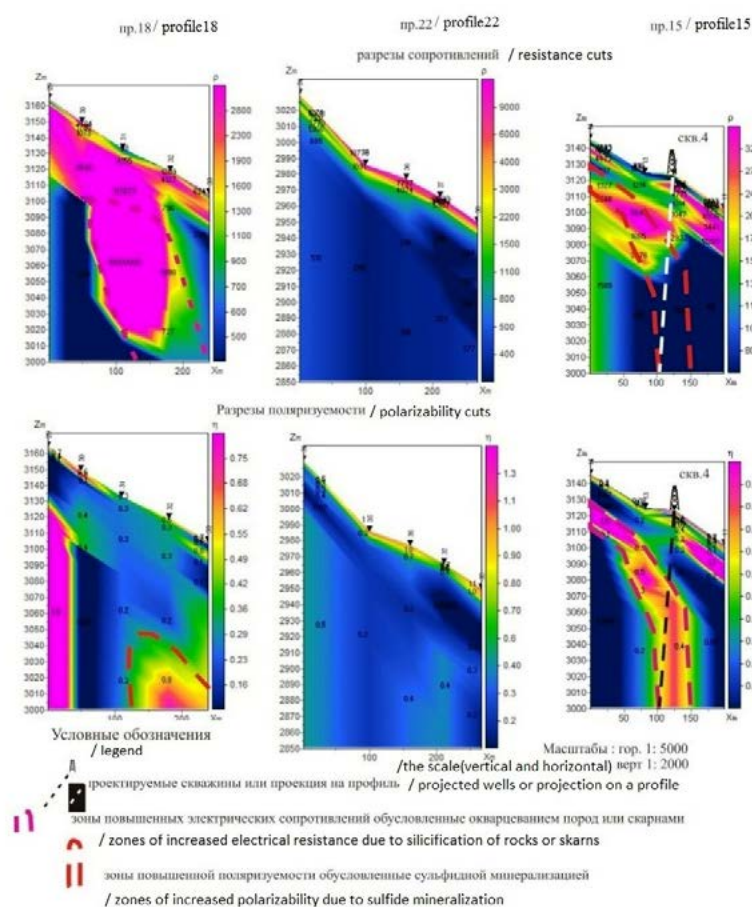


Рис. 3. Геоэлектрические разрезы ВЭЗ-ВП по пр. 18-22-15 /
Fig. 3. Geoelectric sections VES-VP on pr. 18-22-15

Профиль 29–32. Профиль пройден через северо-западные фланги аномалий поляризуемости №6–10. В результате на глубинах 60–100 м. выявлено четыре аномалии поляризуемости, связанные с зонами сульфидной минерализации прослеженные методом СГ-ВП.

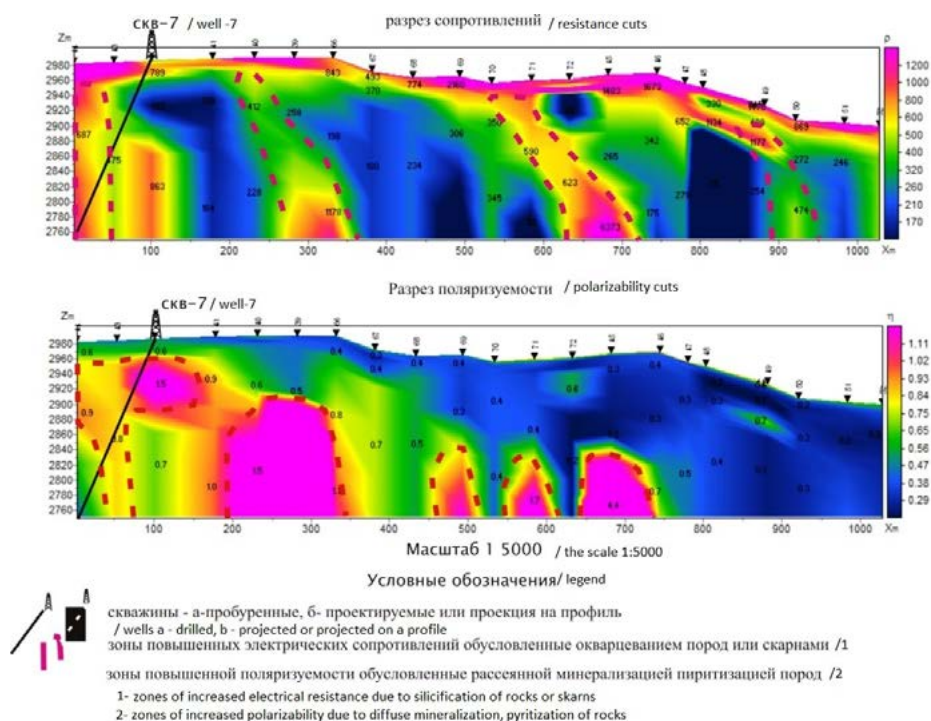


Рис. 4. Геоэлектрический разрез по пр. 29-32 /

Fig. 4. Geoelectric section along pr. 29-32

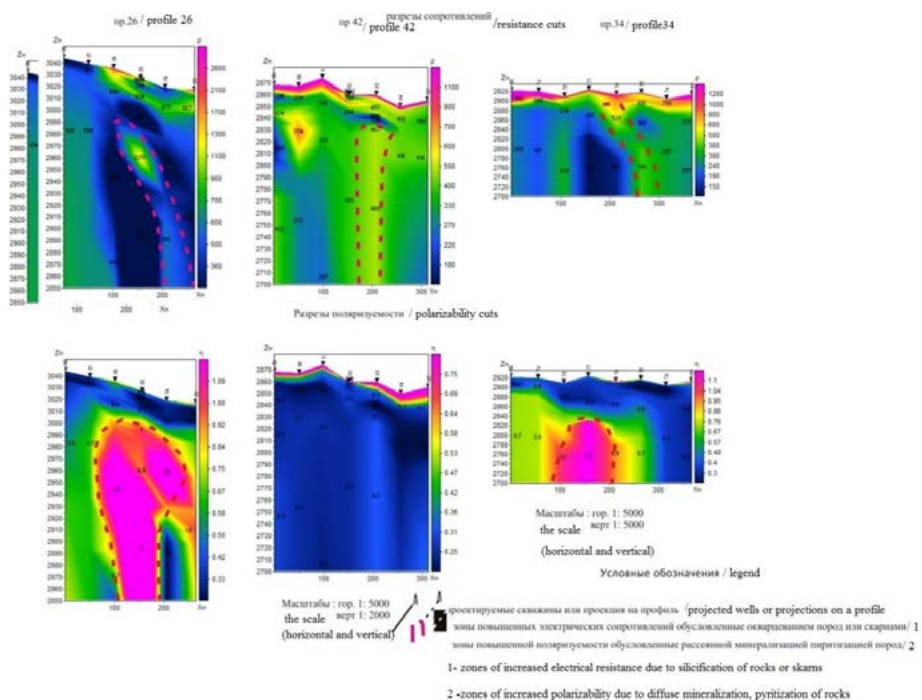


Рис. 5. Геоэлектрические разрезы ВЭС-ВП по пр. 26, 34; 42 /

Fig. 5. Geoelectric sections of VES-VP along pr. 26, 34; 42

Результаты работы и их обсуждение

Работы проводились аппаратурой АЭИ-2 с генератором ВП-1000 (мощность 1 кВт). Режим измерений импульсный, длительность импульса – 1 сек. Регистрация DUвп – 200 мсек. В результате работ построены карты изолиний поляризуемости и кажущегося сопротивления. Работы выполнены качественно на высоком технологическом уровне. Однако из-за малого уровня сигнала DUвп исполнители работ вынуждены были удлинить линию MN, что привело к излишнему сглаживанию полей и потере в детальности исследований.

Авторами в 2019 г. в северной части участка на площади 2,87 кв. км были выполнены работы СГ-ВП по сети 50×10 м с MN – 10 м и АВ – 2000 м. Измерения DU и $\varphi_{вп}$ проводились на частоте 1,22 Гц измерителями МЭРИ – 24 и ЭИН – 209 (режим измерения частотный). Использовался генератор ГЭР – 5000 – 25 (мощность 5 кВт). По результатам измерений построены карты изолиний поляризуемости и кажущегося сопротивления. Следует отметить, что при определении сдвига фаз $\varphi_{вп}$ в частотном режиме сигнал, используемый для измерения сдвига фаз при равных DU с импульсным режимом измерений в 30–100 раз выше. Это основное преимущество фазовых измерений над импульсными.

Как видно из представленных в графическом приложении карт изолиний поляризуемости общий план изолиний хорошо совпадает в пределах зон Северной и Западной. На картах 2019 г. дополнительно выделяются локальные линейные аномалии, связываемые с отдельными рудными телами.

На картах изом наблюдается очень хорошее совпадение плана изолиний и значений ρ_k . В то же время локальные коррелируемые минимумы и максимумы ρ_k шириной 20 м не находят отражения на картах предыдущих исследований. Так локальная линейная аномалия поляризуемости $\varphi_{вп}$ №6 сопровождается линейным максимумом ρ_k , а аномалия $\varphi_{вп}$ №12 минимумом ρ_k , что четко определяет их геологическую природу.

Как видно из приведенного сравнения уменьшение длины приемной линии и шага наблюдений позволило увеличить детальность исследований СГ-ВП и выйти на уровень рудных тел, заданных в техническом задании.

По результатам ТЗ электротомографии и ВЭЗ-ВП получены близкие результаты, хотя методически и теоретически ТЗ обладает в данных условиях большей детальностью и информативностью.

Характеристика магнитного поля. В средней части участка в процессе производства поисковых работ в 2019 г. выполнена магнитная съёмка.

Структура магнитного поля на участке неоднородна (рис. 6): интенсивность аномалий возрастает в направлении с северо-запада на юго-восток. Направление корреляции аномалий преимущественно северо-западное (географический азимут около 300°), что соответствует общему направлению основных рудо-контролирующих геологических структур - Северной и Западной зон сбросо-сдвигов. Аномалии магнитного поля обусловлены гипербазитами (серпентинитами), магнитными разностями туфов и порфириров, а также зонами рудных скарнов.

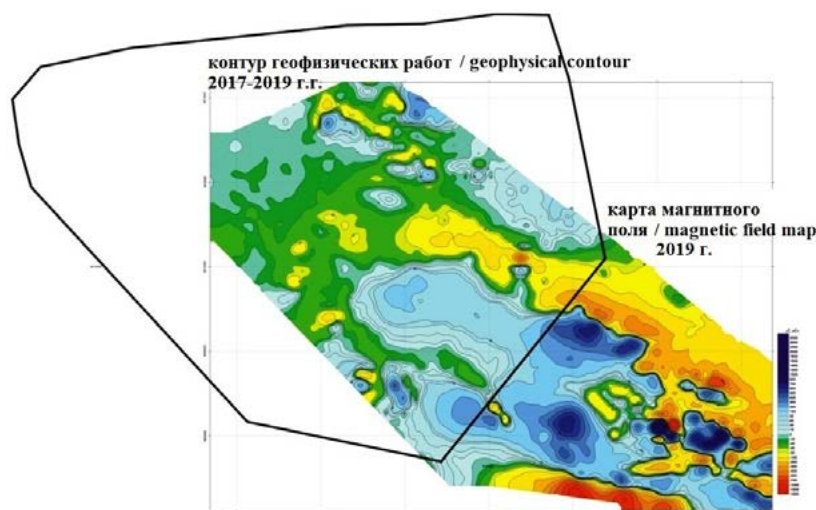


Рис. 6. Карта изодинам магнитного поля ΔT /
Fig. 6. Map to isodyne magnetic field ΔT

Выводы

По результатам геофизических работ построены карты изолиний и графиков ρ_k и $\varphi_{вп}$, выявлена их связь с рудовмещающими структурами и отдельными рудными телами. Всего выявлено 14 локальных аномалий поляризуемости связанных с золото-кварц-сульфидными и сульфидными рудными телами.

Выявлены площадные аномалии повышенной поляризуемости и низких значений электрического сопротивления СГ-ВП вдоль Западной рудно-тектонической зоны. Они связаны с метасоматическими процессами в пределах Западной зоны сбросо-сдвигов.

Непосредственно на площади работ отмечены слабоконтрастные аномалии магнитного поля в северо-западной части Северной зоны.

Непосредственно Северо-восточная рудная зона в магнитном поле не находит отражения. Следует отметить сильное влияние рельефа на характер магнитного поля, вследствие чего наблюдается корреляция хребтов с минимумами магнитного поля.

Литература

1. Босиков И.И., Клюев Р.В., Гаврина О.А. Анализ геолого-геофизических материалов и качественная оценка перспектив нефтегазоносности Южно-Харбижинского участка (Северный Кавказ). // Геология и геофизика Юга России. – 2021а. – Т. 11. №1. – С. 6–21. DOI: 10.46698/VNC.2021.36.47.001.
2. Босиков И.И., Клюев Р.В., Хетагуров В.Н., Ажмухамедов И.М. Разработка методов и средств управления аэрогазодинамическими процессами на добычных участках. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2021. – №1. – С. 77–83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021– 13-1-77-83.
3. Голик В.И., Бурдзиева О.Г., Дзеранов Б.В. Управление геодинамикой массива путем регулирования величины напряжений. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т.10. №2. – С. 147–160. DOI: 10.46698/VNC.2020.93.21.011.
4. Клюев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В., Гаврина О.А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической систе-

мы. // Устойчивое развитие горных территорий. – 2020. – №2. – С. 283–290. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290.

5. Литвиненко И.С. О коренных источниках россыпей Юглеровского рудно-россыпного поля (Северо-Восток России). // Разведка и охрана недр. – 2018. – №6. – С. 3–10.

6. Некрасов Е.М. Поиск «слепых» золоторудных тел жильного типа. // Руды и металлы. – 2018. – №3. – С. 55–71. DOI: 10.24411/0869-5997-2018-10007.

7. Некрасов Е.М. Локализация руд золота в разломах разных типов. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2019. – №6. – С. 33–43.

8. Федорова Л.Л., Куляндин Г.А. Опыт применения метода георадиолокации при эксплуатационной разведке россыпных месторождений золота Якутии. // Успехи современного естествознания. – 2018. – №11. – С. 160–165.

9. 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. – Т. 11. №1. – С. 81–94. DOI: 10.46698/VNC.2021.15.66.007.

10. Шарафелдин Х.Э. Позднеорогенные месторождения золота Египта. // Горные науки и технологии. – 2018. – №1. – С. 89–96. DOI: 10.17073/2500-0632-2018-1-89-96.

11. Augustin J., Gaboury D. Multi-stage and multi-sourced fluid and gold in the formation of orogenic gold deposits in the world-class Mana district of Burkina Faso – Revealed by LA-ICP-MS analysis of pyrites and arsenopyrites. // Ore Geology Reviews. – 2018. – Vol. 104. – pp. 495-521. DOI: 0.1016/j.oregeorev.2018.11.011.

12. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Chandrasekaran S.S., Melkov, D.A. Integrated monitoring of slope process in India and Russia. // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2020. – Vol. 12. No.4. – pp. 572-581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.

13. Luo D., Zeng G. Application and effects of singularity analysis in evaluating the denudation degree of Carlin-type gold deposits in southwest Guizhou, China. // Ore Geology Reviews – 2018. – Vol. 96. – pp. 164-180. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.04.018.

14. Nassani A.A., Aldakhil A.M., Zaman K. Ecological footprints jeopardy for mineral resource extraction: Efficient use of energy, financial development and insurance services to conserve natural resources. // Resources Policy. – 2021. – Vol. 74. No.102271. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102271.

15. Sebutsoe T. C., Musingwini C. Characterizing a mining production system for decision-making purposes in a platinum mine. // The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy. – 2017. – Vol. 117. – pp. 199 – 206.

16. 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.

17. Song X., Pettersen J.B., Pedersen K.B., Roberg S. Comparative life cycle assessment of tailings management and energy scenarios for a copper mine: A case study in Northern Norway. // Journal of Cleaner Production. – 2017. – Vol. 16415. – pp. 892–904.

18. Tyulenev M.A., Zhironkin S.A., Garina E.A. The method of coal losses reducing at mining by shovels. // International Journal of Mining and Mineral Engineering. – 2016. – Vol. 7. No.4. – pp. 363–370. DOI: 10.1504/IJME.2016.079990.

19. Tyulenev M.A., Markov S.O., Gasanov M.A., Zhironkin S.A. Numerical Modeling in the Structural Study of Technogenic Rock Array. // Geotechnical and Geological Engineering. – 2018. – Vol. 36. No. 5. – pp. 2789–2797. DOI: 10.1007/s10706-018-0501-3.

20. Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Shabalov M. Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform. // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1333. No.6. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/6/062033.

References

1. 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). *Geology and Geophysics of Russian South*, 2021a. Vol. 11. No.1. pp 6-21. DOI:10.46698/VNC.2021.36.47.001. (In Russ.)

2. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Khetagurov V.N., Azhmukhamedov I.M. Development of methods

and management tools aerogasdynamics processes at mining sites. Sustainable development of mountain territories, 2021b. No.1. pp. 77-83. DOI: 10.21177/1998-4502-2021–13-1-77-83. (In Russ.)

3. Golik V.I., Burdzieva O.G., Dzeranov B.V. Ground geodynamics control by regulating stress level. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10. No.2. pp. 147-160. DOI: 10.46698/VNC.2020.93.21.011. (in Russ.)

4. 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*, 2020. No.2. pp. 283–290. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290. (In Russ.)

5. Litvinenko I.S. Lode sources of placer deposits in Yugler mineral area, North-east Russia. *Exploration and protection of mineral resources*, 2018. No.6. pp. 3–10. (In Russ.)

6. Nekrasov E.M. Prospecting for lode-type blind gold orebodies. *Ores and Metals*, 2018. No.3. pp. 55-71. DOI: 10.24411/0869-5997-2018-10007. (In Russ.)

7. Nekrasov E.M. Localisation of gold ores in faults of different types. *Proceedings of higher educational institutions. Geology and exploration*, 2019. No.1. pp. 33-43. (In Russ.)

8. Fedorova L.L., Kulyandin G.A. Experience in applying the GPR method in the exploration of placer gold deposits of Yakutia. *Advances in modern natural science*, 2018. No.11. pp. 160–165. (In Russ.)

9. Chotchaev Kh.O., Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B. Zoning of high mountainous areas by geoeological loads caused by geodynamic and climatic influences. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2021. Vol. 11. No.1. pp. 81 – 94. DOI: 10.46698/VNC. 2021.15.66.007. (In Russ.)

10. Sharafeldin H.E. Late-orogenic gold deposits of Egypt. *Mining science and technology*, 2018. Vol. 1. pp. 89-96. DOI: 10.17073/2500-0632-2018-1-89-96.

11. Augustin J., Gaboury D. Multi-stage and multi-sourced fluid and gold in the formation of orogenic gold deposits in the world-class Mana district of Burkina Faso – Revealed by LA-ICP-MS analysis of pyrites and arsenopyrites. *Ore Geology Reviews*, 2018. Vol. 104. pp. 495-521. DOI: 0.1016/j.oregeorev.2018.11.011.

12. Ganapathy G.P., Zaalishvili V.B., Chandrasekaran S.S., Melkov D.A. Integrated monitoring of slope process in India and Russia. *Sustainable Development of Mountain Territories*, 2020. Vol. 12. No.4. pp. 572-581. DOI: 10.21177/1998-4502-2020-12-4-572-581.

13. Luo D., Zeng G. Application and effects of singularity analysis in evaluating the denudation degree of Carlin-type gold deposits in southwest Guizhou, China. *Ore Geology Reviews*, 2018. Vol. 96. pp. 164-180. DOI: 10.1016/j.oregeorev.2018.04.018.

14. Nassani A.A., Aldakhil A.M., Zaman K. Ecological footprints jeopardy for mineral resource extraction: Efficient use of energy, financial development and insurance services to conserve natural resources. *Resources Policy*, 2021. Vol. 74. №. 102271. DOI: 10.1016/j.resourpol.2021.102271.

15. Sebutsoe T.C., Musingwini C. Characterizing a mining production system for decision-making purposes in a platinum mine. *The Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2017. Vol. 117. pp. 199 – 206.

16. 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.

17. Song X., Pettersen J. B., Pedersen K. B., Roberg S. Comparative life cycle assessment of tailings management and energy scenarios for a copper mine: A case study in Northern Norway. *Journal of Cleaner Production*, 2017. Vol. 16415. pp. 892–904.

18. Tyulenev M.A., Zhironkin S.A., Garina E.A. The method of coal losses reducing at mining by shovels. *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, 2016. Vol. 7. No.4. pp. 363–370. DOI: 10.1504/IJMMME.2016.079990.

19. Tyulenev M.A., Markov S.O., Gasanov M.A., Zhironkin S.A. Numerical Modeling in the Structural Study of Technogenic Rock Array. *Geotechnical and Geological Engineering*, 2018. Vol. 36. No.5. pp. 2789–2797. DOI: 10.1007/s10706-018-0501-3.

20. Zhukovskiy Y., Batueva D., Buldysko A., Shabalov M. Motivation towards energy saving by means of IoT personal energy manager platform. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019. Vol. 333. No.6. DOI: 10.1088/1742-6596/1333/6/062033.

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК: 551.463.8/546.72

DOI: [10.46698/VNC.2021.48.82.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.48.82.009)

Оригинальная статья

Особенности распределения взвешенной формы железа в водной толще Каспийского моря

В.В. Ковалев^{1,2}, К.Ю. Гамбург³

¹Государственный морской университет имени адмирала Ф.Ф. Ушакова, Россия, 344006,
г. Ростов-на-Дону, ул. Седова, д. 8, e-mail: kovalev-45@mail.ru;

²Южный федеральный университет, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Большая
Садовая, д. 105/42

³ФГБУН ФИЦ «Южный научный центр РАН», Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр.
Чехова, 41, e-mail: koriellene@yandex.ru

Статья поступила: 21.10.2021, после рецензирования: 22.11.2021, принята к публикации: 27.11.2021

Резюме: Статья посвящена изучению распределения железа в водной взвеси Среднего Каспия. **Актуальность работы** определяется необходимостью оценки естественного состояния морской среды и фиксации ее базового состояния (в том числе различных форм химических элементов) для дальнейшего использования с целью мониторинга экологической ситуации на шельфе Каспийского моря в условиях интенсификации геологоразведочных работ и разработки месторождений нефти. **Цель работы.** Установить характерные особенности поведения взвешенного железа в водах Среднего Каспия. **Материалы и методы работы.** Изучался материал, отобранный в 1989-1990 годах в ходе выполнения рейсов исследовательских судов, принадлежащих Каспийскому НИИ рыбного хозяйства, до начала освоения нефтегазовых месторождений. Он представлен отфильтрованными частицами взвеси из 178 проб воды, взятых из различных слоев водной толщи на 63 станциях. Определение содержаний железа проводилось на спектрографе PGS-2 способом испарения. **Результаты работы.** Минимальные концентрации взвешенной формы железа в поверхностном слое водной толщи установлены на участке внутреннего шельфа и подводного склона котловины Среднего Каспия, что связано с выносом твердых частиц дрейфовыми течениями. Концентрации взвешенной формы железа в поверхностном слое возрастают к середине моря, что обусловлено стягиванием взвешенных частиц центростремительными силами циклонального течения. Придонный слой отличается повышенными концентрациями взвешенной формы железа. Возле дельт рек они связаны с оседанием выносимых с суши твердых частиц. Аномально высокие содержания взвешенной формы железа в придонном горизонте центральной части Среднекаспийской котловины, фиксируемые на отдельных станциях, обусловлены поступлением железа с эманациями донных грязевых вулканов и его коагуляцией в условиях щелочной среды. В целом, с увеличением глубины наблюдается последовательный рост концентраций взвешенной формы железа. Это связано с изменением солености и усилением вертикальной стратификации (уменьшением солености поверхностного горизонта и увеличением солености глубоких слоев). Это приводит к коагуляции и флокуляции органических и металлоорганических коллоидов и переводу растворенного железа во взвесь.

Ключевые слова: Средний Каспий, взвесь, железо, морская среда, водная толща, поверхностный слой, придонный слой.

Для цитирования: Ковалев В.В., Гамбург К.Ю. Особенности распределения взвешенной формы железа в водной толще Каспийского моря. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 109-120. DOI: 10.46698/VNC.2021.48.82.009.

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

DOI: [10.46698/VNC.2021.48.82.009](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.48.82.009)

Original paper

Features of the distribution
of the suspended form of iron in the water
column of the Caspian SeaV.V. Kovalev^{1, 2}, K.Y. Hamburg³¹Admiral F.F. Ushakov State Maritime University, 8 Sedova str., Rostov-on-Don 344006,
Russian Federation, e-mail: kovalev-45@mail.ru;²Southern Federal University, 105/42 Bolshaya Sadovaya str., Rostov-on-Don 344006,
Russian Federation;³Southern Scientific Center, Russian Academy of Sciences, 41 Chekhov Ave., Rostov-on-Don
344006, Russian Federation, e-mail: koriellene@yandex.ru*Received: 21.10.2021, revised: 22.11.2021, accepted: 27.11.2021*

Abstract: The article is devoted to the study of the distribution of iron in the water suspension of the Middle Caspian Sea. **The relevance** of the work is determined by the need to assess the natural state of the marine environment and fix its basic state (including various forms of chemical elements) for further use in order to monitor the environmental situation on the shelf of the Caspian Sea in the conditions of intensification of exploration and development of oil fields. **Aim.** To establish the characteristic features of the behavior of suspended iron in the waters of the Middle Caspian. **Materials and methods.** The material selected in 1989-1990 during the voyages of research vessels was studied, owned by the Caspian Research Institute of Fisheries, before the development of oil and gas fields. It is represented by filtered suspended particles from 178 water samples taken from various layers of the water column at 63 stations. Determination of iron content was carried out on the PGS-2 spectrograph by evaporation. **Results.** The minimum concentrations of the suspended form of iron in the surface layer of the water column were established on the section of the inner shelf and the underwater slope of the Middle Caspian basin, which is associated with the removal of solid particles by drift currents. The concentrations of the suspended form of iron in the surface layer increase towards the middle of the sea, which is caused by the contraction of suspended particles by the centripetal forces of the cyclonic current. The bottom layer is characterized by increased concentrations of the suspended form of iron. Near river deltas, they are associated with the subsidence of solid particles carried out from the land. Abnormally high concentrations of suspended iron in the bottom horizon of the central part of the Middle Caspian basin, recorded at individual stations, are due to the influx of iron with emanations of bottom mud volcanoes and its coagulation in an alkaline environment. In general, with increasing depth, there is a consistent increase in the concentrations of the suspended form of iron. This is due to a change in salinity and an increase in vertical stratification (a decrease in the salinity of the surface horizon and an increase in the salinity of the deep layers). This leads to coagulation and flocculation of organic and organometallic colloids and the transfer of dissolved iron into suspension.

Keywords: Middle Caspian, suspension, iron, marine environment, water column, surface layer, bottom layer.

For citation: Kovalev V.V., Hamburg K.Y. Features of the distribution of the suspended form of iron in the water column of the Caspian Sea. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 109-120. DOI: 10.46698/VNC.2021.48.82.009.

Введение

Взвесь представляет собой распределенные в водной толще твердые частицы минеральных и органических веществ различного происхождения размером менее 1 мм. Поступление таких частиц из разнообразных источников, предполагает разнообразный химический состав и способность отдавать в водную толщу или собирать на себе загрязняющие вещества, в том числе опасные химические элементы, транспортировать их на значительные расстояния [Лисицын, 2014; Гордеев и др., 2018; Кравчишина и др., 2018 и др.]. Выявление закономерностей поведения взвеси в водной толще, особенностей формирования ее химического состава является необходимым при идентификации источников загрязнения и при организации мониторинга экологического состояния морской среды. Однако, получаемые после начала освоения Каспийского шельфа в 1995 г. данные о распределении взвеси в водной толще Каспийского моря, а также связанных с ней опасных веществ и химических элементов [Лукашин и др., 2010; Klyuvitkin et al., 2015; Kravchishina et al., 2016; Ambrosimov et al., 2017 и др.], предполагают возможность их искажения техногенной компонентой, обусловленной проведением геолого-геофизических исследований и добычей полезных ископаемых на шельфе. Например, отобранные в ходе экспедиционных исследований судов 2015 г. пробы водной взвеси показали признаки загрязнения ее веществами нефтяного происхождения [Klyuvitkin et al., 2015]. Это подтверждает необходимость получения данных о химическом составе и закономерностях распределений отдельных химических элементов водной взвеси Каспийского моря до 1995 г., то есть, до начала геолого-геофизических, разведочных и добычных работ на шельфе Каспийского моря. Получение таких данных является весьма актуальной задачей, решение которой позволит оценить естественное состояние морской среды и зафиксировать его как базовое с целью использования при создании систем экологического мониторинга в связи с интенсификацией геофизических и геологоразведочных работ на нефть и освоением вновь открываемых месторождений [Николаев, 2006; Матишов и др., 2009; Матишов, Парада, 2015; Велиев, 2021].

Ранее нами рассмотрены особенности распределения самой водной взвеси в толще Каспийского моря, основанные на данных рейсов научно-исследовательских судов Каспийского НИИ рыбного хозяйства, осуществленных в 1989-1990 гг. до начала освоения полезных ископаемых шельфа Каспийского моря [Ковалев и др., 2019]. Было показано, что распределение водной взвеси в толще Каспийского моря более всего зависит от климатических различий западной и восточной, северной и южной его частей. В меньшей степени они связаны с особенностями рельефа побережья и дна, гидродинамическим режимом и распространением биоты. Наиболее высокими содержаниями взвеси характеризуются воды мелководного Северного Каспия. В водах Среднего и Южного Каспия концентрации взвеси значительно ниже. Распределение взвеси в этих водах подчиняется циркумконтинентальной зональности. Наименьшие содержания взвеси определены в недостижимой для терригенных частиц пелагиали над Дагестанской впадиной. Повышенными содержаниями взвеси характеризуются воды прибрежной зоны. Наиболее высокие из них установлены в водах у западного побережья, что связано с большим количеством, привносимых реками продуктов разрушения суши. В водах восточной части бассейна отмечаются отдельные участки с повышенными концентрациями взвеси, что, скорее всего, связано с развитием планктона в условиях подъема к поверхности обогащенных питательными веществами глубинных вод. В водной толще глубоководного Среднего Каспия происходит уменьшение концентрации взвеси с глу-

биной, в отличие от мелководного Северного Каспия, где наоборот, наблюдается увеличение содержаний взвеси с глубиной.

Полученные нами результаты распределения водной взвеси в водах Каспия в 1989 – 1990 годах сопоставимы с данными 1962 г. [Гершанович, Груднульс, 1969] и 1972 г. [Хачатурова, 1972]. Это свидетельствует об устойчивости основных параметров распределения взвеси в водной толще Каспийского моря, по крайней мере, до начала освоения нефтегазовых ресурсов шельфа и о правомерности использования этих параметров как базовых в различных моделях мониторинга состояния морской среды.

В настоящей статье приведены результаты определения концентрации железа в образцах водной взвеси. Из изученного круга элементов железо является одним из наиболее распространенных химических элементов во взвешенном веществе Среднего Каспия. При этом железо относится к группе литогенных элементов, высоко коррелируемых с другими литогенными элементами (Al, Si, Mn) в составе водной взвеси [Lukashin et al., 2019] и в поступающих в водоем аэрозолях [Лисицын и др., 2018]. По результатам этих исследований его концентрация практически не зависит от колебаний температуры и режима солености вод. Это значит, режима солености Средней и Южной частей Каспийского моря, характеризующийся вертикальной стратификацией, приводящей к опреснению поверхностного горизонта водной толщи и осолонению ее нижних горизонтов [Матишов и др., 2018], не будет влиять на концентрации железа в водной взвеси. Следовательно, железо может служить индикатором литогенности водной взвеси.

Предполагается, что результаты исследования взвешенной формы железа, вместе с результатами выполненных нами ранее определений его растворенной формы [Ковалев и др., 2019] будут заложены вместе с другими компонентами в базовые параметры мониторинговых моделей, отслеживающих изменения морской среды под воздействием нефтедобывающего комплекса относительно первичного ее состояния.

Материалы и методы

Материал для изучения химического состава водной взвеси получен в рейсах 1989-1990 годов, осуществленных научно-исследовательскими судами Каспийского НИИ рыбного хозяйства. В эти годы был выполнен отбор водных проб из разных горизонтов водной толщи, начиная от поверхностного и заканчивая придонным. Методика отбора проб предполагала использование винипластового батометра, с помощью которого осуществлялся забор морской воды через каждые 50–100 м, с учетом глубины в данном месте. Частицы взвеси извлекались из водной пробы на судне сразу после ее подъема с применением фильтрации в вакууме 0,4 атм. Для этого использовались мембранные фильтры №3 с размером пор 0,7 мкм. Количество взвеси определялось взвешиванием высушенного фильтрата. Состав частиц определялся визуально с помощью микроскопа.

Для цели настоящего исследования было доступно в необходимых для химического анализа количествах 178 проб взвешенного вещества, отобранных на 63 станциях, расположенных на девяти профилях в пределах Среднего Каспия (рис. 1). Определение содержаний химических элементов проводилось на спектрографе PGS-2 способом испарения. По результатам анализа железо обнаружено в 168 пробах, что составило 94,4% от общего количества проанализированных проб.

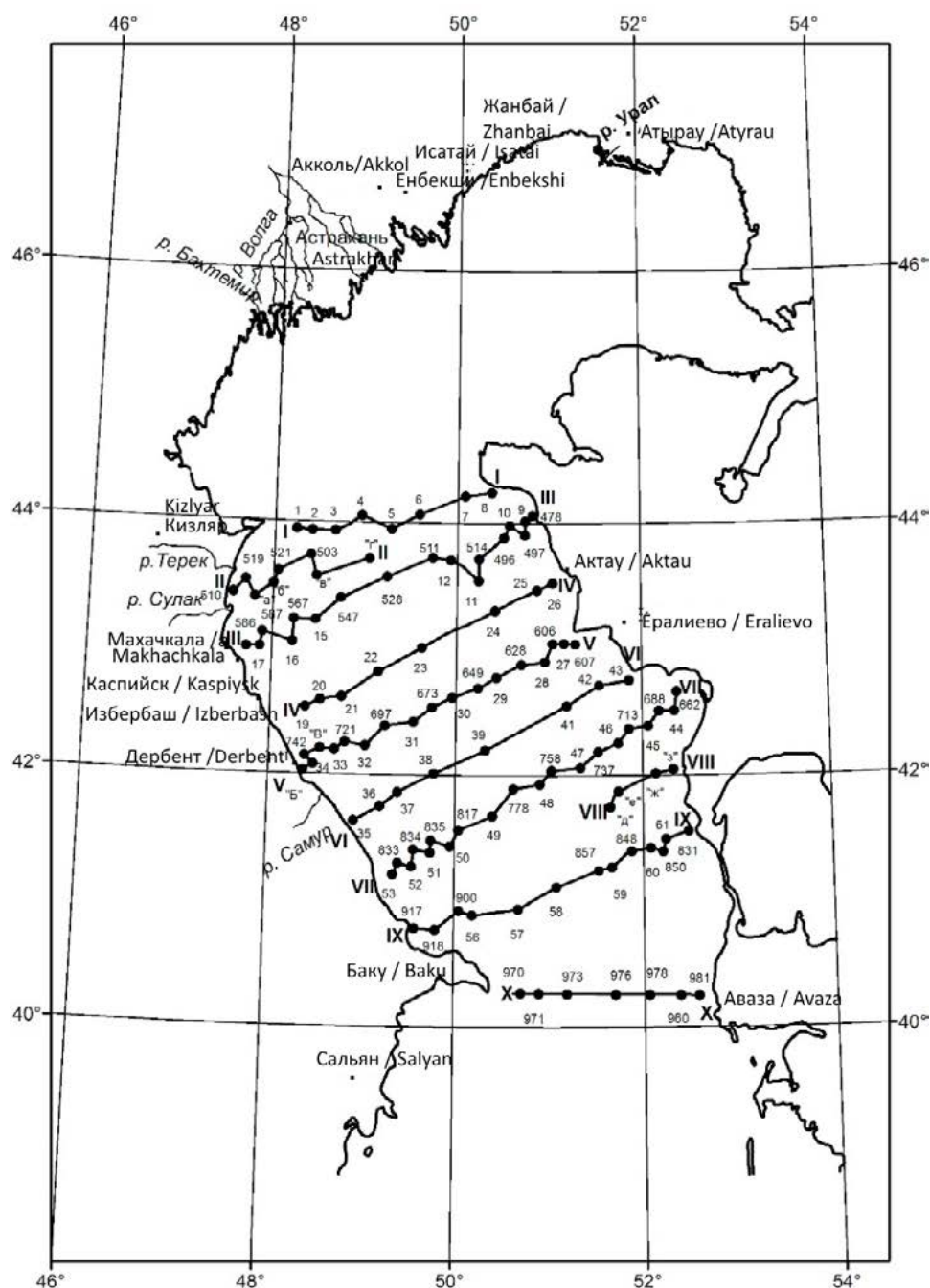


Рис. 1. Положение станций отбора проб в Среднем Каспии в 1989-1990 гг. Линии соответствуют траекториям рейсов, римские цифры – номера разрезов по рейсам, точки – станции отбора проб, числа у точек – номера станций, буквы у точек – станции дополнительного отбора проб /

Fig. 1. The position of sampling stations in the Middle Caspian Sea in 1989-1990. The lines correspond to flight trajectories, Roman numerals – section numbers for flights, points – sampling stations, numbers at points – station numbers, letters at points – additional sampling stations

Результаты и их обсуждение

Распределение взвешенной формы железа в пространстве анализировалось на карте отдельно в поверхностном горизонте, и отдельно – в придонном слое водной толщи (рис. 2). Распределение содержаний железа во взвеси в вертикальном разрезе водной толщи осуществлен по линиям рейсов (рис. 3).

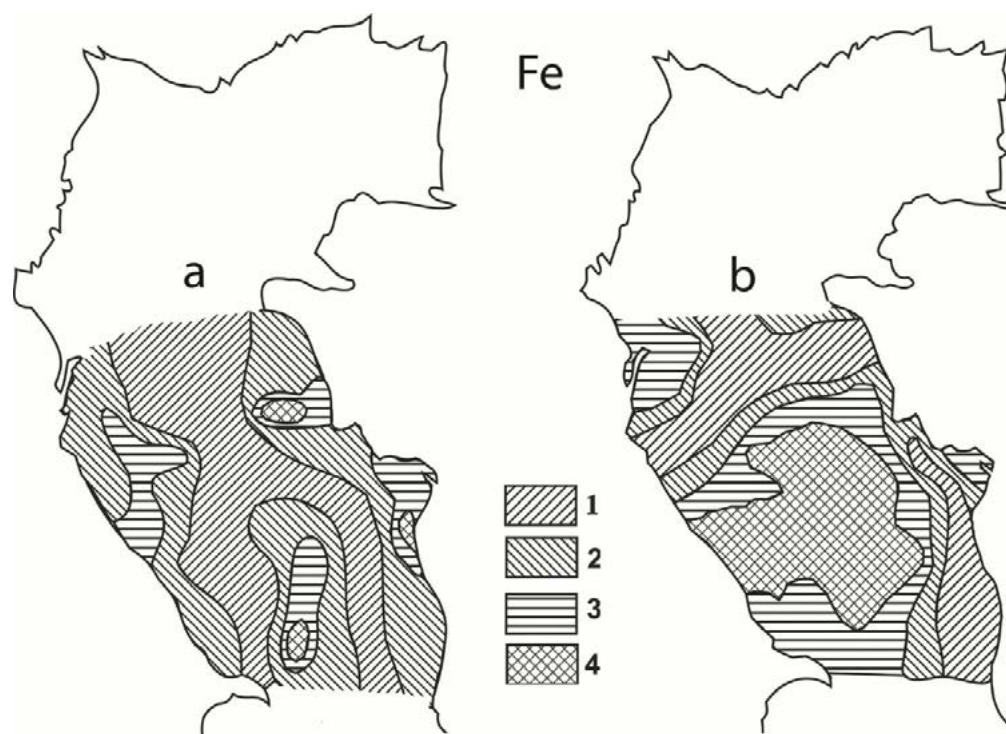


Рис. 2. Схемы распределения концентраций железа в водной взвеси Среднего Каспия (%):
а – в поверхностном слое; б – в придонном слое. 1 – менее 0,3; 2 – 0,3–0,5; 3 – 0,5–1,0; 4 – более 1,0 /

*Fig. 2. Schemes of distribution of iron concentrations in the water suspension
of the Middle Caspian Sea (%):*

*a – in the surface layer; b – in the bottom layer. 1 – less than 0.3; 2 – 0.3–0.5; 3 – 0.5–1.0;
4 – more than 1.0*

Концентрации взвешенной формы железа изменяются в пределах: от следов до 4,73% в среднем горизонте, в поверхностном – 0,37%, в придонном – 0,91%, для всей водной толщи – 0,62%. Для сравнения значение взвешенного железа в водной толще Тихого океана составляет 0,64%, в водах Черного моря – 0,5–1,0%. Поступление взвешенной формы железа на акваторию Среднего Каспия связано, в основном, со стоком рек, с эоловыми наносами и продуктами абразии дна. До 99,86% железа во взвешенном состоянии выносятся горными реками, дренирующими склон восточного Кавказа. Главная масса железа в речной взвеси входит в пелитовую фракцию. В приустьевых частях моря, где речные воды смешиваются с морской водой происходит резкое уменьшение концентрации взвешенного железа, что связано с коагуляцией и оседанием больших количеств взвеси на дно. На гипотетическом профиле (река – зона смешанных речных и морских вод – море) изменяется соотношение взвешенного и растворенного железа: если в речной воде, преобладающей является взвешенная форма, то в морской она становится подчиненной, так как в процессе трансформации речной взвеси в устьевых зонах изменяется соотношение форм миграции металлов: часть растворенных металлов удаляется из раствора, другая часть, напротив, мобилизуется раствором в результате превращения в подвижные формы [Lukashin et al., 2019; Савенко и др., 2021].

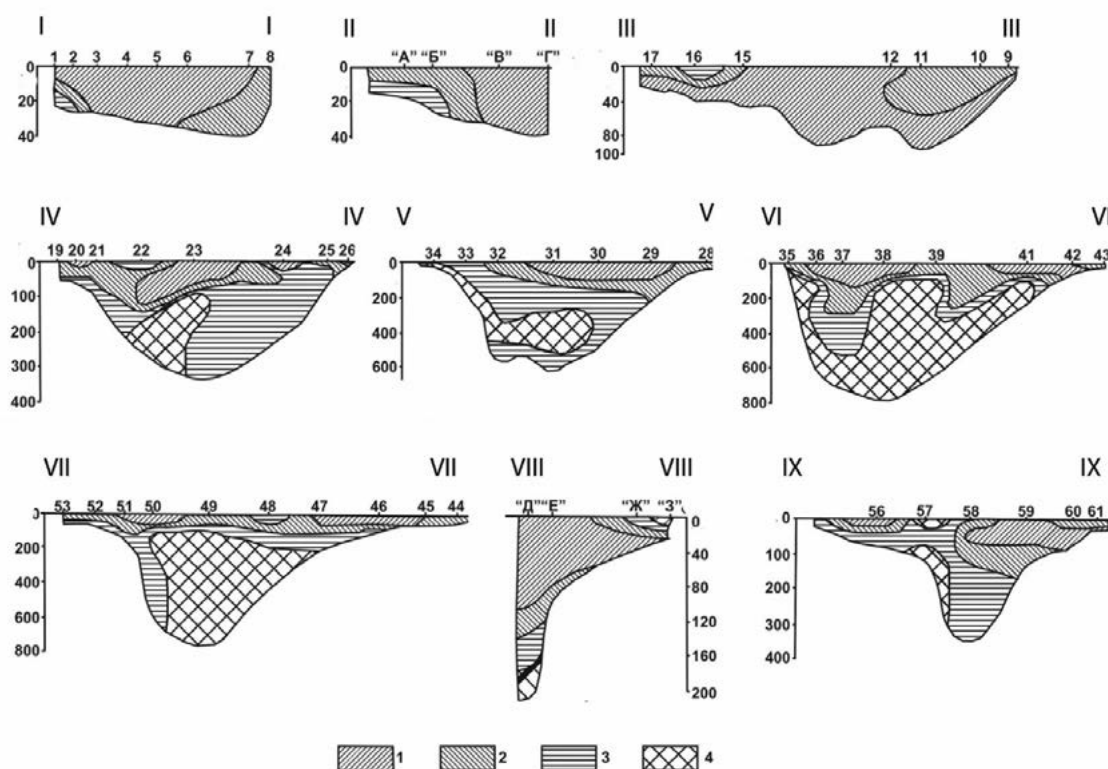


Рис. 3. Схемы распределения взвешенной формы железа по вертикали водной толщи Среднего Каспия по линиям рейсов (мг/л): 1 – менее 0,3; 2 – 0,3–0,5; 3 – 0,5–1,0; 4 – более 1,0. Числа на вертикальных осях – глубина в метрах; Точки и числа на горизонтальных осях – положение станций отбора проб и их номера в соответствии с рисунком 1 /

Fig. 3. Schemes of distribution of the suspended form of iron along the vertical water column of the Middle Caspian Sea along the lines of flights (mg/l): 1 – less than 0.3; 2 – 0.3–0.5; 3 – 0.5–1.0; 4 – more than 1.0. Numbers on vertical axes – depth in meters; Points and numbers on horizontal axes – position of sampling stations and their numbers according to Fig. 1

Поступление больших масс взвешенных частиц в составе твердого стока рек и с ветровыми потоками определило повышенные концентрации взвешенного железа (0,3–0,5%) в прибрежной области Среднего Каспия. Железо транспортируется преимущественно в составе лимонитизированных обломков пород, входя в кристаллическую решетку минералов, а также в адсорбированном комплексе — на поверхности мицелл глинистых минералов, в виде золей и коагулировавшихся сгустков гидроокисей. Вдоль западного и восточного берега, занимая почти всю шельфовую часть моря, протянулись широкие полосы повышенных содержаний взвешенного железа (0,3–0,5%). Внутри каждой из них выделяются районы высоких (0,5–1%) и даже максимальных величин элемента (более 1%). При удалении от береговой линии к центральным открытым областям моря уменьшается доля обломочного материала за счет его оседания и увеличивается примесь биогенного вещества вследствие развития фитопланктона, что незамедлительно сказывается на концентрациях взвешенного железа. Они понижаются до значений, составляющих менее 0,3%. В поверхностном горизонте на участке внутреннего шельфа и подводного склона котловины Среднего Каспия, где активность дрейфовых течений еще достаточно высока, наблюдаются минимальные величины взвешенного железа. Но уже на поверхности халистатической части Среднего Каспия (Дербентская впадина) отмеча-

ется последовательный рост содержаний элемента вследствие стягивания гидроокислов железа и железоорганических частиц под действием центростремительных сил циклонального течения. Такие же высокие концентрации железа во взвеси, обусловленные циркуляцией вод, отмечаются в центральных халистатических областях восточной и западной котловины Черного моря, а также характерны для циклонических круговоротов и районов подъема вод в Балтийском и Средиземном морях.

В придонном горизонте Среднего Каспия распределение железа во взвеси имеет ряд принципиальных различий по сравнению с поверхностными. Отличительной чертой является то, что если в верхних слоях преддельтового пространства рек Сулака и, частично, Терекане выделяется ареал высоких содержаний взвешенного железа, то в глубинных он уже четко выражен. Видимо, основная масса твердых выносов этих рек, а с ними терригенных железосодержащих минералов транспортируется в море с придонными водами. Высокие (0,5-1%) и максимальные (более 1%) концентрации железа в придонном слое больше тяготеют к водам западной части морского бассейна, что связано с привносом твердых частиц горными реками, вместе с которыми поступают гидроокисные образования железа. Высокие содержания в придонном горизонте центральной части Среднекаспийской котловины на отдельных станциях обусловлены его поступлением из грязевых вулканов [Алиев, Етирмишли, 2021].

В прибрежной области от уреза до 50-тиметровой изобаты, вследствие процесса интенсивного волнового перемешивания вод и значительной удаленности от источников поступления осадочного материала, концентрация взвешенного железа на поверхности (0,45%) слабо отличается от концентрации в придонном горизонте (0,48%). На глубине 50 метров происходит снижение концентраций взвешенного железа до 0,31%, вызванное, прежде всего переходом части взвешенной формы элемента в растворенную за счет разложения органического вещества, а следовательно, и железо-органических соединений в составе взвеси. С увеличением глубины наблюдается последовательный рост концентраций железа во взвеси: 0,45% на горизонте 100 м и 0,54% – у дна. Это связано с изменением режима солёности водной толщи Среднего Каспия в сторону усиления стратификации, распреснением верхнего горизонта и возрастания солёности вод с глубиной [Матишов и др., 2018], что, как установлено в работах [Min-Han Dai, Martin, 1995; Turner, 1996] приводит к коагуляции и флокуляции органических и металлоорганических коллоидов и переводу растворенного железа во взвесь.

В центральной части Среднего Каспия преобладают наименьшие значения элемента, в среднем 0,35%. Уже при заглублении на 50 м содержания железа во взвеси заметно уменьшаются, а с горизонта 100 м и далее с увеличением глубины распределение взвешенной формы металла имеет устойчивый характер с небольшими колебаниями концентраций по вертикали. Слабые понижения содержания железа, вызванные гидродинамическими и геохимическими особенностями глубоководной водной массы, намечаются на глубине 300 м (0,87%) и в батипелагиали на горизонте 500 м (0,80%). У дна центральной впадины происходит резкий скачок содержания элемента до 1,74%. Здесь обычно наблюдается скопление взвешенных высокодисперсных комплексов оксигидратов железа и марганца.

Если проследить изменение концентраций взвешенного железа на гипотетическом профиле прибрежная-шельфовая-глубоководная зоны морей, то можно отме-

тить, что достаточно высокие вследствие постоянного поступления кластических терригенных частиц, содержания металла во взвеси зафиксированы в прибрежной зоне (0,47%); по мере удаления от берега по направлению к области внутреннего шельфа снижаются до 0,44%; далее в сторону центральных открытых районов моря, в основном, за счет повсеместного развития гидроокислов железа в глубинных слоях вод происходит значительный рост концентрации взвешенного железа до 0,91%.

Выводы

Анализ распределения взвешенной формы железа в водной толще Среднего Каспия позволяет сделать следующие выводы:

1. В поверхностном слое водной толщи минимальные содержания взвешенной формы железа наблюдаются на участке внутреннего шельфа и подводного склона котловины Среднего Каспия, что связано с перемещением твердых частиц дрейфовыми течениями. Максимальные концентрации взвешенной формы железа в поверхностном слое возрастают к середине моря и достигают максимума в его халистатической части (в районе Дербентской впадины). Это обусловлено стягиванием гидроокислов железа и железоорганических частиц под действием центростремительных сил циклонального течения.

2. Отличительной чертой распределения взвешенной формы железа в придонном слое Среднего Каспия является его повышенная концентрация. В предельтовых пространствах рек Сулака и, частично, Терека она связана с оседанием выносимых этими реками твердых частиц и их концентрацией в придонных водах. Аномально высокие содержания взвешенной формы железа в придонном горизонте центральной части Среднекаспийской котловины, фиксируемые на отдельных станциях, обусловлены поступлением железа с эманациями донных грязевых вулканов и его коагуляцией в условиях щелочной среды.

3. В целом, с увеличением глубины наблюдается последовательный рост концентраций взвешенной формы железа. Это обусловлено возрастанием солености вод Среднего Каспия с глубиной в связи с вертикальной стратификацией, при распреснении поверхностного горизонта. Все это приводит к коагуляции и флокуляции органических и металлоорганических коллоидов и переводу растворенного железа во взвесь.

Литература

1. Алиев Ад.А., Етирмишли Г.Д. Новые данные об извержениях грязевых вулканов в Азербайджане. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №2. – С. 22–35. DOI: 10.46698/VNC.2021.34.18.002
2. Велиев Г.О. Роль геодинамического напряжения в формировании нефтегазовых структур в Каспийском море (на примере месторождений Шахдениз, Умид, Бабек, Булла-Дениз). // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №2. – С. 36–50. DOI: 10.46698/VNC.2021.68.77.003
3. Гершанович Д.Е., Грундульс З.Е. Взвешенные вещества в водах Северного Каспия. // Труды ВНИРО. – 1969. – №65. – С. 57–84.
4. Гордеев В.В., Маккавеев П.Н., Рейхард Л.Е., Коченкова А.И. Особенности элементного состава взвеси Аральского моря в современных условиях. // Океанология. – 2018. – Т. 58. №4. – С. 629–639.
5. Ковалев В.В., Парада С.Г., Рыбин И.В. Распределение концентраций взвеси в водной

толще Каспийского моря по данным рейсов 1989-1990 гг. // Наука Юга России. – 2019. – Т. 15. №1. – С. 60–70.

6. Кравчишина М.Д., Клювиткин А.А., Лукашин В.Н., Политова Н.В., Новигатский А.Н., Лисицын А.П. Распределение взвешенного вещества в Каспийском море. // Метеорология и гидрология. – 2018. – №10. – С. 96–107.

7. Лисицын А.П. Современные представления об осадкообразовании в океанах и морях. Океан как природный самописец взаимодействия геосфер Земли. // Мировой океан. Т. 2. / Ред. Лобковский Л.И., Нигматулин Р.И. – М.: Научный мир, 2014. – С. 331–571.

8. Лисицын А.П., Лукашин В.Н., Новигатский А.Н., Клювиткин А.А., Дара О.М., Политова Н.В. Аэрозоли в придном слое атмосферы Каспийского моря. // Доклады академии наук. – 2018. – Т. 478. №6. – С. 702–708.

9. Лукашин В.Н., Амбросимов А.К., Либина Н.В., Кравчишина М.Д., Гольдин Ю.А., Политова Н.В., Якубов Ш.Х. Комплексные исследования в северной части Каспийского моря в 30-м рейсе НИС «Рифт (17–28 апреля 2009 г.). // Океанология. – 2010. – Т. 50. №3. – С. 472–476.

10. Матишов Г.Г., Парада С.Г. Добыча сланцевого газа методом гидроразрыва пласта: современное состояние, риски и угрозы. // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – №1. – С. 42–60.

11. Матишов Д.Г., Яицкая Н.А., Бердников С.В. Изменения температуры и солености вод Каспийского моря в XX веке. // Океанология. – 2018. – Т. 58. №6. – С. 864–874.

12. Матишов Г.Г., Бердников С.В., Степаньян О.В., Курапов А.А., Архипова О.Е., Сорокина В.В., Цыганкова А.Е., Дашкевич Л.В., Поважный В.В., Бирюкова С.В., Кулыгин В.В., Сапрыгин В.В., Яицкая Н.А. Разработка инструментария для комплексной оценки воздействия на экосистему Северного Каспия при освоении морских нефтегазовых месторождений. // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2009. – №1. – С. 5–20.

13. Николаев Н.М. Нефть чистой воды. // Нефть России. – 2006. – №9. – С. 86–89.

14. Савенко А.В., Савенко В.С., Покровский О.С. Сорбционно-десорбционная трансформация стока растворенных микроэлементов на геохимическом барьере река–море (по данным лабораторного экспериментального моделирования). // Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48. №2. – С. 207–212.

15. Хачатурова Т.А. Содержание взвешенных веществ в водах Среднего и Южного Каспия. // Труды ВНИРО. – 1972. – №90. – С. 7–17.

16. Ambrosimov A.K., Klyuvitkina A.A., Filippov A.S., Kozina N.V., et al. Study of the North and Central Caspian on the October 2015 expedition of the R/V Nikifor Shurekov. // Oceanology. – 2017. – Vol. 57. No.5. – pp. 756–758. DOI: 10.1134/S0001437017050010

17. Klyuvitkin A.A., Ambrosimov A.K., Kravchishina M.D., Dukhova L.A., et al. Comprehensive study of the Caspian Sea system during the second cruise of the research vessel Nikifor Shurekov. // Oceanology. – 2015. – Vol. 55. No.2. – pp. 311–314. DOI: 10.1134/S000143701502006X

18. Kravchishina M.D., Lein A.Yu., Pautova L.A., Klyuvitkin A.A., Politova N.V., Novigatsky A.N., Silkin V.A. Vertical distribution of suspended particulate matter in the Caspian Sea in early summer. // Oceanology. – 2016. – Vol. 56. No.6. – pp. 819–836. DOI: 10.1134/S0001437016050064

19. Lukashin V.N., Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Politova N.V. Geochemistry of suspended particulate matter in the volga river marginal filter. // Oceanology. – 2019. – Vol. 59. No.3. – pp. 381–391. DOI: 10.1134/S0001437019030135

20. Min-Han Dai, Martin J.-M. First data on trace metal level and behaviour in two major Arctic river-esuarine systems (Ob and Yenisei) and in the adjacent Kara Sea, Russia. // Earth and Planet. Sci. Lett. – 1995. – Vol. 131. – pp. 127–141.

21. Turner A. Trace metal partitioning in estuaries: importance of salinity and particle concentration. // Marine Chemistry. – 1996. – Vol. 54. – pp. 27–39.

References

1. Aliyev AD. A., Yetirmishli G.D. New data on eruptions of mud volcanoes in Azerbaijan. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. No. 2. pp. 22–35. DOI: 10.46698/VNC.2021.34.18.002 (In Russ.)
2. Veliev G.O. The role of geodynamic stress in the formation of oil and gas structures in the Caspian sea (on the example of The Shah Deniz, Umid, Babek, Bulla Deniz fields). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.2. pp. 36–50. DOI: 10.46698/VNC.2021.68.77.003 (In Russ.)
3. Gershanovich D.E., Grunduls Z.E. Suspended substances in the waters of the North Caspian. *Proceedings of VNIRO*. 1969. No. 65. pp. 57–84. (In Russ.)
4. Gordeev V.V., Makkaveev P.N., Reikhard L.E., Kochenkova A.I. Features of the elemental composition of suspended matter in the Aral Sea in modern conditions. *Oceanology*. 2018. Vol. 58. No. 4. pp. 629–639. (In Russ.)
5. Kovalev V.V., Parada S.G., Rybin I.V. Distribution of suspended matter concentrations in the water column of the Caspian Sea according to the data of the 1989–1990 cruises. *Science in the South Russia*. 2019. Vol. 15.No.1. pp. 60–70. (In Russ.)
6. Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A., Lukashin V.N., Politova N.V., Novigatskii A.N., Lisitsyn A.P. Distribution of suspended matter in the Caspian Sea. *Meteorology and Hydrology*. 2018. No. 10. pp. 96–107. (In Russ.)
7. Lisitsyn A.P. Modern ideas about sedimentation in oceans and seas. The ocean as a natural recorder of the interaction of the Earth's geospheres. *World Ocean*. Vol. 2. Ed. Lobkovsky L.I., Nigmatulin R.I. Moscow. Nauchnyi mir, 2014. pp. 331–571. (In Russ.)
8. Lisitsyn A.P., Lukashin V.N., Novigatskii A.N., Klyuvitkin A.A., Dara O.M., Politova N.V. Aerosols in the near-water layer of the atmosphere of the Caspian Sea. *DokladyEarth Sciences*. 2018. Vol. 478. No. 6. pp. 702–708. (In Russ.)
9. Lukashin V.N., Ambrosimov A.K., Libina N.V., Kravchishina M.D., Goldin Yu.A., Politova N.V., Yakubov Sh.Kh. Comprehensive research in the northern part of the Caspian Sea during the 30th cruise of the research ship Rift (17–28 April 2009). *Oceanology*. 2010. Vol. 50. No. 3. pp. 472–476. (In Russ.)
10. Matishov G.G., Parada S.G. Shale gas production by hydraulic fracturing: current state, risks and threats. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2015. No. 1. pp. 42–60. (In Russ.)
11. Matishov D.G., Yaitskaya N.A., Berdnikov S.V. Changes in temperature and salinity of the Caspian Sea in the XX century. *Oceanology*. 2018. Vol. 58. No. 6. pp. 864–874. (In Russ.)
12. Matishov G.G., Berdnikov S.V., Stepanyan O.V., Kurapov A.A., et al. Development of tools for a comprehensive assessment of the impact on the ecosystem of the Northern Caspian during the development of offshore oil and gas fields. *Environmental protection in the oil and gas complex*. 2009. No. 1. pp. 5–20. (In Russ.)
13. Nikolaev N.M. Pure water oil. *Oil of Russia*. 2006. No. 9. pp. 86–89. (In Russ.)
14. Savenko A.V., Savenko V.S., Pokrovskii O.S. Sorption-desorption transformation of the runoff of dissolved trace elements at the river-sea geochemical barrier (according to laboratory experimental modeling). *Water resources*. 2021. Vol. 48. No. 2. pp. 207–212. (In Russ.)
15. Khachaturova T.A. The content of suspended solids in the waters of the Middle and South Caspian. *Proceedings of VNIRO*. 1972. No. 90. 7–17. (In Russ.)
16. Ambrosimov A.K., Klyuvitkina A.A., Filippov A.S., Kozina N.V., Serebrennikova E.A., Bondar' A.V., Nemirovskaya I.A., Zolotikh E.O., Budko D.F. Study of the North and Central Caspian on the October 2015 expedition of the R/V NikiforShurekov. *Oceanology*. 2017. Vol. 57. No.5. pp. 756–758. DOI: 10.1134/ S0001437017050010
17. Klyuvitkin A.A., Ambrosimov A.K., Kravchishina M.D., Dukhova L.A., et al. Comprehensive study of the Caspian Sea system during the second cruise of the research vessel Nikifor Shurekov. *Oceanology*. 2015. Vol. 55. No.2. pp. 311–314. DOI: 10.1134/ S000143701502006X

18. Kravchishina M.D., Lein A.Yu., Pautova L.A., Klyuvitkin A.A., Politova N.V., Novigatsky A.N., Silkin V.A. Vertical distribution of suspended particulate matter in the Caspian Sea in early summer. *Oceanology*. 2016. Vol. 56. No.6. pp. 819–836. DOI: 10.1134/S0001437016050064
19. Lukashin V.N., Kravchishina M.D., Klyuvitkin A.A., Novigatsky A.N., Politova N.V. Geochemistry of suspended particulate matter in the Volga river marginal filter. *Oceanology*. 2019. Vol. 59. No.3. pp. 381–391. DOI: 10.1134/S0001437019030135
20. Min-Han Dai, Martin J.-M. First data on trace metal level and behaviour in two major Arctic river-esuarine systems (Ob and Yenisei) and in the adjacent Kara Sea, Russia. *Earth and Planet. Sci. Lett.* 1995. Vol. 131. pp. 127–141.
21. Turner A. Trace metal partitioning in estuaries: importance of salinity and particle concentration. *Marine Chemistry*. 1996. Vol. 54. pp. 27–39.

ГЕОЛОГИЯ, ПОИСКИ И РАЗВЕДКА
ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ, МИНЕРАГЕНИЯ

УДК 553.07:556.3.01:622.33

DOI: [10.46698/VNC.2021.31.82.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.31.82.010)

Оригинальная статья

О происхождении и морфологии Z-образных расщеплений угольных залежей (на примере Восточного Донбасса)

А.В. Мохов 

ФГБУН ФИЦ «Южный научный центр РАН», Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, пр.
Чехова, 41, e-mail: mochov@ssc-ras.ru; mokhov_av@mail.ru

Статья поступила: 22.10.2021, после рецензирования: 20.11.2021, принята к публикации: 27.11.2021

Резюме: Статья посвящена выявлению морфологии и происхождения распространенных во многих угольных регионах мира уникальных углепородных структур – Z-образных расщеплений угольных залежей, впервые обнаруженных автором в Восточном Донбассе. **Актуальность работы** определяется необходимостью разработки научных основ угленакопления для определения промышленной ценности и минерагенических перспектив территорий. **Цель работы.** Совершенствование теории угленакопления и первичного структурообразования в осадочных формациях в целом. **Методы работы.** Вещественно-структурный анализ пересекающихся геологических разрезов угленосной территории западной части Восточного Донбасса известными литолого-структурными методами, сопоставление выявленного Z-объекта с аналогичными структурами других угольных регионов и гипотез о формировании Z-расщеплений. **Результаты работы.** Обнаружено и исследовано первое в Восточном Донбассе Z-образное расщепление угольной залежи. Залежь k2n каменской свиты C25 каменноугольной системы у г. Красный Сулин асимметрична в разрезе и плане. Высота Z-объекта составляет первые десятки метров, площадь – многие десятки км², протяженность с севера на юг превышает 20 км. Объект имеет угольные основание и свод в плане, сопряжение их угольным соединением. Z-образность объекта проявляется в субмеридиональных сечениях. Уникальны односторонняя – с запада – замкнутость соединения, наличие угольных пачек-перемычек, неразвившихся до соединения. Выявлена этапность формирования объекта. На конкретном примере определены условия развития Z-объектов: попеременное фронтальное поступление крупных сбалансированных порций в основном растительного или растительно-минерального материала на смежные участки территории с разных сторон с частичным заходом языка минеральных осадков на покрытый углематеринской массой один из них. Нарушение условий приводит к отклонению облика структуры от типовой либо прекращению ее образования. Механизм поступления материала – разливы рукавов палеодельты. Односторонняя замкнутость соединения в плане вызвана поступлением локальных потоков минерального материала. Ниша седиментации создана процессами тектонического относительного опускания смежных участков территории. Исследованная структура возникла в условиях сочетания тектонических и седиментационных предпосылок, главный вклад в ее формирование принадлежит деятельности палеорусел. В этой связи структура отнесена к аккумулятивному типу. Приведены примеры других Z-объектов. Z-структуры развиты на различных масштабных уровнях. Результаты исследований имеют значение для различных регионов угленакопления и решения общих вопросов седиментации.

Ключевые слова: угольная залежь, Z-образное расщепление, угленакопление, сингенетические палеореки, Восточный Донбасс.

Благодарности: Работа выполнена в рамках реализации Государственного задания ЮНЦ РАН, № Г.р. АААА-А19-119011190181-1.

Для цитирования: Мохов А.В. О происхождении и морфологии Z-образных расщеплений угольных залежей (на примере Восточного Донбасса). Геология и геофизика Юга России. 2021. 11(4): 121-134. DOI: [10.46698/VNC.2021.31.82.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.31.82.010).

GEOLOGY, PROSPECTING AND EXPLORATION
OF SOLID MINERALS, MINERAGENCY

DOI: [10.46698/VNC.2021.31.82.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.31.82.010)

Original paper

On the origin and morphology of Z-shaped
splitting of coal deposits (on the example
of Eastern Donbass)A.V. Mokhov 

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

Received: 22.07.2021, revised: 20.11.2021, accepted: 27.11.2021

Abstract: The article is dedicated to the identification of the morphology and origin of unique coal-bearing structures common in many coal regions of the world – Z-shaped splitting of coal deposits, first discovered by the author in the Eastern Donbass. **The relevance of the work** is determined by the need to develop the scientific foundations of coal accumulation to determine the industrial value and mineragenic prospects of the territories. **Aim.** Improvement of the theory of coal accumulation and primary structure formation in sedimentary formations in general. **Methods.** Material-structural analysis of intersecting geological sections of the coal-bearing territory of the western part of the Eastern Donbass using well-known lithological-structural methods, comparison of the identified Z-object with similar structures of other coal regions and hypotheses about the formation of Z-splits. **Results.** The first Z-shaped splitting of a coal deposit in the Eastern Donbas was discovered and investigated. The k_{2n} deposit of the Kamenskaya suite C25 of the Carboniferous system near the town of Krasny Sulin is asymmetric in section and plan. The height of the Z-object is the first tens of meters, the area is many tens of km², and the length from north to south is 20 km wide. The object has a coal base and a vault in plan, their conjugation with a carbon connection. The Z-shape of the object appears in submeridional sections. Unique is the one-sided – from the west – closed connection, the presence of coal bundles-bridges that did not develop before the connection. The stages in the formation of the object are revealed. On a specific example of the conditions for the development of Z-objects: the transverse frontal supply of large balanced portions of mainly plant or plant-mineral material in different parts of the territory from different mineral sediments with a partial entry of the tongue onto one of them covered with a source coal mass. Violation of the conditions leads to a deviation of the structure from the typical one or to the termination of its formation. The mechanism of material receipt is the spill of the paleodelta arms. One-sided closedness of the connection is in terms of providing local flows of mineral material. The sedimentation niche was created by the processes of tectonic relative subsidence of additional areas of the territory. The investigated structure arose under the conditions of a combination of tectonic and sedimentation prerequisites; the main contribution to its formation was the activity of the paleochannels. In this regard, the structure is classified as an accumulative type. Examples of other Z – objects are given. Z-structures are developed at various levels. Research results are of significance for different regions of coal accumulation and solution of general sedimentation issues.

Key words: coal deposit, Z-shaped splitting, coal accumulation, syngenetic paleo-rivers, Eastern Donbass.

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.

For citation: Mokhov A.V. On the origin and morphology of Z-shaped splitting of coal deposits (on the example of Eastern Donbass). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4):121-134. DOI: [10.46698/VNC.2021.31.82.010](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.31.82.010).

Введение

Структура угольных залежей во многом определяет их промышленную ценность и минерагенические перспективы территории, и в этой связи представляет собой объект специальных геологических исследований. Значение геоструктурных предпосылок обнаружения источников минерального сырья непрерывно нарастает в связи с практически предельной изученностью их проявлений на поверхности и актуальностью по этой причине прогноза и поисков глубокозалегающих объектов [Матишов и др., 2011]. Перспективность такого подхода подтверждается результатами различных исследований, например, выполненных на территории Донецкого авлакогена [Davydenko, 2008; Голик и др., 2020; Давыденко, Парада, 2021].

Угольные залежи обычно включают согласно и несогласно залегающие породные безугольные (далее – минеральные) тела. К числу распространенных особенностей залежей принадлежит их расщепление, часто именуемое также расхождением – площадное отдаление одной или нескольких угольных пачек от основного скопления угля. Разделяющие минеральные тела имеют в разрезе таких геоструктур форму клина.

Образование подобных структур является предметом дискуссий и представляет интерес для теории седиментогенеза, с характерным для нее обилием неясных моментов [Фролов, 1993; Шарданова и др., 2017, 2019].

Формирование расщеплений объясняют действием тектонических, гидрологических и иных палеофакторов. Так, известная генетическая классификация расщеплений Западного Донбасса [Сергеев, 1976] различает аккумулятивно-эпейрогенический (формируется в условиях постепенного опускания борта бассейна), тектонический (возникает на участках активных конседиментационных тектонических движений) и аккумулятивный (с определяющим действием сингенетических палеорек) типы структур. По мнению одних исследователей расщепление залежей служит признаком их аллохтонии. Другие связывают появление такого структурного образования, напротив, с автохтонным накоплением [Иванов, 1967].

Известны морфологически различные типы расщеплений, в частности, зетобразное, называемое также зетобразным и Z-образным, открытое Г.А. Ивановым в Остраво-Карвинском бассейне Чехии. Этот исследователь назвал его двухсторонним и результатом колебательных движений при автохтонном способе угленакопления [Иванов, 1967]. Подобные расщепления обнаружены также в других регионах мира.

Эти экзотические объекты сложены угольными и расщепляющими их в противоположные стороны минеральными телами. Z-образность проявляется в вертикальном разрезе и придается соединением угольных по составу кровли-свода и основания объекта наклонной угольной пачкой между расщепляющими телами, нижнее из которых частично перекрыто в пластовой проекции верхним. Эти структурные особенности определяют взбросоподобный облик объекта. Такие структуры трактуются [Иванов, 1967; Митронов, 1995; Шульга и др., 1996а, б] как результат расхождения и схождения (слияния) самостоятельных угольных пластов. Параметры структур ряда регионов приведены в [Кирюков В.В., Пожидаева М.Ф., 1980; Bezruchko K.A., Matrofajlo, 2015].

Происхождение Z-расщеплений в Остраво-Карвинском и Кузнецком бассейнах связывается с тектоническими факторами – смещением волновых прогибов территории то в одну, то в другую сторону от некоторой линии на участке торфообразования, которая разграничивает фациальные обстановки и становится линией расщепления. Погружение части территории под уровень бассейна сменялось вы-

водом ее на поверхность, соответственно, с прекращением и возобновлением торфонакопления. Образование структур произошло в прибрежно-морской обстановке [Иванов, 1967]. Согласно [Шульга и др., 1996а, б, 1997; Matrofailo, 2000; Шульга, Матрофайло, 2008; Shulga et al., 2005, 2010а, б; Bezruchko, Matrofajlo, 2015], их генезис на Любельском месторождении Львовско-Волынского бассейна обусловлен конседиментационными дифференцированными тектоническими опусканиями и поднятиями участков торфяников по сходной с предложенной Г.А. Ивановым схеме.

На Эльгинском месторождении в Южной Якутии решающее участие в их формировании отведено вулканической деятельности, обеспечивающей встречные потоки пирокластического материала. Расщепления находятся между двумя центрами такой деятельности с асинхронным режимом извержения, удаленных не далее 20 км от центра месторождения. Ниша для накопления осадков формировалась здесь в результате дифференцированных тектонических движений, а также опускания поверхности в местах возникшего дефицита масс из-за утечки вещества недр по вулканическим каналам. Угленакопление имело автохтонный характер и происходило в условиях практически постоянной недокомпенсации опускания [Митронов, 1994, 1995].

В Западном Донбассе Э.Н. Брозиной обнаружены Z-образные структуры угольных пластов. Здесь региональные расщепления всех типов образовались под влиянием тектонических движений, определивших режим осадконакопления, локальные – в результате усложнения палеогеографической обстановки [Кирюков, 1980].

Эти представления при всем их разнообразии и несхожести в деталях имеют ряд общих моментов, прежде всего, автохтонность угленакопления и высокую активность тектонических условий бассейна.

Вместе с тем сохраняются затруднения с согласованием аспектов механизма образования Z-расщеплений, что побуждает ряд исследователей отрицать существование этих экзотических геоструктур или предлагать альтернативные сценарии их генерации. На проблемность расшифровки механизма образования расщеплений всех типов указывает В.Т. Фролов [Фролов, 1993]. Таким образом, можно сделать вывод о сохраняющейся неясности вопроса. Выявление новых, изучение и сопоставление Z-расщеплений способствовало бы более глубокому пониманию угленакопления и первичного структурообразования в осадочных формациях в целом.

Первые находки Z-расщеплений в Восточном Донбассе сделаны нами при изучении геологических разрезов угленосных толщ среднекаменноугольного возраста. Темой публикации служит выявление происхождения и детализация морфологии крупного Z-расщепления угольной залежи k_{2n} каменской свиты C₂₅ башкирского яруса каменноугольной системы у г. Красный Сулин (Сулино-Садкинская синклиналь).

Материалы и методы исследования

Использованы материалы разведочных буровых работ на уголь из производственных отчетов ПГО (ГГП) «Южгеология» (до 1983 г.) в виде палинспастических разрезов, построенных К.Б. Носовой с сотрудниками в 1983 г. Применен стандартный комплекс методов вещественно-структурного анализа угленосного массива, развитый с учетом уникальных свойств и генезиса исследуемых объектов.

Результаты исследований и их обсуждение

Исследование крупного Z-расщепления угольной залежи k_{2n} осуществлено путем вещественно-структурного анализа угленосного массива. Вертикальные геологические разрезы объекта с частично снятыми путем палинспастических постро-

ений тектоническими деформациями представлены на рисунке 1 (по К.Б. Носовой и др., 1983 г. с изменениями и дополнениями автора). Размещение профилей угле-разведочных скважин показано на рисунке 2.

Угольная часть объекта образована двумя пластами: нижним k_{2n-1} и верхним k_{2n-2} , связанными угольной пачкой-соединением. После его сопряжения с пластом k_{2n-2} слившийся пласт получил наименование k_{2n} .

Изучение геологических разрезов на двух субперпендикулярных профилях скважин показывает клиновидный облик расщепляющих тел, которые простираются на многие километры от точки пересечения профилей – скважины №6050, находящейся у центра Z-структуры. Линия расщепления имеет северо-западное простирание. Объект асимметричен, имеет различные размеры, состав образующих тел в разрезе и плане. Его высота составляет первые десятки метров, протяженность с севера на юг превышает 20 км. Площадь расщепления, условно совпадающая с участком соединения, достигает десятки км². Мощность общего угольного основания (пласт k_{2n-1}) составляет около 0,6 м, покрова (пласт k_{2n-2}) – 0,65 м, соединения пластов – 0,09 м (рис. 1). Тела сложены типичными для бассейна глинистыми и песчаными породами с обугленным растительным детритом – нормальными водно-осадочными образованиями.

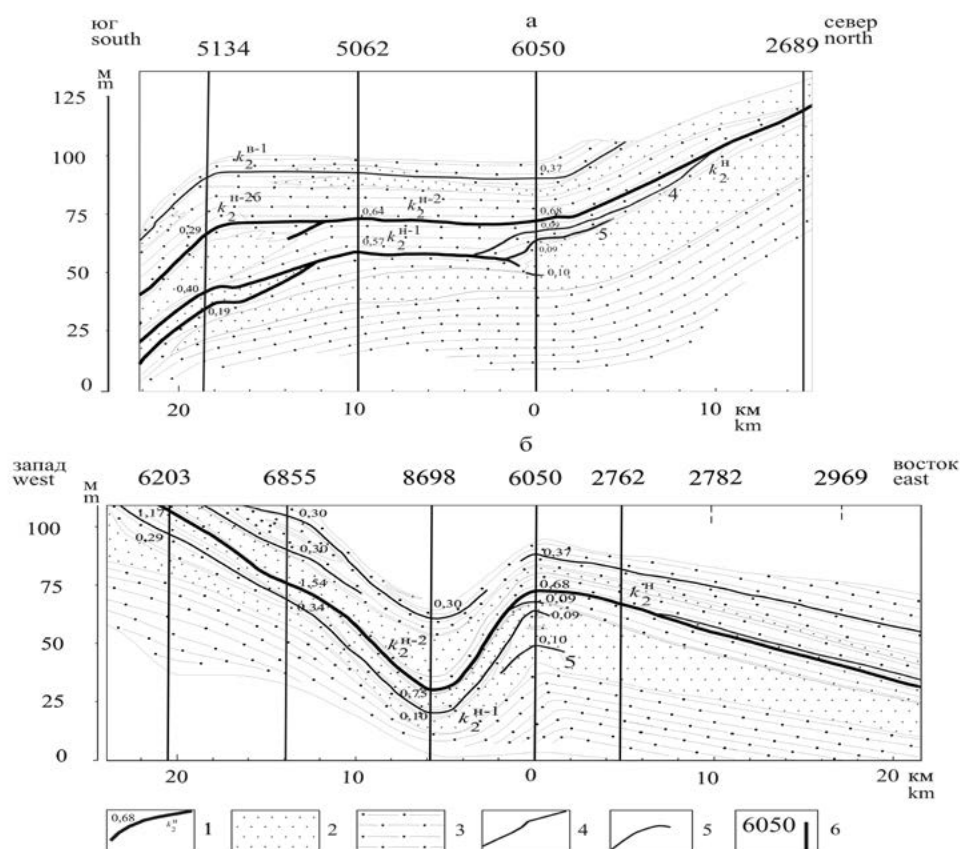


Рис. 1. Геологические разрезы угольной залежи k_{2n} по субмеридиональному (а) и субширотному (б) профилям (по материалам К.Б. Носовой и др., 1983):

1 – угольная залежь, ее геологический индекс и мощность угольных пачек, м; 2 – песчаники; 3 – алевролиты и аргиллиты; 4 – соединение; 5 – перемычка; 6 – буровая скважина, ее номер /
 Fig. 1. Geological sections of the k_{2n} coal deposit along the submeridional (a) and sublatitudinal (b) profiles (based on the materials of K.B. Nosova et al., 1983):
 1 – coal deposit, its geological index and thickness of coal packs, m; 2 – sandstones; 3 – siltstones and mudstones; 4 – connection; 5 – junction; 6 – borehole, its number

Можно выделить условно «висячую» (ВЧ) и «лежачую» (ЛЧ) смежные части объекта над и под соединением, соответственно. Соединение как продолжение верха угольного основания ВЧ является на ЛЧ нижней частью угольного перекрытия объекта. Минеральные тела ВЧ и ЛЧ расщепляют залежь в направлении на северо-восток и юго-запад соответственно. По мере приближения к соединению в плане их мощность убывает. Места выклинивания минеральных тел представляют собой в традиционном понимании линии расщепления/отщепления пластов.

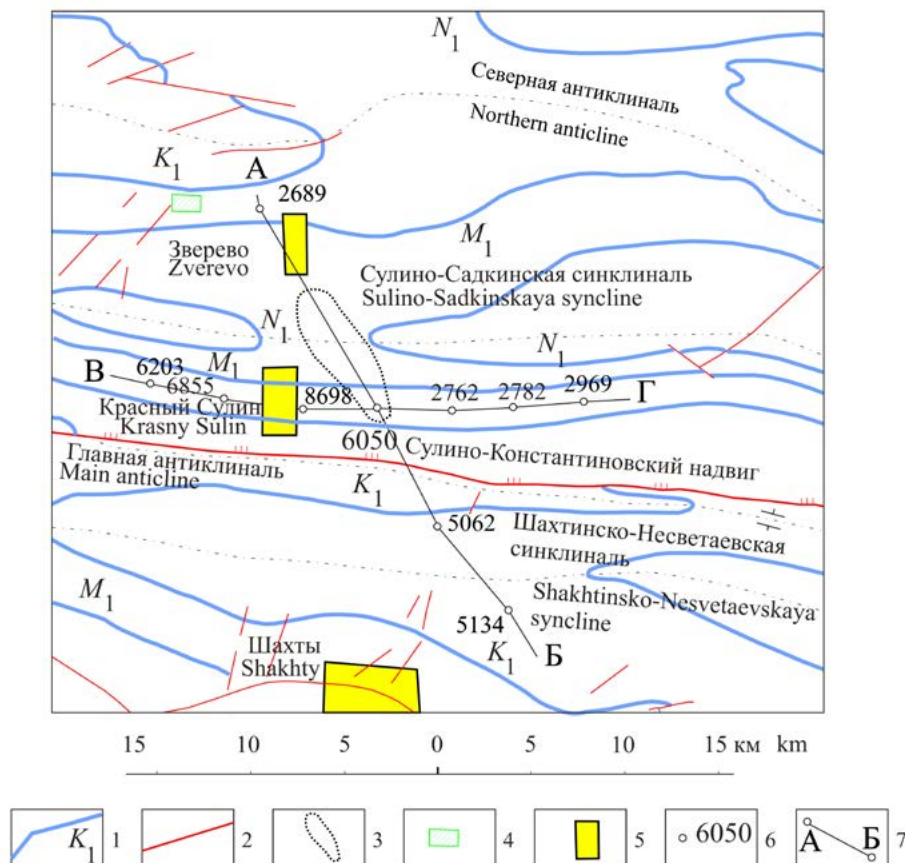


Рис. 2. Геолого-структурная карта каменноугольных отложений в западной части Восточного Донбасса (Геологическая основа ПГО «Южгеология», 1990).

1 – выход слоя известняка на поверхность и его геологический индекс; 2 – крупное разрывное нарушение; 3 – участок размещения исследуемого Z-объекта; 4 – микро-Z-объект на угольной шахте; 5 – населенный пункт; 6 – разведочная скважина; 7 – линия геологического разреза /

Fig. 2. Geological and structural map of Carboniferous deposits in the western part of the Eastern Donbas (Geological basis of PGO “Yuzhgeologiya”, 1990):

1 – outcropping of the limestone layer to the surface and its geological index; 2 – major fault; 3 – site for the location of the studied Z-object; 4 – micro-Z-object in a coal mine; 5 – settlement; 6 – exploration well and its number; 7 – geological section line

На субмеридиональном разрезе соединение отходит вверх от пласта k2н-1 под небольшим углом. Геометрические построения показывают криволинейность конфигурации линий отхода соединения от пласта k2н-1 и примыкания его к пласту k2н-2. Внутри ЛЧ имеется угольная перемычка между минеральными телами, не достигающая общего угольного покрытия – пласта k2н-2. В субширотном сечении присутствуют две перемычки, одна из которых известна и на субмеридиональном разрезе, а другая проявляется в виде соединения. Здесь соединение и перемычка

незамкнуты полностью в плане – не смыкаются с пластом k2н-2 на востоке (рис. 1б). Эти данные показывают, что Z-образность объекта проявляется только в субмеридиональных сечениях.

На ЛЧ доминируют песчаники, ВЧ – породы глинистого состава. Угольное основание ЛЧ короткое и тонкое, имеется крупное скопление песчаников в почве нижнего пласта k2н-1 на контакте с ним (рис. 1). В основании ВЧ залегают пачки пород глинистого состава, которые подстилаются толщей песчаников – продолжение этой толщи под ЛЧ. На восточном фланге соединения и перемычки песчаное по составу минеральное тело ЛЧ продолжается на ВЧ.

На субмеридиональном разрезе в направлении полного оформления структуры градиент нарастания мощности расщепляющего тела на ВЧ к югу от скважины №6050 составляет менее 0,7 м/км, к северу на ЛЧ – около 4,2 м/км. В широтном направлении мощность толщи к западу довольно стабильна, к востоку – быстро нарастает.

Несомненны следующие возрастные соотношения элементов объекта: соединение и перемычки старше породных тел над ними и моложе перекрытых тел, включая низы угольного основания. Они распространились на поверхности свежего минерального осадка – будущего расщепляющего тела, имеют падение в сторону ВЧ, содержащей в значительной части более молодые, чем ЛЧ минеральные тела. Перемычка может считаться неразвившимся соединением и хронологически сформировалась раньше него.

Таким образом, морфологическая специфичность исследуемой структуры создана осадочными процессами.

Отметим, что, по мнению ведущих исследователей, угленосная толща Донбасса имеет дельтовую природу [Наливкин, 1956; Ягубянец, 1978]. Ввиду наличия в ней довольно тонких известняков с фауной нормально соленого моря можно сделать вывод о периодическом прерывании дельтовой обстановки появлением на короткое время морского водоема.

Имеются признаки нескольких крупных актов генерации исследуемой структуры, совершавшихся, как можно судить по совпадению мощности перемычек и соединения через сопоставимые и короткие промежутки времени.

Выявляется следующая хронология событий на фоне непрерывного накопления на участке растительного материала в условиях общего опускания территории.

Образование угольного основания объекта получило старт после сокращения поступления песков. Отложение крупных минеральных масс прекратило угленакопление на площади будущей ЛЧ. Последующее снижение поступления этих масс вновь создало условия здесь для угленакопления, возможности заложения соединения и его фациального продолжения – низов угольного пласта k2н на ЛЧ. Затем в условиях продолжения накопления растительного вещества на ЛЧ, на другой части будущего объекта (то есть, будущей ВЧ) оно прерывается крупным поступлением минерального материала, что приводит к погребению здесь углеобразующей массы. После резкого сокращения притока на ВЧ минерального материала угленакопление возобновляется на всем участке с формированием угольного покрытия структуры.

Указанные события отражают существование разновременных автономных фронтальных потоков минерального материала с разных сторон к линии будущего расщепления. Анализ формы объекта показывает, что распространение образующих залежь осадков произошло в целом на больших площадях в короткое время.

Разрыв формирования ВЧ и ЛЧ во времени невелик и указывает на высокую интенсивность и кратковременность поступления крупных объемов минерального вещества. Имеются следы слабых потоков материала, которые проявились особенно сильно в низах структуры в распространении на обособленных участках залежи k_{2n-1} , в линзовидности крупных глинистых тел, сужении и прекращении образования перемычки, сужении соединения, отразив локальные вариации обстановки седиментации.

Морфологическая близость восточной и северной частей объекта структурам «конского хвоста» (рис. 1) отражает рождение их в обстановке поочередного преобладания накопления углеобразующих и минеральных масс в импульсном режиме. Из рисунка 1а следует, что ЛЧ объекта сформировалась в два главных приема с малым временным разрывом между поступлениями крупных порций минерального материала с севера и северо-востока. Первая из них имела повышенный объем, разубоживала растительную массу и, прекратив, таким образом, угленакопление, не позволила перемычке превратиться в соединение. К югу от ВЧ (рис. 1а) также сложилась позже этапность седиментации, о чем свидетельствуют следы прерывания накопления пласта k_{2n-2} вторжением песчаной массы, на которой затем стал формироваться пласт $k_{2n-2б}$.

Сопряженность геологических тел на объекте и направленность основных потоков минерального материала иллюстрирует рисунок 3. Ориентировочное расположение Z-структуры в плане (с учетом падения угленосной толщи) показано на рисунке 2.

На средней стадии пески поступали на участок широким фронтом с севера и северо-востока. С юга происходило проникновение преимущественно глинистого материала. Периодически осуществлялась доставка песков также в виде отдельных субмеридиональных струй в основном в левых квадрантах (у стыка I-ого и IV-ого квадрантов) относительно скважины № 6050 (на ранней стадии формирования пласта k_{2n-1}) и с востока от скважины в I-ом квадранте (на зрелой стадии). Аналогичная струя субширотного направления действовала несколько южнее скважины на той же стадии, что привело к появлению бреши в распространении пласта (рис. 1). При этом происходило местное подавление угленакопления вдоль трасс движения повышенных объемов минеральных веществ, что прекратило превращение зачатка одной из перемычек в соединение и развитию второй из них – более поздней – до соединения в субмеридиональном разрезе. Это соединение имеет одностороннее – на западе – смыкание с пластом k_{2n-2} и отсутствие смыкания с противоположной стороны – уникальную, неизвестную ранее форму. Зона смыкания расширяется по мере развития процесса накопления углеобразующей массы (рис. 3).

Исследуемый объект был сформирован несколькими разновременными потоками материала, сходящимися на площади будущего соединения, контуры которых не совпадают, что предопределяет различную по рисунку виргацию линий расщепления.

Языковой характер поступления разновременных потоков материала по разным – не обязательно строго встречным – направлениям объясняет вариации простираения соединения и перемычек, включая криволинейность линии их отхода от пласта k_{2n-1} и примыкания соединения к пласту k_{2n-2} .

Узкие субмеридиональные потоки обломочного материала появлялись и после завершения формирования пласта k_{2n-2} до прихода морского водоема, что видно

по присутствию локальных тел песчаников и отсутствию известняков на вышележащих интервалах массива между скважинами №6855 и №6050 (рис. 16).

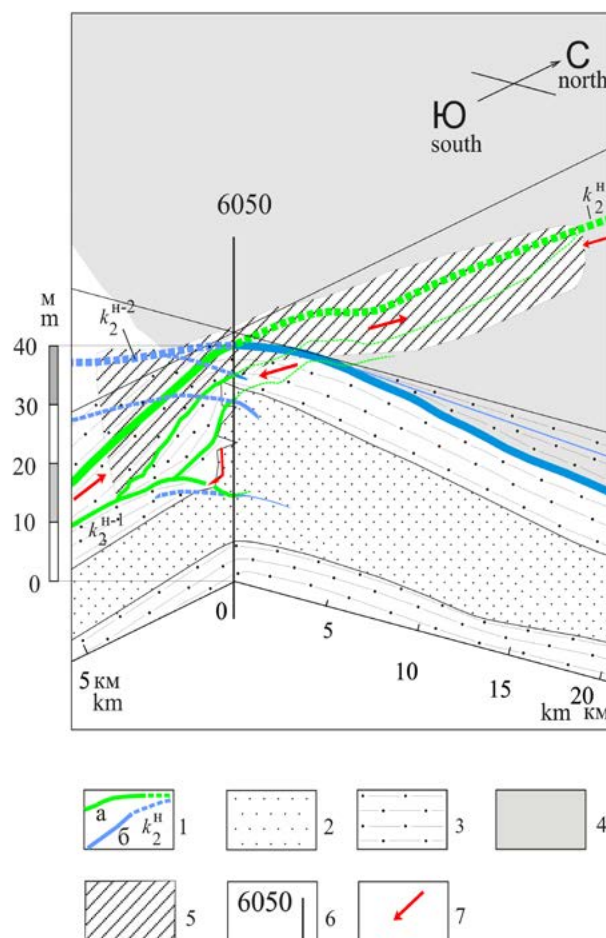


Рис. 3. Объемная структура Z-расщепления угольной залежи k_{2n} в окрестностях скважины №6050 (по материалам К.Б. Носовой и др., 1983)

1 – следы угольных частей залежи в видимых и невидимых сечениях (а – субмеридиональном, б – субширотном) и их геологические индексы; 2 – песчаники; 3 – глинистые породы (преимущественно алевролиты); 4 – поверхность кровли залежи; 5 – вероятная поверхность кровли угольного соединения; 6 – буровая скважина и ее номер; 7 – основные потоки терригенного материала /

Fig. 3. The 3-D structure of Z-splitting of the k_{2n} coal deposit in the vicinity of well No. 6050 (based on materials by K.B. Nosova et al., 1983)

1 – traces of coal parts of the deposit in visible and invisible sections (a – submeridional, b – sublatitudinal) and their geological indices; 2 – sandstones; 3 – clayey rocks, mainly silts tones; 4 – the surface of the top of the deposit; 5 – probable surface of the roof of the coal joint; 6 – borehole and its number; 7 – main flows of terrigenous material

Условием формирования Z-объектов является попеременное осаждение крупных порций в основном растительных или минеральных веществ по разные стороны от будущего соединения сначала на участке будущей ЛЧ, затем – ВЧ, с заходом языка осадков с ВЧ на часть площади формирующейся ЛЧ. Объемы поступления минеральных и растительных веществ должны находиться в соотношениях, обеспечивающих формирование геологических тел соответствующего состава.

Отклонение от этой схемы приводит к видоизменению структуры по сравнению с типовой формой (варьированию первичного угла наклона соединения и пере-

мычек к горизонтали, количества перемычек и проч.), в сильно выраженном случае – прекращению ее образования, появлению одностороннего расщепления, объектов типа «конский хвост», схождению угольных тел и проч. При отсутствии кулисовидного перекрытия участков седиментации на ЛЧ эта часть структуры не оформляется, минеральные тела проявляются как выдержанные или прерывистые слои пород различной морфологии и распространения между угольными телами.

Анализ разрезов (рис. 1) показывает, что исследуемый объект размещается между субширотными полосами руслового аллювия сингенетичных формирования угленосной толщи палеорек. Породный, преимущественно, песчаный по составу, массив в основании геоструктуры (и ее ЛЧ) сложен пойменным аллювием, непосредственно продолжающем на расстояние нескольких десятков километров русловые отложения – раздувы массива песчаников расположенного к северу и северо-востоку от скважины №6050 извилистого рукава дельты. С удалением от него происходит выклинивание расщепляющего тела. Генезис объекта можно вполне определенно связать с деятельностью крупной реки (рек).

Как можно судить по характеру отложений, главными источниками поступления крупных обломочных масс в оптимальных для образования структуры объемах и временной последовательности явились находившиеся к северу, северо-востоку и югу крупные речные рукава. Ближайший активный палеорукав, сформировавший ЛЧ, располагался к северу и северо-востоку не далее 10 км от скважины №6050 и около 14 км от линии отхода соединения на разрезе от пласта k2н-1 соответственно. Малоактивный рукав, проявляющийся в виде обнаруженного узкой полосы-раздува песчаника и непосредственно прилегающий с юга к этой линии – в 14 км от скважины, – производил доставку небольшого объема песчаного материала, что не оказало существенного влияния на формирование ВЧ. Распределение фаций в южной части субмеридионального разреза (рис. 1а), указывает на присутствие здесь другого более удаленного неразведанного крупного рукава далее к югу. Данное палеоруло явилось, по-видимому, источником преимущественно глинистого материала для ВЧ. С северо-запада и юго-востока приблизительно вдоль основного простирания линий расщепления удаленность разведанных рукавов намного больше, что затрудняет значительные поступления крупнообломочного минерального вещества отсюда.

Общий облик исследуемого объекта показывает, что формирование структуры развилось там, где существовали стабильные ниши для накопления материала. Мощные разливы речных вод являлись, по мнению И.П. Попова (1991), важным способом доставки илистого материала на площадь угленакопления в регионе.

Как следует из приведенных выше сведений и результатов их анализа, приоритет в накоплении основного объема углематеринской массы принадлежит аллохтонной седиментации. Имея вполне автохтонное зарождение, на что указывает присутствие кучерявчика в почве, пласт k2н-1 формировался в дальнейшем аллохтонным путем.

Рассматриваемый объект образовался в результате суперпозиции тектонических и осадочных процессов. Роль тектонического фактора несомненна и необходима для создания общих условий (емкости ниши, интенсивной денудации и т.п.) седиментации на большой площади и образования многих надпородных структур. Амплитуда опускания дна ЛЧ, приблизительно оцененная по мощности литифицированного осадка, составила не менее 20 м, ВЧ – 10 м. С учетом реального фоново-

го действия фактора тектоники он является по нашему мнению (и в соответствии с классификацией [Сергеев, 1976]) в большей мере аккумулятивным образованием.

Исследуемый объект морфологически подобен Z-образным частям малого угленородного тела (рис. 4 по [Mokhov, 2019] с изменениями) пласта k2 одной из шахт к северу от скважины №6050 (рис. 2). Здесь имеются также односторонние расщепления, схождения, бифуркации, линзовидность малых угольных тел, породные прослои, что отражает универсальность механизма седиментации на сравниваемых масштабных уровнях. Происхождение этой малой структуры и определивших ее Z-образность частей имеет аккумулятивную природу и связано с пульсирующей деятельностью малых элементов гидросети. Ясна также геологическая изохронность размывоподобной структуры и вмещающей ее угольной матрицы.

Развитие Z-структур в условиях тонких угольных пластов в миниатюре указывают на скоротечность формирования этих угленородных объектов. Реконструкция формирования структуры указывает на наличие площадного смещения участков угленакопления в течение коротких промежутков времени.

В структурах «конского хвоста» на контактах песчаных и глинистых тел (рис. 1) роль расщепляющих тел играют минеральные образования и угольные пласты. Расщепления породных компонентов толщи угольными телами как и расщепления последних минеральными служат продуктом деятельности палеорек, что указывает на близость генезиса обломочных и угольных элементов массива. Данный вопрос, восходящий к конвергенции теорий аллохтонного и автохтонного угленакопления, развивается рядом исследователей региона, например, [Троценко, 2017], (Попов, 1991).

На основе сложившихся представлений следует сделать заключение о наличии внутри Z-объекта в общей сложности двух крупных линий расщепления пласта k2н-1 и одной линии отщепления угольной пачки от пласта k2н-2.

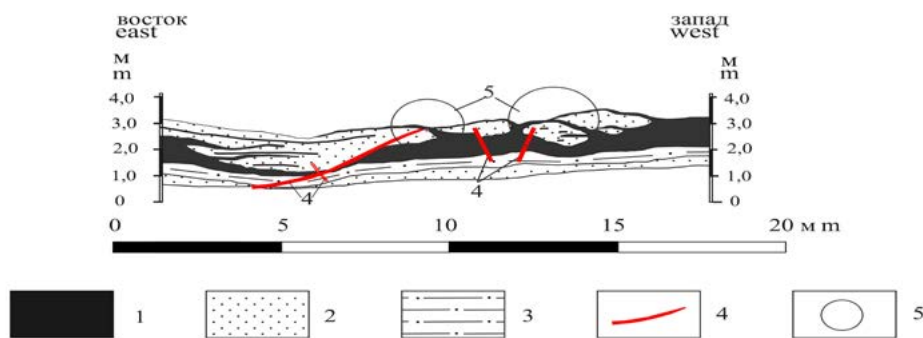


Рис. 4. Зарисовка угольного пласта k2 в стенке штрека (по [Mokhov, 2019] с изменениями и дополнениями)

1 – уголь; 2 – песчаник; 3 – алевролит; 4 – разрывное нарушение; 5 – Z-структура /
Fig. 4. Sketch of a coal seam k2 in the roadway wall (according to [Mokhov, 2019] with changes and additions)

1 – coal; 2 – sandstone; 3 – siltstone; 4 – fault; 5 – Z-structure

Заключение

Вещественно-структурный анализ указывает на образование геоструктур, именуемых «зет-образными (зетобразными, Z-образными) расщеплениями угольных пластов (залежей)», в результате асинхронных поступлений оптимальных объемов растительного и минерального материала с разных сторон.

Основной механизм доставки их материала – паводковые разливы рукавов дельты синхронной угленакоплению палеореки.

Условием формирования Z-объектов является попеременное фронтальное поступление крупных сбалансированных порций в основном растительного или минерального материала на смежные участки с разных сторон с частичным заходом языка минеральных осадков на покрытый углематеринской массой один из них. Отклонение от этой схемы, появление локальных струй материала приводит к видоизменению структуры по сравнению с типовой формой или прекращению ее образования, либо генерации других пространственных комбинаций угольных и минеральных тел.

Главный вклад в формирование исследованной геоструктуры принадлежит деятельности палеорусел, в связи с чем она отнесена автором к аккумулятивному типу.

Выводы статьи представляются общими для объектов рассмотренного типа различных регионов угленакопления.

Литература

1. Голик В.И., Бурдзиева О.Г., Дзеранов Б.В. Управление геомеханикой массива путем оптимизации технологии разработки. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №1. – С. 127–137. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59070
2. 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. – Т. 11. №1. – С. 22–37. DOI: 10.46698/VNC.2021.23.67.003
3. Иванов Г.А. Угленосные формации (закономерности строения, образования, изменения и генетическая классификация). – Л.: Наука, 1967. – 407 с.
4. Кирюков В.В., Пожидаева М.Ф. Расщепление угольных пластов в Западном Донбассе. // Межвуз. сб. науч. трудов «Геология, поиски и разведка горючих полезных ископаемых» – Пермь: Пермский политехнический ин-т, 1980. – С. 113–121.
5. Матишов Г.Г., Парада С.Г., Давыденко Д.Б. Технологии прогнозирования залежей углеводородов и минеральных месторождений будущей России (на примере южного региона). // Геология и геофизика Юга России. – 2011. – №1. – С. 20–31.
6. Митронов Д.В. Особенности строения мощных угольных пластов Эльгинского месторождения Южно-Якутского бассейна. // В Сборнике научных трудов «Угленосные отложения и угли Якутии». – Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. – С. 48–61.
7. Митронов Д.В. Формирование Z-образных расщеплений угольных пластов Эльгинского месторождения. // Межвуз. науч. темат. сборник «Геология угольных месторождений». Вып. 5. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горн. ун-та, 1995. – С. 132–135.
8. Наливкин Д.В. Учение о фациях. Т.1. – М.-Л.: Известия АН СССР, 1956. – 534 с.
9. Сергеев В.В. Расщепление угольных пластов как индикатор проявления конседиментационной тектоники. // Сов. геол. – 1976. – №8. – С. 138–141.
10. Троценко В.В. Терригенный компаунд как макрофагия среднекарбонового осадконакопления в Восточном Донбассе. // Наука Юга России. – 2017. – Т. 13. №2. – С. 41–49.
11. Фролов В.Т. Литология. Кн. 2: Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 432 с.
12. Шарданова Т.А., Фадеев Н.П., Хомяк А.Н., Косоруков В.Л. Особенности строения и формирования высокоуглеродистых комплексов. // Отечественная геология. – 2017. – №3. – С. 74 – 84.
13. Шарданова Т.А., Хомяк А.Н., Хао Юэсян. Литолого-фациальный анализ высокоуглеродистых комплексов. // В сб. научных материалов: Экзолит-2019. Фациальный анализ в литологии: теория и практика, Москва, 27-28 мая 2019 г. – М.: МАКС Пресс, 2019. – С. 157–159.

14. Шульга В.Ф., Матрофайло М.Н. Об атектонических расщеплениях пластов угля во Львовско-Волынском угольном бассейне. // Доклады НАН Украины. – 2008. – №5. – С. 131–136.
15. Шульга В.Ф., Лелик Б.И., Брынюк А.Н., Гирный Е.И. Морфология и генезис зетообразных расщеплений угольных пластов в карбоне Львовско-Волынского бассейна. // Межвуз. науч. темат. сборник «Геология угольных месторождений». Вып. 6. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. горн. ун-та, 1996а. – С. 123–132.
16. Шульга В.Ф., Храпкин С.Г., Гирный Е.О. и др. Проявление конседиментационных тектонических движений в Львовско-Волынском угольном бассейне. // Доклады НАН Украины. – 1996б. – №1. – С. 68–72.
17. Шульга В.Ф., Лелик Б.И., Гирный Е.О. и др. Открытие зетообразных расщеплений угольных пластов в угленосной формации Львовско-Волынского бассейна. // Геологический журнал. – 1997. – №3-4. – С. 102–107.
18. Ягубянец Т.А. О связи древнего торфонакопления с цикличностью осадконакопления в Донбассе. // Сов. геол. – 1978. – Т. 1. №10. – С. 83-84.
19. Bezruchko K.A., Matrofajlo M.N. Typification and areal distribution of splittings in coal seams of the Lviv-Volyn basin. // Naukovyi Visnyk NHU. – 2015. – No.4. – pp. 5–12. ISSN 2071-2227.
20. Davydenko D.B. Analytical Model of the Dynamics of Paleoshelf Morphostructures as an Element of Sedimentological Analysis of Petroleum-Promising Associations. // Reports Earth Sciences. – 2008. – Vol. 422. P. 1. – pp. 1021–1024.
21. Matrofajlo, M.M. Typification of splittings of coal seams of the Lviv-Volyn Basin. // Heologia i Heokhimiia Horiuchykh Kopalyn. – 2000. – No.2. – pp. 99-103.
22. Mokhov A.V. Morphology and Genesis of Washout-Like Structures in a Coal Seam (Eastern Donbass). // Reports Earth Sciences. – 2019. – Vol. 487. P. 1. – pp. 769-772. DOI: 10.1134/S1028334X19070249.
23. Shulga V., Matrofajlo M., Kostik J. et al. The Relation of splittings with tectonics in the coal seams of the Lvov-Volhynian coal Basin. // Mater. XXVIII Symposium “Geologia formacji weglonosnych Polski”. – Krakow. – 2005. – pp. 103-108.
24. Shulga V., Kostyk J., Matrofajlo M. et al. Formation conditions of coal seams of the lower coal-bearing subformation of the Lvov-Volyn Basin. // Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. Heft 68. – 2010. – pp. 516-517.
25. Shulga V., Konovalova V., Nikolaeva S. The Serpukhovian-Bashkirian Boundary in the Lvov-Volyn Basin. // Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. Heft 68. – 2010. – pp. 517-518.

References

1. Golik V.I., Burdzieva O.G., Dzeranov B.V. Management of massif geomechanics through optimization of development technologies. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. No.10 (1). pp. 127-137. DOI: 10.23671/VNC.2020.1.59070 (In Russ.)
2. Davydenko D.B., Parada S.G. The experience of dividing the potential fields of Donbass into background, residual and local components and some results of interpretation. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. No.11 (1). pp. 22-37. DOI: 10.46698/VNC.2021.23.67.003 (In Russ.)
3. Ivanov G.A. Coal-bearing formations (patterns of structure, formation, changes and genetic classification). Leningrad. Nauka, 1967. 407 p. (In Russ.)
4. Kiryukov V.V., Pozhidaeva M.F. Splitting of coal seams in the Western Donbass. In: *Proceedings Geology, prospecting and exploration of combustible minerals*. Perm. Perm Polytechnic Institute, 1980. pp. 113-121. (In Russ.)
5. Matishov G.G., Parada S.G., Davydenko D.B. Technologies for forecasting hydrocarbon deposits and mineral deposits of the future Russia (on the example of the southern region). *Geology and Geophysics of Russian South*. 2011. No.1. pp. 20-31. (In Russ.)

6. Mitronov D.V. Features of the structure of thick coal seams of the Elga deposit in the South Yakutsk basin. In: *Proceedings Coal deposits and coals of Yakutia*. Yakutsk. YANTS SO RAN, 1994. pp. 48-61. (In Russ.)
7. Mitronov D.V. Formation of Z-shaped splitting of coal seams of the Elga deposit. In: *Proceedings Geology of coal deposits*. Issue 5. Yekaterinburg. Ural State Mining University, 1995. pp. 132-135. (In Russ.)
8. Nalivkin D.V. Facies doctrine. Vol. 1. Moscow-Leningrad. *Izvestia of the Academy of Sciences of the USSR*, 1956. 534 p. (In Russ.)
9. Sergeev V.V. Splitting of coal seams as an indicator of manifestation of consedimentation tectonics. *Sov. geol.* 1976. No.8. pp. 138-141. (In Russ.)
10. Troshchenko V.V. Terrigenous compound as a macrofaciation of Middle Carboniferous sedimentation in the Eastern Donbass. *Science of Russian South*. 2017. Vol. 13. No.2. pp. 41-49. (In Russ.)
11. Frolov V.T. *Lithology*. Book. 2. Textbook. Moscow. MSU, 1993. 432 p. (In Russ.)
12. Shardanova T.A., Fadeev N.P., Khomyak A.N., Kosorukov V.L. Features of the structure and formation of high-carbon complexes. *Otechestvennaya geologiya*. 2017. No.3. pp. 74-84. (In Russ.)
13. Shardanova T.A., Khomyak A.N., Hao Yuexiang. Lithological-facies analysis of high-carbon complexes. In: *Proceedings Exolite-2019. Facial analysis in lithology: theory and practice*, Moscow, May 27-28, 2019. Moscow. MAKS Press, 2019. pp. 157-159. (In Russ.)
14. Shulga V.F., Matrofailo M.N. On atectonic splitting of coal seams in the Lvov-Volyn coal basin. *Dopovidi NAS of Ukraine*. 2008. No.5. pp. 131-136. (In Russ.)
15. Shulga V.F., Lelik B.I., Brynyuk A.N., Girny E.I. Morphology and genesis of z-shaped splittings of coal seams in the Carboniferous of the Lvov-Volyn basin. In: *Proceedings Geology of coal deposits*. Issue 6. Yekaterinburg. Ural State Mining University, 1996a. pp. 123-132. (In Russ.)
16. Shulga V.F., Khrapkin S.G., Girny E.O., et al. Manifestation of consedimentary tectonic movements in the Lvov-Volyn coal basin. *Dopovidi NAS of Ukraine*. 1996b. No.1. pp. 68-72. (In Russ.)
17. Shulga V.F., Lelik B.I., Girny E.O. et al. Discovery of z-shaped splitting of coal seams in the coal-bearing formation of the Lvov-Volyn basin. *Geol. journal*. 1997. No.3-4. pp. 102-107. (In Russ.)
18. Yagubyants T.A. On the connection between ancient peat accumulation and the cyclicity of sedimentation in the Donbass. *Soviet geology*. 1978. Vol. 1. No.10. pp. 83-84. (In Russ.)
19. Bezruchko K.A., Matrofajlo M.N. Typification and areal distribution of splittings in coal seams of the Lviv-Volyn basin. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2015. No.4. pp. -12. ISSN 2071-2227.
20. Davydenko D.B. Analytical Model of the Dynamics of Paleoshelf Morphostructures as an Element of Sedimentological Analysis of Petroleum-Promising Associations. *Reports Earth Sciences*. 2008. Vol. 422. P. 1. pp. 1021-1024.
21. Matrofajlo, M.M. Typification of splittings of coal seams of the Lviv-Volyn Basin. *Heologija i Heokhimiia Horiuchykh Kopalyn*, 2000. No.2. pp. 99-103.
22. Mokhov A.V. Morphology and Genesis of Washout-Like Structures in a Coal Seam (Eastern Donbass). *Reports Earth Sciences*. 2019. Vol. 487. P. 1. pp. 769-772. DOI:10.1134/S1028334X19070249.
23. Shulga V., Matrofajlo M., Kostik J. et al. The Relation of splittings with tectonics in the coal seams of the Lvov-Volynian coal Basin. *Mater. XXVIII Symposium "Geologia formacji weglonosnych Polski"*. Krakow. 2005. pp. 103-108.
24. Shulga V., Kostik J., Matrofajlo M. et al. Formation conditions of coal seams of the lower coal-bearing subformation of the Lvov-Volyn Basin. *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*. Heft 68. 2010. pp. 516-517.
25. Shulga V., Konovalova V., Nikolaeva S. The Serpukhovian-Bashkirian Boundary in the Lvov-Volyn Basin. *Schriftenreihe der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*. Heft 68. 2010. pp. 517-518.

УДК: 504.75

DOI: [10.46698/VNC.2021.53.63.011](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.53.63.011)

Оригинальная статья

Оценка влияния автомобильного движения транспорта на загрязнение урбанизированных территорий

В.Б. Заалишвили , А.С. Кануков , К.В. Корбесова 

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

Статья поступила: 21.10.2021, после рецензирования: 18.11.2021, принята к публикации: 23.11.2021

Резюме: Актуальность работы. Экономическое развитие всех регионов основано на доступе людей к товарам и услугам, которые обеспечиваются современной транспортной инфраструктурой. Автомобильный транспорт является основным способом транспортировки грузов и населения. В то же время положительные аспекты использования транспорта тесно связаны с такими негативными аспектами, как загрязнение окружающей среды и отрицательным влиянием на здоровье человека. На территории Республики Северная Осетия – Алания наибольший вклад в загрязнение окружающей среды вносит деятельность предприятий цветной металлургии и автотранспорта. Более 30 предприятий находится в промышленном узле г. Владикавказа, и их деятельность в той или иной мере связана с загрязнением атмосферного воздуха. Значительный вклад в загрязнение воздуха вносит автотранспорт, количество которого в г. Владикавказе, по данным Федеральной службы государственной статистики, за последние 20 лет увеличилось более чем в 2 раза. **Цель исследования.** Изучение основных источников загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом, исследование взаимосвязей между уровнем загрязнения среды, интенсивностью движения и экологическим классом автомобильного транспорта. Установление показателя загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом, характеризующего степень воздействия на окружающую среду и здоровье населения. **Методы исследования.** В ходе настоящей работы были собраны и проанализированы все имеющиеся данные по динамике объемов выбросов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 1997–2015 гг. Указанные данные обрабатывались с помощью корреляционного и регрессионного анализов. **Результаты работы.** Результаты исследований позволили установить, что прослеживается прямая зависимость или тренд между плотностью потока машин и загрязнением воздушной среды. Установлено, что выбросы от автомобильного транспорта на порядок превосходят стационарные источники. Предложен суммарный показатель $Z_{\text{атм}}$ загрязнения атмосферного воздуха, рассчитываемый как сумма отношений концентрации отдельных загрязнителей к соответствующим значениям ПДК за вычетом количества используемых показателей.

Ключевые слова: урбанизированная территория, экология, загрязнение, окружающая среда, здоровье населения, автомобильный транспорт, вредные выбросы, корреляционный и регрессионный анализ, показатель загрязнения.

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-35-90090.

Для цитирования: Заалишвили В.Б., Кануков А.С., Корбесова К.В. Оценка влияния автомобильного движения транспорта на загрязнение урбанизированных территорий. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 135-146. DOI: [10.46698/VNC.2021.53.63.011](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.53.63.011).

[DOI: 10.46698/VNC.2021.53.63.011](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.53.63.011)

Original paper

Assessment of the Impact of Road Traffic on the Pollution of Urbanized Territories

V.B. Zaalishvili^{id}, A.S. Kanukov^{id}, K.V. Korbesova^{id}

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

Received: 21.10.2021, revised: 18.11.2021, accepted: 23.11.2021

Abstract. Relevance. The economic development of any country is based on the access of population to goods and services that are provided by modern transport infrastructure. Currently, road transport is the most common way of transporting goods and people. At the same time, the positive aspects of using transport are closely related to such negative aspects as environmental pollution and negative impact on public health. On the territory of the Republic of North Ossetia-Alania, the largest contribution to environmental pollution is made by the activities of non-ferrous metallurgy enterprises and vehicles. More than 30 enterprises are located in the industrial hub of the city of Vladikavkaz, and their activities to one degree or another are associated with atmospheric air pollution. A significant contribution to air pollution is made by motor vehicles. Their number in Vladikavkaz has more than doubled over the past 20 years, according to the Federal State Statistics Service. **Aim.** Study of the main sources of pollution of an urbanized area by road transport. The research and identification of the relationship between the level of environmental pollution, traffic intensity and the ecological class of road transport and the establishment of an indicator of environmental pollution by road transport, characterizing the degree of impact on the environment and safety of the population. **Methods.** In the course of this study, all the available data on the dynamics of emissions from stationary sources and vehicles on the territory of North Ossetia-A for 1997–2015 were collected and analyzed. These data were processed using correlation and regression analyzes. **Results.** The research results made it possible to establish that there is a direct relationship or trend between the flow density of cars and air pollution. It was found that emissions from road transport exceed stationary sources by an order of magnitude. A total indicator Z_{atm} of atmospheric air pollution is proposed, calculated as the sum of the ratios of the concentration of individual pollutants to the corresponding MPC values minus the number of indicators used.

Keywords: urbanized territory, ecology, pollution, environment, public health, road transport, harmful emissions, correlation and regression analysis, pollution indicator.

Acknowledgments: This research was funded by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-35-90090.).

For citation: Zaalishvili V.B., Kanukov A.S., Korbesova K.V. Assessment of the Impact of Road Traffic on the Pollution of Urbanized Territories. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 135-146. DOI: 10.46698/VNC.2021.53.63.011.

Введение

Транспорт является важнейшей составной частью современной жизни. Экономическое развитие всех регионов основано на доступе людей к товарам и услугам, которые обеспечиваются современной транспортной инфраструктурой. Автомобильный транспорт является основным способом транспортировки грузов и населения. В то же время положительные аспекты использования транспорта тесно связаны с такими негативными аспектами, как загрязнение окружающей среды и отрицательным влиянием на здоровье человека [Dora, Phillips, 2000; Бекузарова и

др., 2020]. Одна из главных проблем – загрязнение воздуха, которое осуществляется автомобильным транспортом. Исследования, проводимые в последние десятилетия, указывают, что загрязнение воздуха значительно вредит здоровью, и транспорт является при этом одним из важнейших источников загрязнения [European Commission, 2001].

Большое число воздушных загрязнителей различной токсичности поступает в окружающую среду при движении или работе автомобильного транспорта [Джгмадзе, Гогичев, 2020]. Попадают загрязнители в окружающую среду из транспортных средств, оснащенных двигателями внутреннего сгорания, а также их элементов (тормоза, диски сцепления, шины и топливные баки), и, кроме того, от продуктов износа дорожного покрытия [Иванов и др., 2020; Стогний и др., 2021]. Исследования влияния движения транспорта на качество окружающей среды в городских районах начаты за рубежом относительно недавно [Wheeler, Rolfe, 1979; Elwood, 1983; Elwood, Gallacher, 1984; McClellan, 1986]. В большинстве исследований основное внимание уделяется загрязнению воздуха автомобильными выбросов и его воздействию на здоровье человека [Chamberlain 1983; Elwood 1986; Schroeder et al., 1987]. Подобные исследования достаточно активно проводятся и в России [Вигдорович и др., 2005; Кобрина, 2016; Каташинская, Суппес, 2016; Сокол, Жердев, 2018; Сонов и др., 2016; Шулепова, Сидоров, 2018].

Цель настоящего исследования – установление показателя загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом, характеризующего степень воздействия на окружающую среду и здоровье населения.

На территории Республики Северная Осетия-Алания наибольший вклад в загрязнение окружающей среды вносит деятельность предприятий цветной металлургии и автотранспорта [Алборов, Заалишвили, 2021]. Более 30 предприятий находится в промышленном узле г. Владикавказа, их деятельность в той или иной мере связана с загрязнением атмосферного воздуха.

Огромный вклад в загрязнение воздуха вносит автотранспорт, количество которого за последние 20 лет только в г. Владикавказе, по данным Федеральной службы государственной статистики, увеличилось более чем в 2 раза (рис. 1).

Как видно из представленного графика рост автомобильного транспорта носит равномерный характер. Аппроксимируя данный график линейной функцией можно увидеть высокую корреляционную зависимость количества автотранспорта от года, с величиной достоверности аппроксимации $R^2=0,984$. Полученную зависимость количества автотранспорта от года или равномерность эволюции транспортной составляющей можно описать следующим эмпирическим выражением: $N = 7538 \cdot Y + 82794$, где N – количество автотранспорта, Y – год минус 1994. Подобный рост количества автотранспорта с годами характерен и для всей Российской Федерации, в целом (рис. 2).

Согласно официальному portalу Республики Северная Осетия-Алания <http://alania.gov.ru> протяженность в Республике автомобильных дорог общего пользования имеющих твердое покрытие составляет 2,3 тыс. км, а плотность составляет 286 км дорог на 1 тыс. кв. км территории. По данным показателям Республика занимает 4-е место среди регионов, и при этом первые три места принадлежат г. Москве, г. Санкт-Петербургу и Калининградской области, соответственно. Через территорию Республики проходит 257 км федеральных и 2037 км региональных дорог. Всего транспортная инфраструктура представлена пятью трассами федерального

значения, а также включает в себя несколько железнодорожных узлов и международный аэропорт «Владикавказ».

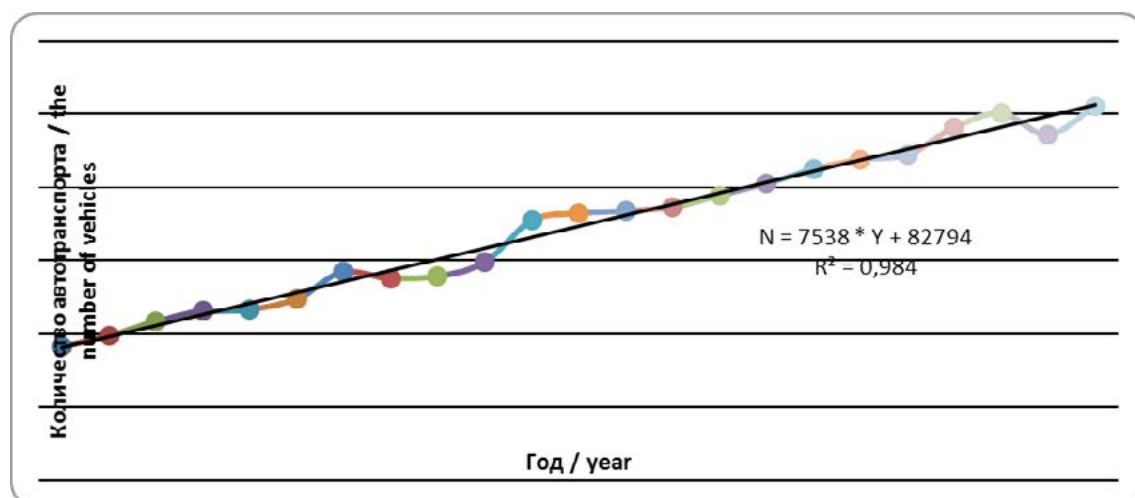


Рис. 1. Рост числа всего автотранспорта, зарегистрированного на территории PCO-A (период 1995–2017 гг.) /

Fig. 1. Growth in the number of all vehicles registered on the territory of North Ossetia-A (period 1995–2017)

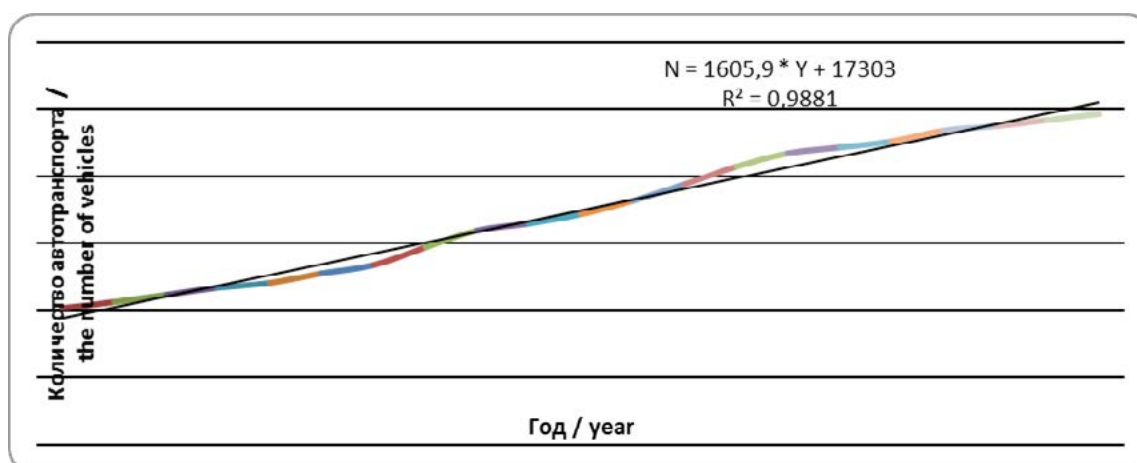


Рис. 2. Рост числа легкового автотранспорта, зарегистрированного на территории PCO-A (период 2000–2020 гг.) /

Fig. 2. Growth in the number of light vehicles registered on the territory of North Ossetia-A (period 2000–2020)

Методы

В качестве показателя загрязнения природной среды используется показатель предельно допустимой концентрации (ПДК). ПДК представляет собой максимальную концентрацию какого-либо химического элемента, или его соединения, при которой в течение длительного влияния рассматриваемого элемента на организм человека не вызываются патологические изменения и какие-либо заболевания. Данная концентрация утверждается как норматив и рассчитывается с помощью специальных исследований, либо оценивается с помощью экспертных оценок. В процессе реализации специализированных исследований на основе проводимых биологических экспериментов и наблюдений за состоянием здоровья людей, под-

вергающихся воздействию изучаемых химических элементов или их соединений, используются различные расчётные методы. Получаемые, при этом, значения ПДК вносятся в различные ГОСТы и иные нормативные документы.

Главным недостатком подобного подхода является рассмотрение и учет отдельных элементов, без учёта эффекта их интегрального влияния. В то же время, влияние на организм человека некоторых элементов может усиливаться в случае присутствия иных загрязнителей. Ещё одним недостатком является отсутствие учёта формы, в которой загрязнитель находится в среде. К примеру, ртуть, при попадании из почвы в воздух в виде различных неорганических соединений, в условиях невысокой концентрации, может и не характеризоваться высокой опасностью для населения, но, в то же время, при попадании в водную среду, форма соединения может перейти в метилированную, опасность которой может быть выше на один-два порядка [Петров, 1997].

В упрощенном подходе, в предположении одинаковой вредности различных элементов можно ввести некий суммарный показатель загрязнения природной среды, который может быть описан в виде:

$$C = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{\text{ПДК}_{C_i}}, \quad (1)$$

где C_i – фактическая концентрация i -го загрязнителя, ПДК_{C_i} – предельно допустимая концентрация i -го загрязнителя, C – суммарный показатель загрязнения.

Подобный подход используется в расчёте суммарного показателя загрязнения почвы Z_c . В данном случае используется понятие концентрации химического элемента, которая равна отношению фактического содержания данного элемента в почве, к его фоновому региональному:

$$K = C_i / C_{\phi}, \quad (2)$$

где K – концентрация химического элемента, C_i – содержание элемента в почве, C_{ϕ} – региональное фоновое содержание элемента.

При этом суммарный показатель рассчитывается, как сумма концентрации химических элементов и может быть представлен в виде:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{C_i} - (n-1), \quad (3)$$

где n – количество учитываемых химических элементов; K_{C_i} – коэффициенты концентрации загрязнителей.

Недостатком данного подхода можно считать то, что выделение опасных зон производится относительного фонового содержания исследуемых элементов в данном районе. При этом, для отдельных территорий, фоновое содержание может быть выше уровня ПДК, тогда, в сравнении с «чистым» регионом, мы получим заниженную оценку уровня загрязнения территории. В качестве примера можно привести случай, когда содержание различных элементов близки к фоновым значениям, в обоих случаях значение суммарного показателя загрязнения будет близко к единице, при этом реальное загрязнение может отличаться в несколько раз.

Результаты работы и их обсуждение

Для оценки загрязнения атмосферного воздуха нами предложено ввести суммарный показатель $Z_{атм}$, рассчитываемый как сумма отношений концентрации отдельных загрязнителей к значениям ПДК за вычетом количества используемых показателей минус единица:

$$Z_{атм} = \sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{ПДК_i}} - (n-1), \quad (5)$$

где C_i – концентрация i -го загрязнителя в атмосфере, $C_{ПДК_i}$ – значение ПДК i -го загрязнителя.

В ходе настоящей работы были собраны и проанализированы все имеющиеся данные по динамике объемов выбросов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 1997-2015 гг. (рис. 3).

Установлено, что основными загрязняющими веществами, характерными для автомобильного транспорта являются, оксид углерода (СО), оксиды азота NOx (в пересчете на диоксид азота), углеводороды (СН), сажа, диоксид серы (SO₂), формальдегид, бензапирен, свинец и различные другие взвешенные вещества. В этой связи, согласно проведенному нами исследованию по выявлению основных источников загрязнения атмосферного воздуха в городе Владикавказе, установлено, что объемы выбросов от автотранспорта, в целом, превышают стационарные источники на порядок.

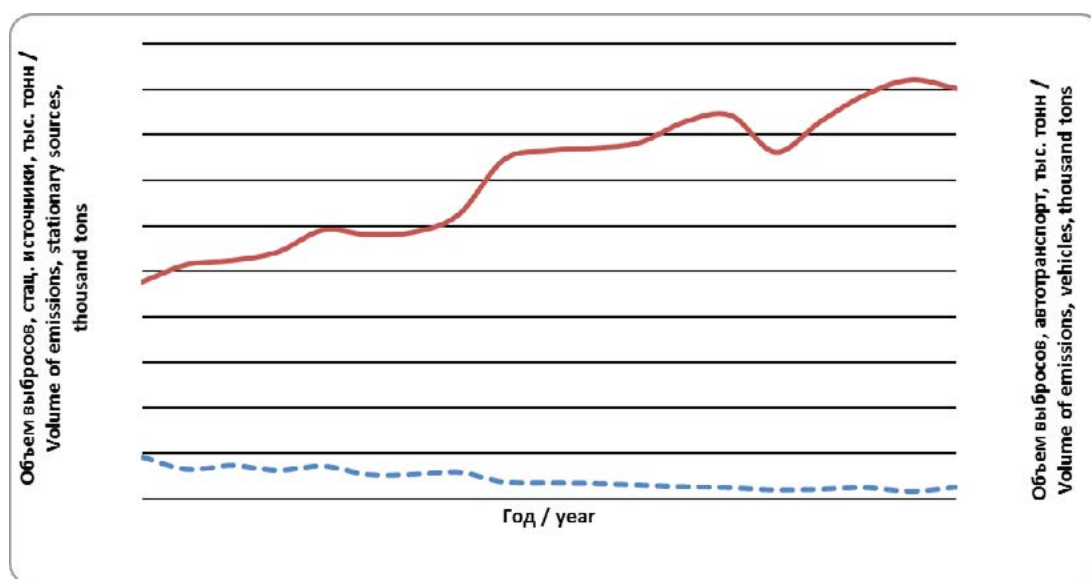


Рис. 3. Динамика объемов выбросов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 1997–2015 гг. (пунктирная линия – объемы выбросов от стационарных источников, непрерывная линия – объемы выбросов от автотранспорта) /

Fig. 3. Dynamics of emissions from stationary sources and vehicles on the territory of North Ossetia-A for 1997–2015. (dotted line – emissions from stationary sources, continuous line – emissions from vehicles)

В качестве примера на рисунке 4 приведены данные наблюдений концентрации угарного газа в атмосферном воздухе за один год, на котором видно увеличение концентрации во времени.

Результаты анализа позволили установить, что прослеживается прямая зависимость или тренд между плотностью потока машин и загрязнением воздушной среды. При этом наиболее интенсивное загрязнение среды отмечено в районе кинотеатра «Дружба» и Архонского перекрестка, являющиеся местами наибольшей загруженности автомобильным потоком. Исследования по установлению зависимости между количеством автотранспорта и уровнем загрязнения окружающей среды проводились с помощью корреляционного и регрессионного анализа (рис. 5–7).

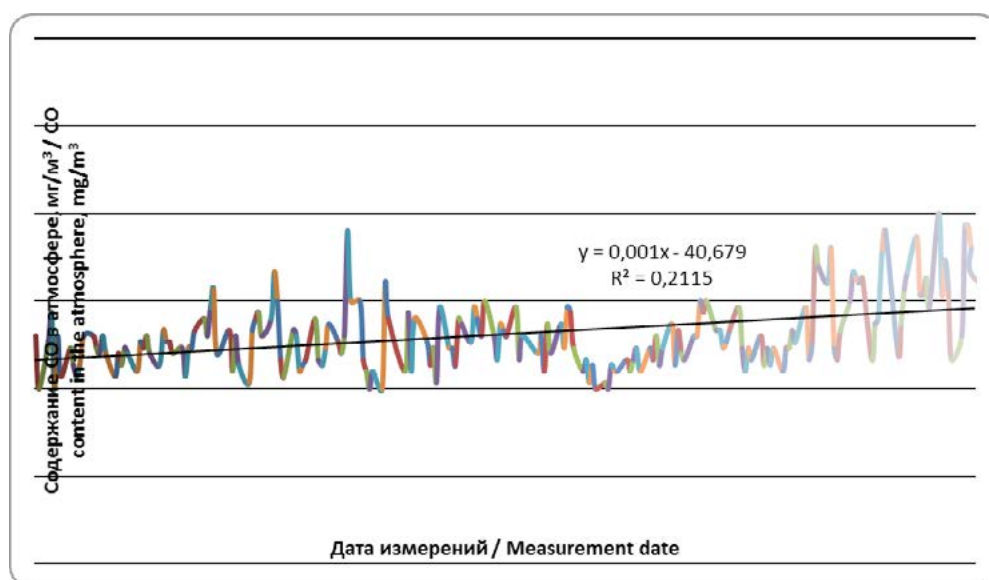


Рис. 4. Среднесуточные концентрации оксида углерода в атмосферном воздухе в течение года, mg/m^3 (пунктирная линия – объемы выбросов от стационарных источников, непрерывная линия – объемы выбросов от автотранспорта) /

Fig. 4. Average daily concentrations of carbon monoxide in the ambient air during the year, mg/m^3 (dotted line – emissions from stationary sources, continuous line – emissions from vehicles)

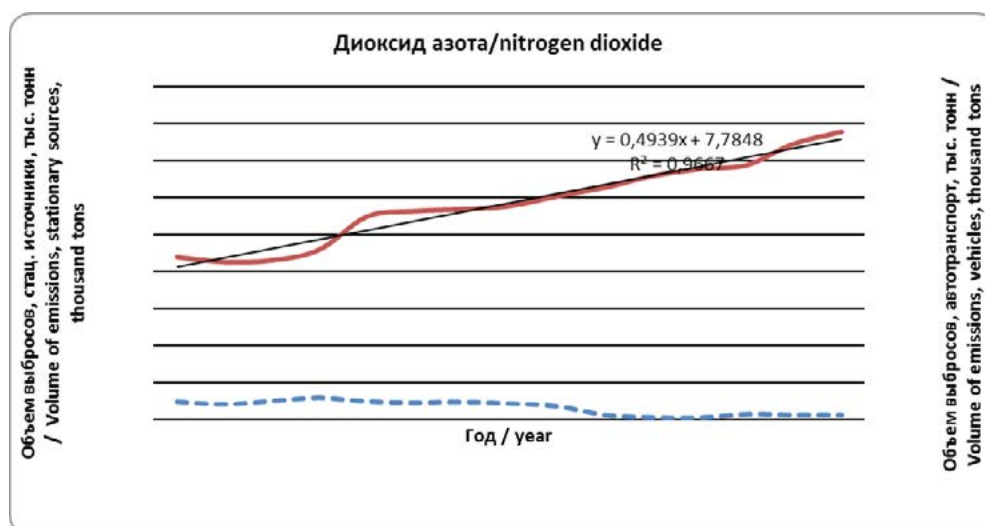


Рис. 5. Динамика объемов выбросов диоксида азота от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 2001–2015 гг. (пунктирная линия – объемы выбросов от стационарных источников, непрерывная линия – объемы выбросов от автотранспорта) /

Fig. 5. Dynamics of nitrogen dioxide emissions from stationary sources and vehicles on the territory of North Ossetia-A for 2001–2015. (dotted line – emissions from stationary sources, continuous line – emissions from vehicles)

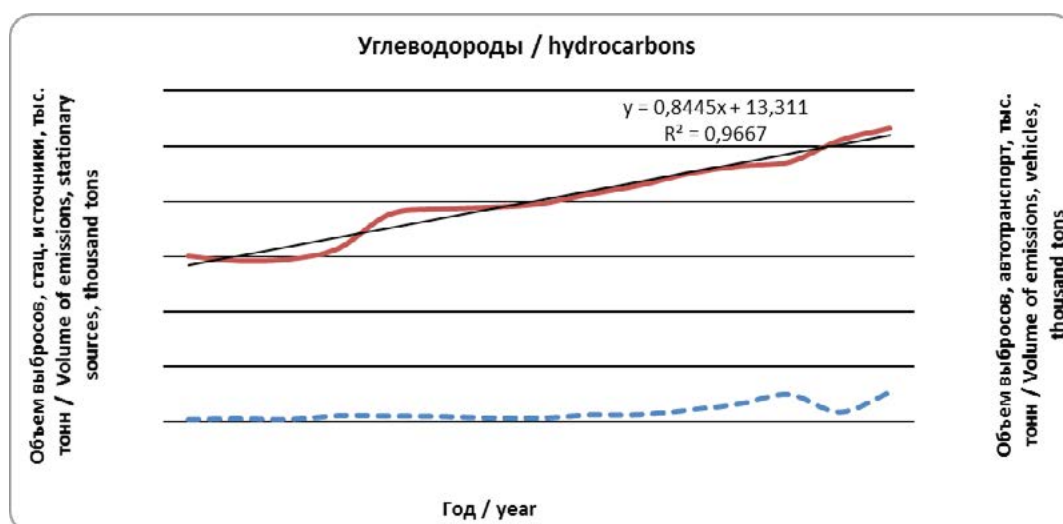


Рис. 6. Динамика объемов выбросов углеводородов от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 2001–2015 гг. (пунктирная линия – объемы выбросов от стационарных источников, непрерывная линия – объемы выбросов от автотранспорта) / Fig. 6. Dynamics of hydrocarbons emissions from stationary sources and vehicles on the territory of North Ossetia-A for 2001–2015. (dotted line – emissions from stationary sources, continuous line – emissions from vehicles)

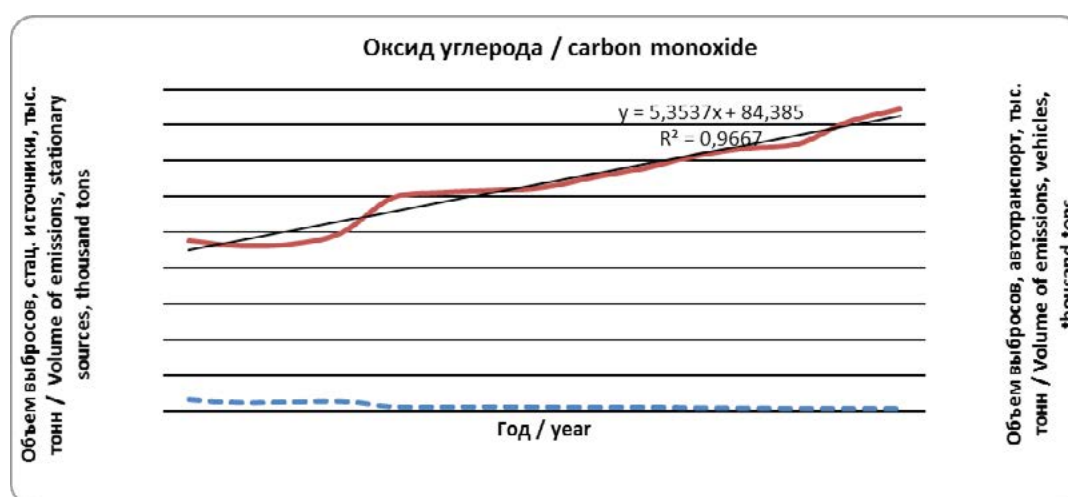


Рис. 7. Динамика объемов выбросов оксида углерода от стационарных источников и автотранспорта на территории РСО-А за 2001–2015 гг. (пунктирная линия – объемы выбросов от стационарных источников, непрерывная линия – объемы выбросов от автотранспорта) / Fig. 7. Dynamics of carbon monoxide emissions from stationary sources and vehicles on the territory of North Ossetia-A for 2001–2015. (dotted line – emissions from stationary sources, continuous line – emissions from vehicles)

Установлено, что рост поступлений в атмосферу загрязняющих веществ от автомобильного транспорта растёт линейно, подобно росту количества автотранспорта. При этом величина достоверности аппроксимации R^2 равна 0,97. На трассах при въезде в город, например, выявлена высокая концентрация двуокиси серы (до 4 ПДК), что, в частности, может служить косвенным признаком использования некачественного топлива большегрузным транспортом. Прямо через город проходит федеральная автомобильная дорога, выходящая на Военно-Грузинскую дорогу.

Это – единственная сухопутная действующая дорога связывающая Россию с Арменией, Грузией и Турцией, что обуславливает ее крайне высокую загруженность.

Выводы

Экономическое развитие всех регионов основано на доступе людей к товарам и услугам, которые обеспечиваются современной транспортной инфраструктурой. Автомобильный транспорт является основным способом транспортировки грузов и населения. В то же время положительные аспекты использования транспорта тесно связаны с такими негативными аспектами, как загрязнение окружающей среды и отрицательным влиянием на здоровье человека.

На территории Республики Северная Осетия-Алания наибольший вклад в загрязнение окружающей среды вносит деятельность предприятий цветной металлургии и автотранспорта. Более 30 предприятий находится в промышленном узле г. Владикавказа, их деятельность в той или иной мере связана с загрязнением атмосферного воздуха.

Огромный вклад в загрязнение воздуха вносит автотранспорт, количество которого только в г. Владикавказе, по данным Федеральной службы государственной статистики, за последние 20 лет увеличилось более чем в 2 раза.

В качестве показателя загрязнения природной среды используется показатель предельно допустимой концентрации (ПДК).

Главным недостатком подобного подхода является рассмотрение и учет отдельных элементов, без учёта эффекта их интегрального влияния. В то же время, влияние на организм человека некоторых элементов может усиливаться в случае присутствия иных загрязнителей.

Предложен суммарный показатель $Z_{\text{атм}}$ загрязнения атмосферного воздуха, рассчитываемый как сумма отношений концентрации отдельных загрязнителей к соответствующим значениям ПДК за вычетом количества используемых показателей.

Результаты исследований позволили установить, что прослеживается прямая зависимость или тренд между плотностью потока машин и загрязнением воздушной среды. Установлено, что выбросы от автомобильного транспорта на порядок превосходят стационарные источники.

Полученные данные свидетельствуют об устойчивой тенденции увеличения загрязнения атмосферного воздуха от возрастающего негативного влияния выбросов автотранспорта, что также отрицательно сказывается на состоянии здоровья населения.

Литература

1. Алборов И.Д., Заалишвили В.Б. Влияние ветрового режима и давления атмосферного воздуха на надежность вентиляции рудников и организм человека. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 148–159.
2. Бекузарова С.А., Тебиева Д.И., Бекмурзов А.Д., Кебалова Л.А., Корбесова К.В. Фиторемедиация токсичности воздуха автомобильных дорог. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №2. – С. 127–136.
3. Вигдорович В. И., Габелко Н. В., Спасский Р. В. Загрязнение воздуха города Тамбова выхлопными газами. // Вестн. Удм. ун-та. – 2005. – №8. – С. 79–86.
4. Джгамадзе А.К., Гогичев Р.Р. Гидрогеохимические особенности Северо-Осетинского артезианского бассейна. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №2. – С. 56–70.

5. Иванов А.В., Стриженов А.В., Супрун И.К. Вопросы оценки эффективности внедряемых пылезащитных экранов на этапе проектирования. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №3. – С. 139–152.
6. Каташинская Л.И., Суппес Н.Е. Анализ источников загрязнения атмосферного воздуха в городе Ишиме и влияние химического загрязнения атмосферы на здоровье населения. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. №2-3. – С. 697–701.
7. Кобрин Н.В. Системы мониторинга загрязнения окружающей среды автомобильным транспортом. // Экология и промышленность. – 2016. – №2(47). – С. 97–102.
8. Петров К. М. Общая экология: взаимодействие общества и природы. // Учебное пособие для вузов. – СПб: Химия, 1997. – 352 с.
9. Сокол П.А., Жердев А.В. Анализ воздействия отработанных газов двигателя внутреннего сгорания на экологическую безопасность. // Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. – 2018. – Т. 1. – С. 605–607.
10. Сонов А.А., Ажахова Л.С., Теунова Ф.А. Экспериментальное исследование химического состава атмосферных осадков и определение степени загрязнения атмосферы выхлопными газами. // Современные тенденции развития науки и технологий. – 2016. – №3-1. – С. 27–30.
11. 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. – Т. 11. №1. – С. 121–133.
12. Шулепова О.В., Сидоров П.Т. О влиянии автотранспорта на окружающую среду на примере города Тюмени. // Агропродовольственная политика России. – 2018. – №3(75). – С. 45–47.
13. Chamberlain A.C. Effect of airborne lead on blood lead. // Atmos Environ. – 1983. – No.17. – pp. 677-692.
14. Dora C., Phillips M., eds. Transport, environment and health. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe (WHO Regional Publications. // European Series. – 2000. – No.89. <http://www.euro.who.int/document/e72015.pdf>, accessed 26 November 2004).
15. Elwood P.C. Blood lead and petrol lead. // Br. Med. J. – 1983. – Vol. 286. – 1515 p.
16. Elwood P.C. The sources of lead in blood. // Sci. Total. Environ. – 1986. – Vol. 52. – pp. 1-23.
17. Elwood P.C. and Gallacher J.E.J. Lead in petrol and levels of lead in blood: scientific evidence and social policy. // J. Epidemiol and Community Health. – 1984. – Vol. 38. – pp. 315-318.
18. European Commission. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the sixth environment action programme of the European Community – Environment 2010: OUR FUTURE, OUR CHOICE. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities. – 2001. http://europa.eu.int/eurex/en/com/pdf/2001/en_501PC00.31.pdf, accessed 26 November 2004).
19. McClellan R.O. Health effects of diesel exhaust: a case study in risk assessment. // Am. Ind. Hyg. Assoc. J. – 1986. – Vol. 47. – pp. 1-13.
20. Schroeder W.H., Dobson M., Kane D.M. and Johnson N.D. Toxic trace elements associated with airborne particulate matter: a review. // JAPCA. – 1987. – Vol. 37. – pp. 1267–1285.
21. Wheeler G.L. and Rolfe G.L. The relationship between daily traffic volume and the distribution of lead in roadside soil and vegetation. // Environ. Pollut. – 1979. – Vol. 18. – pp. 265-274.

References

1. Alborov I.D., Zaalishvili V.B. Influence of wind conditions and pressure the influence of atmospheric air on the reliability of mine ventilation and the human body. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 3. pp. 148–159. (in Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012.
2. Bekuzarova S.A., Tebieva D. I., Bekmurzov A.D., Kebalova L.A., Korbesova K.V. Phytoremediation of air toxicity of roads. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No. 2. pp. 127–135. (in Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2020.47.65.009
3. Vigdorovich V.I., Gabelko N.V., Spassky R.V. Air pollution of the city of Tambov with exhaust gases. *Vestn. Udm. un-ta*. 2005.No. 8. pp. 79–86. (In Russ.)
4. Dzhgamadze A.K., Gogichev R.R. Hydrogeochemical features of the North Ossetian artesian basin. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10.No. 1. pp. 56–70. (in Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2020.45.55.004.
5. Ivanov A.V., Strizhenok A.V., Suprun I.K. Issues of evaluating the effectiveness of the introduced dust screens at the design stage. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No. 3. pp. 140–152. (In Russ.) DOI: 10.46698/VNC.2020.37.81.009.
6. Katashinskaya L.I., Suppes N.E. Analysis of sources of air pollution in the city of Ishim and the impact of chemical pollution of the atmosphere on public health. *Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2016. Vol. 18.No. 2–3. pp. 697–701. (In Russ.)
7. Kobrina N.V. Systems for monitoring environmental pollution by road transport. *Ecology and Industry*. 2016. No. 2. Vol 47. pp. 97–102. (In Russ.)
8. Petrov K.M. General ecology: interaction of society and nature. Textbook for universities. Saint Petersburg. Chemistry. 1997.352 p. (In Russ.)
9. Sokol P.A., Zherdev A.V. Analysis of the impact of exhaust gases from an internal combustion engine on environmental safety. *Problems of ensuring safety in the elimination of the consequences of emergency situations*. 2018. Vol. 1. pp. 605–607. (In Russ.)
10. Sonov A.A., Azhakhova L.S., Teunova F.A. Experimental study of the chemical composition of atmospheric precipitation and determination of the degree of atmospheric pollution by exhaust gases. *Modern trends in the development of science and technology*. 2016. No. 3–1. pp. 27–30. (In Russ.)
11. 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. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No. 1. pp 121–133. (in Russ.). DOI: 10.46698/VNC.2021.40.95.010.
12. Shulepova O.V., Sidorov P.T. About the impact of vehicles on the environment by the example of the city of Tyumen. *Agri-food policy of Russia*. 2018. No. 3. Vol. 75. pp. 45–47. (In Russ.)
13. Chamberlain A.C. Effect of airborne lead on blood lead. *Atmos Environ*. 1983. No.17. pp. 677–692.
14. Dora C., Phillips M., eds. Transport, environment and health. Copenhagen, WHO Regional Office for Europe (WHO Regional Publications. European Series. 2000. No.89. <http://www.euro.who.int/document/e72015.pdf>, accessed 26 November 2004).
15. Elwood P.C. Blood lead and petrol lead. *Br. Med. J.*1983. Vol. 286. 1515 p.
16. Elwood P.C. The sources of lead in blood. *Sci. Total. Environ*. 1986. Vol. 52. pp. 1–23.
17. Elwood P.C.,Gallacher J.E.J. Lead in petrol and levels of lead in blood: scientific evidence and social policy. *J. Epidemiol and Community Health*. 1984. Vol. 38. pp. 315–318.
18. European Commission. Communication from the Commission to the Council, the European Parliament, the Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on the sixth environment action programme of the European Community – Environment 2010: OUR FUTURE, OUR CHOICE. Luxem- bourg, Office for Official Publications of the European

Communities. – 2001. (http://europa.eu.int/eurex/en/com/pdf/2001/en_501PC00.31.pdf, accessed 26 November 2004).

19. McClellan R.O. Health effects of diesel exhaust: a case study in risk assessment. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 1986. Vol. 47. pp. 1–13.

20. Schroeder W.H., Dobson M., Kane D.M. and Johnson N.D. Toxic trace elements associated with airborne particulate matter: a review. *JAPCA*. 1987. Vol. 37. pp. 1267–1285.

21. Wheeler G.L. and Rolfe G.L. The relationship between daily traffic volume and the distribution of lead in roadside soil and vegetation. *Environ. Pollut.* 1979. Vol. 18. pp. 265–274.

УДК: 504.75

DOI: [10.46698/VNC.2021.98.22.012](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.98.22.012)

Оригинальная статья

Разработка карт индекса канцерогенного риска территории г. Владикавказа

В.Б. Заалишвили^{id}, О.Г. Бурдзиева^{id}, А.С. Кануков^{id}, Л.В. Дзобелова^{id}

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

Статья поступила: 27.10.2021, после рецензирования: 24.11.2021, принята к публикации: 30.11.2021

Резюме: Актуальность работы. В последние годы наблюдается значительный рост численности населения, которому соответствуют ускоренные темпы индустриализации. Это сопровождается всё более значительным загрязнением окружающей среды тяжелыми металлами. Наибольший вклад в загрязнение окружающей среды Республики Северная Осетия – Алания долгие годы вносила горнодобывающая промышленность, в последнее же время к ней, в качестве не менее весомого источника загрязнения присоединились нестационарные источники. Загрязнение тяжелыми металлами создает серьезную опасность для здоровья населения и окружающей среды из-за их токсичной природы. Цель исследования. Разработка карт пространственного распределения загрязняющих веществ является основой в оценке уровня загрязнения окружающей среды. **Цель настоящего исследования** – разработка карт индекса канцерогенного риска и установление его взаимосвязи с онкозаболеваемостью населения. **Методы исследования.** В процессах создания карт используются методы интерполяции, так как количество проб и измерений содержания вредных веществ в той или иной среде, как правило, весьма ограничено. Согласно зарубежным исследованиям, для большинства наиболее часто используемых методов интерполяции обеспечивается одинаково высокая точность. В настоящей работе при расчёте индексов канцерогенного риска использовался метод обратного взвешивания расстояний. **Результаты работы.** Отобран материал по заболеваемости населения злокачественными образованиями по различным районам г. Владикавказа. Основной удельный вес вновь зарегистрированных злокачественных новообразований приходится на возрастные группы свыше 60 лет. Анализ онкозаболеваемости показал, что в тех районах г. Владикавказа, где уровень загрязнения окружающей среды выше, выше и показатели онкозаболеваемости. Проведен расчёт индекса риска для здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих окружающую среду. По всем исследуемым показателям наблюдается значительное превышение предельно допустимых значений, за исключением ртути. Полученные данные о высоком уровне канцерогенного риска согласуются с высоким уровнем онкологической заболеваемости на территории города, что говорит о тесной взаимосвязи заболеваемости и индекса канцерогенного риска.

Ключевые слова: горный регион, добыча полезных ископаемых, тяжелые металлы, загрязнение окружающей среды, онкозаболеваемость, индекс канцерогенного риска.

Для цитирования: Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Кануков А.С., Дзобелова Л.В. Разработка карт индекса канцерогенного риска территории г. Владикавказа. Геология и геофизика Юга России. 2021. 11(4): 147-160. DOI: [10.46698/VNC.2021.98.22.012](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.98.22.012).

[DOI: 10.46698/VNC.2021.98.22.012](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.98.22.012)

Original paper

Development of cancerogenic risk index maps for the territory of Vladikavkaz

V.B. Zaalishvili^{id}, O.G. Burdzieva^{id}, A.S. Kanukov^{id}, L.V. Dzobelova^{id}

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

Received: 27.10.2021, revised: 24.11.2021, accepted: 30.11.2021

Abstract. Relevance. In recent years, there has been a significant increase in the population, which is matched by the accelerated rate of industrialization. This is accompanied by increasingly significant pollution of the environment with heavy metals. For many years, the mining industry has made the greatest contribution to the environmental pollution of the Republic of North Ossetia – Alania, non-stationary sources have recently joined as an equally significant source of pollution. Heavy metal pollution poses a serious threat to public health and the environment due to its toxic nature. **Aim.** The development of maps of the spatial distribution of pollutants is the basis for assessing the level of environmental pollution. The aim of this study is to develop maps of the carcinogenic risk index and to establish its relationship with the incidence of cancer in the population. **Methods.** In the process of creating maps, interpolation methods are used, since the number of samples and measurements of the content of harmful substances in a particular environment is usually very limited. According to foreign studies, for most of the commonly used interpolation methods, equally high accuracy is provided. In the present work, we used the method of the inverse weighting of distances for calculating the indices of carcinogenic risk. **Results.** The material on the incidence of malignant neoplasms in the population in various districts of Vladikavkaz was selected. The main share of newly registered malignant neoplasms falls on the age groups over 60 years old. The analysis of cancer morbidity showed that in those areas of Vladikavkaz where the level of environmental pollution is higher, the indicators of cancer morbidity are also higher. The calculation of the risk index for public health under the influence of chemical substances polluting the environment has been carried out. For all the studied indicators, there is a significant excess of the maximum permissible values, with the exception of mercury. The obtained data on the high level of carcinogenic risk is consistent with the high level of cancer incidence in the city; it indicates a close relationship between the incidence and the carcinogenic risk index.

Keywords: mountainous region, mining, heavy metals, environmental pollution, cancer morbidity, carcinogenic risk index.

For citation: Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Kanukov A.S., Dzobelova L.V. Development of cancerogenic risk index maps for the territory of Vladikavkaz. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 147-160. DOI: 10.46698/VNC.2021.98.22.012.

Введение

Загрязнение окружающей среды в Республике Северная Осетия-Алания происходит от стационарных и передвижных источников. К стационарным источникам относятся предприятия промышленности, которые в республике представлены такими отраслями как цветная металлургия, машиностроения и металлообработки, электроэнергетика, топливная промышленность, лесная и деревообрабатывающая промышленность, производство строительных материалов [Borshevsky et al., 2017; Zaalishvili et al., 2014]. Основными стационарными источниками выбросов в атмосферу являются предприятия металлургической промышленности [Алборов, Заалишвили, 2021]. Большой вклад в загрязнение окружающей среды вносят пере-

движные источники, в частности автомобильный транспорт, количество которого из года в год растет быстрыми темпами [Бекузарова и др., 2020].

Наиболее остро строит проблема загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами [Иванов и др., 2020; Джгмадзе, Гогичев, 2020], так как в отличие от иных загрязнителей, имеющих органическую природу, металлы невозможно разложить до безопасных химических соединений, как в случае в органикой, а лишь преобразовать в менее токсичную форму. Как известно, содержание металлов в почве представляет собой сумму содержания металлов, поступающих в почву из-за природных процессов и человеческой деятельности [Стогний и др., 2021]. Очевидно, что вклад металлов от антропогенных источников в почве выше, чем вклад от естественных. Значительное увеличение содержания металлов в почвах наблюдается в районах с высоким уровнем промышленной деятельности, где их накопление может быть в несколько раз выше, чем среднее содержание в незараженных областях. Кроме того, в районах, удаленных от промышленных центров также могут наблюдаться повышенные концентрации металлов в результате переноса на большие расстояния с помощью ветра.

Как свидетельствуют многочисленные исследования, неблагоприятные экологические факторы, даже при невысоком уровне воздействия могут вызывать значительные расстройства здоровья людей. Загрязнение окружающей среды, несмотря даже на относительно малые концентрации веществ, вследствие большой длительности воздействия, может приводить к тяжелым болезням, включая онкологию [Бериев, Заалишвили, 2015].

Изучение онкозаболеваемости населения г. Владикавказ.

Для изучения заболеваемости населения злокачественными образованиями был отобран материал по различным районам г. Владикавказа [Бериев и др., 2013]. Для обработки и последующего анализа полученных данных была разработана специальная база данных. Формирующие параметры базы включали местожительство, пол, возраст больного, локализация поражения тела больного. Больные были разделены на несколько групп по возрасту: до 20 лет, 20–29 лет, 30–39 лет, 40–49 лет, 50–59 лет, 60–69 лет и 70 лет и старше. Типы данных были строго определены для последующего подключения базы данных к карте, используя современные ГИС технологии. Подключение базы данных к цифровой карте в геоинформационной системе позволило выполнить множественный анализ данных благодаря пространственной привязке каждой записи. Так, например, можно отобрать интересующие возрастные категории, сделать фильтрацию по полу, определённой улице или локализации болезни. В ГИС-технологиях на карте – схеме застройки города было построено распределение заболеваемости злокачественными образованиями по площади города. По общепринятой методике поликлинического территориального районирования по границам обслуживания поликлиник были получены значения заболеваемости за разные годы, а также среднее значение за несколько лет, которое и было вынесено на карту [Burdzieva et al., 2016] (рис. 1).

Методы исследования

Тяжелые металлы в почве влияют на качество окружающей среды, а также могут угрожать здоровью человека. Точность карт пространственного распределения тяжелых металлов имеет решающее значение для контроля рисков [Senesil et al., 1999]. Загрязняющие вещества всегда сильно различаются по поверхности земли, поэтому очень сложно получить точное пространственное распределение тяжелых металлов. Наличие определенной доли проб, превышающих установленный нормативный порог, было классическим методом характеристики степени загрязнения

почвы [Chen et al., 1997; Cheng et al., 2007]. Однако у классического метода оценки есть много ограничений, которые, вероятно, приводят к ошибкам или неопределенности в оценке загрязнения.

Классический статистический метод обычно требует, чтобы данные были подчинены ряду допущений: независимость наблюдений друг от друга, точная или приближительная нормальность наблюдений, большая и повторная выборка. Но в исследованиях загрязнения почвы содержание тяжелых металлов в почве обычно имеет искаженное нормальное распределение и пространственно автокоррелировано [Kishné et al., 2003; Hu et al., 2006]. Учитывая стоимость отбора и анализа проб почвы, плотный и повторный отбор проб обычно нецелесообразен. Для картографирования пространственного распределения загрязнения почвы требуются методы пространственной интерполяции. Следовательно, методы интерполяции, такие как метод обратных взвешенных расстояний (IDW), кригинг и сплайн, широко используются при исследованиях почв и картировании загрязнения [Imperato et al., 2003; McGrath et al., 2004; Amini et al., 2005; Lee et al., 2006].

Точность интерполяции связана с точным определением загрязненной территории и ее границ. Следовательно, это напрямую влияет на точность оценки загрязнения. Существует множество исследований эффективности упомянутых выше методов пространственной интерполяции, но результаты не являются однозначными [Shi et al., 2009]. Некоторые из них обнаружили, что метод кригинга работает лучше, чем IDW [Panagoroulos et al., 2006; Yasrebi et al., 2009]; в то время как другие показали, что кригинг не лучше альтернативных методов [Gotway et al., 1996].

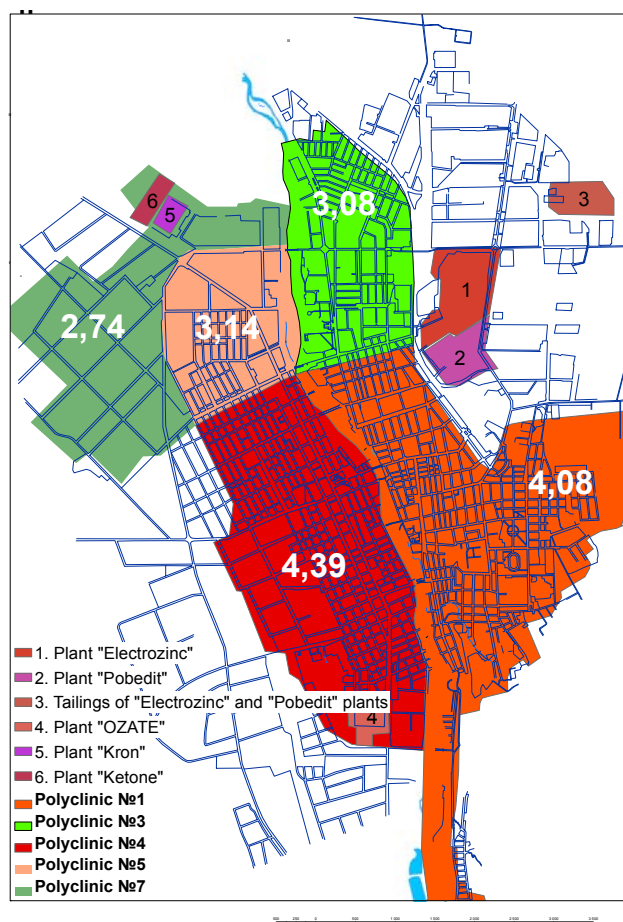


Рис. 1. Заболеваемость новообразованиями по территории городских поликлиник /

Fig. 1. The incidence of neoplasms in the territory of city polyclinics

Исследования загрязнения почв тяжелыми металлами сосредоточены на выявлении областей с высоким риском загрязнения. Образцы из районов с высоким риском загрязнения обычно являются локальными пространственными выбросами [Zhang et al., 2009]. Все методы интерполяции имеют сглаживающий эффект, который недооценивает («теряет» пики) локальные высокие значения и переоценивает местные низкие значения [Journel et al., 2000]. В этой связи важно минимизировать систематическую ошибку в оценке загрязнения, вызванную методами интерполяции, и «понимать» наличие неопределенности при оценках загрязнения почвы тяжелыми металлами, вызванную ошибкой интерполяции, и различиями в оценке загрязнения различными методами интерполяции.

Первый рассматриваемый метод интерполяции – кригинг, основан на предположении, что интерполируемый параметр можно рассматривать как регионализированную переменную. Как и в случае с IDW, оценка кригинга задается линейной комбинацией наблюдаемых значений с весами. В зависимости от стохастических свойств случайных полей применяются разные типы кригинга. Тип кригинга определяет линейное ограничение на веса, подразумеваемое несмещенным условием. Существует несколько типов кригинга, включая простой кригинг, обычный кригинг, универсальный кригинг и т.д. Отметим, что обычный кригинг является наиболее часто применяемым методом. Веса ОК выводятся из уравнений кригинга с использованием функции полувариантности. Параметры функции полувариантности и нагетт-эффекта можно оценить с помощью эмпирической функции полувариантности [Webster and Oliver, 2007]. Несмещенная оценка функции полувариантности равна половине среднего квадрата разности между значениями парных данных:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [z(x_i) - z(x_i + h)]^2 \quad (1)$$

где $\gamma(h)$ – значение полувариантности на интервале расстояний h ; и $N(h)$ – количество пар выборок в интервале расстояний h ; $z(x_i + h)$ и $z(x_i)$ – выборочные значения в двух точках, разделенных интервалом расстояния h .

Следующий вид интерполяторов – радиальные базисные функции (RBF) – это название, данное большому семейству точных интерполяторов, которые используют основное уравнение, зависящее от расстояния между интерполированной точкой и точками выборки [Aguilar et al., 2005]. RBF концептуально аналогичны установке резиновой мембраны через измеренные значения образца, при этом сводя к минимуму общую кривизну поверхности. Значение прогноза по RBF может быть выражено как сумма двух компонентов [Mitasova, Mitas, 1993]:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^m a_i f_i(x) + \sum_{j=1}^n b_j \psi(d_j) \quad (2)$$

где $\psi(d_j)$ показывает радиальные базисные функции, а d_j – расстояние от места выборки до точки прогнозирования x , $f_i(x)$ – функция тренда, член базиса для пространства многочленов степени $< m$. Коэффициенты a_i и b_j вычисляются посредством разрешения следующей системы $n + m$ линейных уравнений; n – общее количество известных точек, используемых в интерполяции, как показано ниже:

Полиномиальная интерполяция – это процесс поиска формулы (часто полинома), график которой будет проходить через заданный набор точек. Интерполяция глобального полинома соответствует полиному всей поверхности, в то время как интерполяция локального полинома может рассматриваться как комбинация методов глобального полинома и процедуры скользящего среднего. Вместо подгонки полинома ко всему набору данных он подгоняется к локальному подмножеству, определяемому окном, как в модели скользящего среднего. Размер этого окна должен быть достаточно большим для включения в процесс разумного количества точек данных.

Учитывая, что рассмотренные в настоящем исследовании методы интерполяции проводят к практически идентичным результатам, в качестве метода интерполяции нами был выбран метод обратных взвешенных расстояний (IDW), который основан на предположении, что прогнозы представляют собой линейную комбинацию доступных данных. Интерполирующая функция:

$$Z(x) = \sum_{i=1}^n w_i z_i / \sum_{i=1}^n w_i, \quad (3)$$
$$w_i = d_i^{-u}$$

где $Z(x)$ – предсказанное значение в интерполированной точке, Z_i – в известной точке, n – общее количество известных точек, используемых при интерполяции, d_i – расстояние между точкой i и точкой предсказания, а w_i – это вес, присвоенный точке i . Большее значение веса присваивается значениям, близким к интерполированной точке. По мере увеличения расстояния вес уменьшается [Shepard, 1968], а u – сила веса, которая определяет, как вес уменьшается с увеличением расстояния.

Результаты работы и их обсуждение

В 2014 году ГБУ «Дирекция по выполнению природоохранных программ и экологического образования» и Открытое акционерное общество «Севосетингеоэкомониторинг» провели исследование состояния загрязнения почв, в том числе пестицидами и радиоактивными веществами. На основе этих данных нами был рассчитан индекс канцерогенного риска для здоровья населения при воздействии химических веществ загрязняющих окружающую среду.

Применялась стандартная формула для расчета средней суточной дозы при ингаляционном воздействии химических веществ, попадающих в воздух из почвы [Руководство..., 2004] (расшифровка всех параметров дана в таблице 1):

$$I = (Ca \times IR \times ED \times EF) / (BW \times AT \times 365) \quad (4)$$

Из руководства по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду, были получены референтные концентрации для хронического ингаляционного воздействия (табл. 2)

Таблица 1 / Table 1

Стандартная формула для расчета средней суточной дозы при ингаляционном воздействии химических веществ, попадающих в воздух из почвы / Standard formula for calculating the average daily dose for inhalation exposure to chemicals released into the air from soil

Параметр/ Parameter	Характеристика/ Characteristic	Стандартное значение/ standard value
I	Ингаляционное поступление, мг/(кг×день)/ Inhalation intake (kg×day)	-
Ca	Концентрация вещества в воздухе, мг/м ³ / Concentration of matter in air, mg/m ³	Cs x (1/PEF + 1/EF)
Cs	Концентрация вещества в почве, мг/кг/ Concentration of matter in soil, mg/kg	-
PEF	Фактор эмиссии пылевых частиц, м ³ /кг/Dust emission factor, m ³ /kg	расчетная величина (табл. 3.13)/ calculated value (Table 3.13)
VF	Фактор испарения из почвы, м ³ /кг/ Factor of evaporation from soil, m ³ /kg	расчетная величина (табл. 3.14)/ calculated value (Table 3.14)
IR	Скорость поступления, м ³ /сут/ Intake rate, m ³ /day	20 м ³ /сут.; дети: 10 м ³ /сут./ 20 m ³ /day; children: 10 m ³ /day
EF	Частота воздействия, дней/год/ Exposure frequency, days/year	350 дн./г / 350 days/year
ED	Продолжительность воздействия, лет/Exposure duration, years	30 лет; дети: 6 лет/ 30 years; children: 6 years
BW	Масса тела, кг/Body mass, kg	70 кг; дети: 15 кг/ 70 kg; children: 15 kg
AT	Период усреднения экспозиции, лет/ Exposure averaging period, years	Для взрослых 30 лет; для детей: 6 лет; канцерогены: 70 лет/ For adults 30 years; for children 6 years; carcinogens: 70 years

Таблица 2 / Table 2

Референтные концентрации для хронического ингаляционного воздействия / Reference concentrations for chronic inhalation exposure

CAS	Вещество/Matter	RFC мг/м ⁵ / mg/ m ⁵	Критические органы/системы / Critical organs / systems
7440-43-9	Кадмий/Cd	2*10 ⁻⁵	почки, органы дыхания, гормон, рак / nephros, respiratory organs, hormone, cancer
7440-50-8	Медь/Cu	2*10 ⁻⁵	органы дыхания, системн./ respiratory organs, system.
7440-02-0	Никель/Ni	5*10 ⁻⁵	органы дыхания, кровь, иммун., рак, ЦНС / respiratory organs, blood, immun., cancer, CNS
7439-97-6	Ртуть/Hg	0,0003	ЦНС, гормон., почки / CNS, hormone., nephros
7439-92-1	Свинец/Pb	0,0005	ЦНС, кровь, развитие, репрод. сист., гормон., почки / CNS, blood, evolution, reproductive system, hormone., nephros
7440-66-6	Цинк/Zn	0,0009	органы дыхания, иммун. (сенс.), кровь / respiratory organs, immun.(sens.), blood

Индекс канцерогенного риска рассчитывался, как отношение средней суточной дозы при ингаляционном воздействии химических веществ, попадающих в воздух из почвы, к референтным концентрациям для хронического ингаляционного воздействия. Безопасными считаются значения меньше 1. По результатам исследования были построены карты индекса канцерогенного риска для территории г. Владикавказа (рис. 2-3).

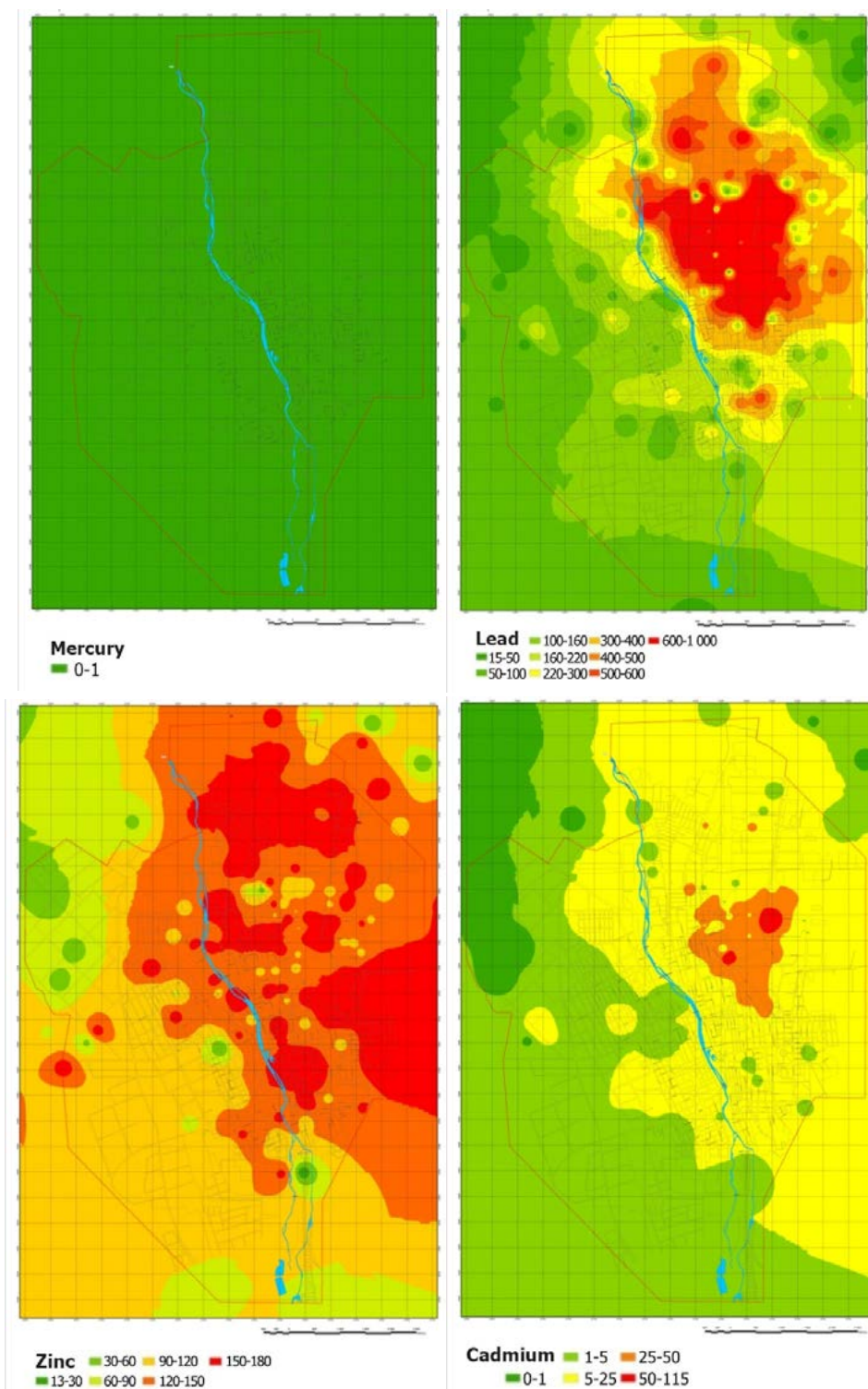


Рис. 2. Карты индекса канцерогенного риска для территории г. Владикавказа /
Fig. 2. Maps of the carcinogenic risk index for the territory of Vladikavkaz

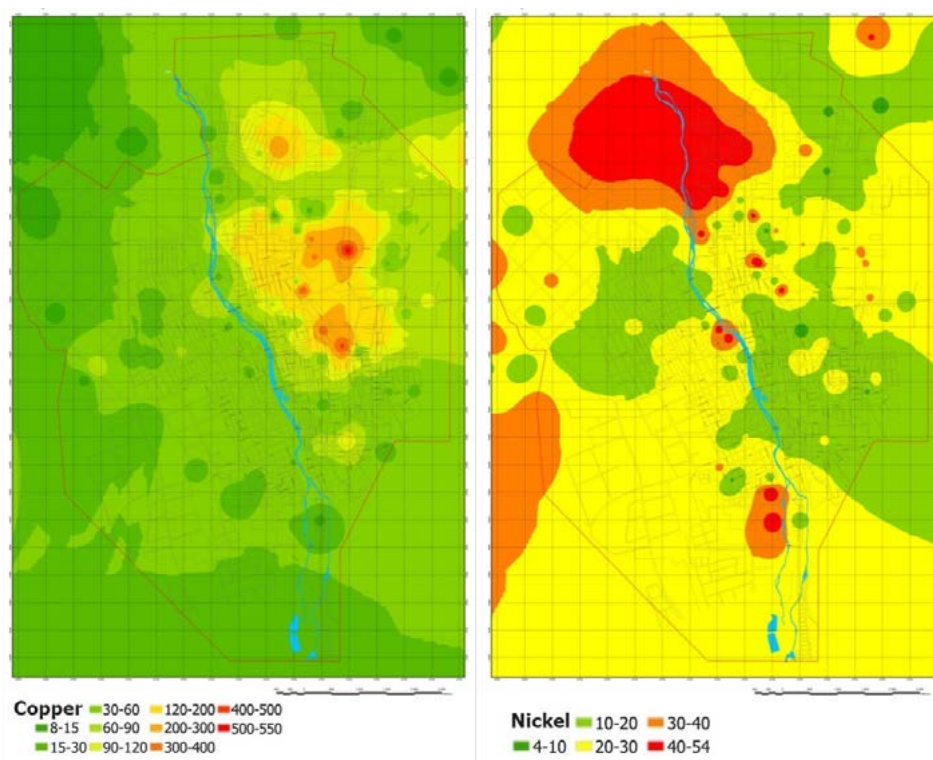


Рис. 3. Карты индекса канцерогенного риска для территории г. Владикавказа /
Fig. 3. Maps of the carcinogenic risk index for the territory of Vladikavkaz

Кроме ингаляционного способа поступления веществ из почвы в организм человека, существует ещё два вида поступлений: накожная экспозиция и пероральное поступление.

Для перорального поступления использовалась следующая формула [Руководство..., 2004]:

$$I = Cs \times FI \times EF \times ET \times CF2 \times ((EDc \times IRc/BWc) + (EDa \times IRa/BWa)) / (AT \times 365) \quad (5)$$

где I – среднесуточное пероральное поступление, мг/(кгхдень), Cs – концентрация вещества в почве, FI – загрязненная часть почвы, принимаемая равной единице (100%), EF – частота воздействия, равная 350 дн/г, ET – время воздействия, 1 ч/дн, $CF2$ – Пересчетный коэффициент – 1/24 дн/ч, EDc и EDa – продолжительность воздействия в возрасте старше и младше 6 лет соответственно, IRc и IRa – скорость поступления в возрасте старше и младше 6 лет соответственно, BWc и BWa – масса тела в возрасте старше и младше 6 лет соответственно, AT – период усреднения, равный 350 дням для канцерогенов.

По формуле 4 и значениям референтных концентраций для перорального поступления веществ из почвы были построены соответствующие карты индекса канцерогенного риска. Для перорального поступления тяжелых металлов из почвы в организм человека значения риска не превышают единицу для всех изученных элементов, кроме свинца и 0,4 для кадмия.

Анализируя построенные карты можно заключить, что наиболее опасным способом получения тяжелых металлов из почвы в организм человека является ингаляционный, для которого наблюдается значительное превышение допустимого уровня риска. Пероральный способ поступления формирует значительно более низкий

уровень риска. Третий вариант поступления тяжелых металлов из почвы в организм человека – кожная экспозиция, рассчитанный по формуле 4 – дает значения индекса канцерогенного риска близкие к нулю.

$$DAD = (DAe \times EF \times ED \times EV \times SA) / (BW \times AT \times 365) \quad (6)$$

где, DAD – среднесуточное значение кожной дозы, мг/(кгхдень), DAe – полученная доза за одно событие, мг/см², EF – частота воздействия, принимаемая равная 350, ED – продолжительность воздействия 30 лет, EV – количество воздействий в день, SA – среднее значение площади поверхности кожи, см², BW – средняя масса тела взрослого человека – 70 кг., AT – период усреднения, равный 350 дням для канцерогенов.

Обсуждение результатов

Таким образом, общий уровень канцерогенного риска для территории г. Владикавказа за счёт поступления в организм человека тяжелых металлов из почвы, значительно превышает безопасные значения. При этом общий риск представляет собой интегральный показатель отдельных значений риска для различных способов поступления тяжелых металлов [Руководство..., 2004]. Но, учитывая, что уровень риска для ингаляционного поступления значительно превышает уровни риска для перорального и кожной экспозиции почвы, в качестве итоговым карт можно рассматривать карты индекса канцерогенного риска для ингаляционного поступления тяжелых металлов. При этом пероральный способ также значительно превосходит кожную экспозицию.

Согласно построенным картам, по всем исследуемым показателям, за исключением ртути, наблюдается значительное превышение предельно допустимых значений. Полученные данные согласуются с высоким уровнем онкологической заболеваемости на территории города, что говорит о тесной взаимосвязи заболеваемости и индекса канцерогенного риска.

Выводы

- В настоящее время наибольшему загрязнению территории тяжелыми металлами подвергается столица республики – город Владикавказ, где расположены основные предприятия-загрязнители и находится наибольшее количество автотранспорта.
- Отобран материал по заболеваемости населения злокачественными образованиями в различных районах г. Владикавказа. Для обработки и последующего анализа полученных данных по онкозаболеваемости населения, проживающего в регионе с интенсивной горнодобывающей деятельностью, была создана специальная база данных.
- На территориях, где выше загрязненность окружающей среды тяжелыми металлами, выше уровень онкозаболеваемости населения. Установлено, что чем ближе к промышленным предприятиям цветной металлургии г. Владикавказа и соответствующим ореолам загрязненностью почвы тяжелыми металлами расположены места проживания населения, тем выше их онкологическая заболеваемость.
- Изучены различные методы интерполяции данных, имеющих пространственную привязку. Учитывая, что рассмотренные в настоящем исследовании методы интерполяции приводят к практически идентичным результатам, в качестве метода интерполяции нами был выбран метод обратных взвешенных расстояний (IDW)

- По имеющимся данным был рассчитан индекс и построены карты канцерогенного риска населения при воздействии свинца, цинка, кадмия, меди и ртути (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni, Hg), показавших, за исключением ртути, многократное превышение предельно допустимых значений.
- Полученные данные согласуются с высоким уровнем онкологической заболеваемости на территории города, что говорит о тесной взаимосвязи заболеваемости и индекса канцерогенного риска.

Литература

1. Алборов И.Д., Заалишвили В.Б. Влияние ветрового режима и давления атмосферного воздуха на надежность вентиляции рудников и организм человека. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 148–159. DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012148-159
2. Бекузарова С.А., Тебиева Д.И., Бекмурзов А.Д., Кебалова Л.А., Корбесова К.В. Фиторемедиация токсичности воздуха автомобильных дорог. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №2. – С. 127–136. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.65.009
3. Бериев О.Г., Заалишвили В.Б. Состояние загрязнения атмосферы и заболеваемость населения города Владикавказа. // Геология и геофизика Юга России. – 2015. – №4. – С. 47–56.
4. Бериев О.Г., Заалишвили В.Б., Бурдзиева О.Г., Закс Т.В., Кануков А.С. Онкозаболеваемость населения г. Владикавказа и его взаимосвязь с различными факторами. // Геология и геофизика Юга России. – 2013. – №3. – С. 29–38.
5. Джгамадзе А.К., Гогичев Р.Р. Гидрогеохимические особенности Северо-Осетинского артезианского бассейна. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №2. – С. 56–70. DOI: 10.46698/VNC.2020.45.55.004
6. Иванов А.В., Стриженов А.В., Супрун И.К. Вопросы оценки эффективности внедряемых пылезащитных экранов на этапе проектирования. // Геология и геофизика Юга России. – 2020. – Т. 10. №3. – С. 139–152. DOI: 10.46698/VNC.2020.37.81.009
7. Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду. – М: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 143 с.
8. 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. – Т. 11. №1. – С. 121–133.
9. Aguilar, F.J., Agüera, F., Aguilar, M.A., Carvajal, F. Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy. // Photogramm. Eng. Rem. S. – 2005. – Vol. 71. – pp. 805–816.
10. Amini, M., Afyuni, M., Khademi, H., Abbaspour, K.C., Schulin, R. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. // Sci. Total Environ. – 2005. – Vol. 347. – pp. 64–77.
11. Borshevsky S.V., Kachurin N.M., Burdzieva O.G., Golik V.I. Prospects for extraction of metals from mine waste water. // Sustainable Development of Mountain Territories. – 2017. – Vol. 9. No.1. – pp. 81–91.
12. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. // International Journal of Geomate. – 2016. – Vol. 10. No.1. – pp. 1693–1697
13. Chen T.B., Wong J.W.C., Zhou H.Y., Wong M.H. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. // Environ. Pollut. – 1997. – Vol. 96. – pp. 61–68.
14. Cheng J.-L., Shi Z., Zhu Y.-W. Assessment and mapping of environmental quality in agricultural soils of Zhejiang Province, China. // J. Environ. Sci. China. – 2007. – Vol. 19. – pp. 50–54.

15. Gotway C.A., Ferguson R.B., Hergert G.W., Peterson T.A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. // *Soil Sci. Soc. Am.* – 1996. – J. 60. – pp. 1237–1247.
16. Hu K.-L., Zhang F.-R., Li H., Huang F., Li B.-G. Spatial patterns of soil heavy metals in urban–rural transition zone of Beijing. // *Pedosphere.* – 2006. – Vol. 16. – pp. 690–698.
17. Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). // *Environ. Pollut.* – 2003. – Vol. 124. – pp. 247–256.
18. Journel A., Kyriakidis P., Mao S. Correcting the smoothing effect of estimators: a spectral postprocessor. // *Math. Geol.* – 2000. – Vol. 32. – pp. 787–813.
19. Kishné A.S., Bringmark E., Bringmark L., Alriksson A. Comparison of ordinary and lognormal kriging on skewed data of total cadmium in forest soils of Sweden. // *Environ. Monit. Assess.* – 2003. – Vol. 84. – pp. 243–263.
20. Lee C.S.-I., Li X., Shi W., Cheung S.C.-N., Thornton I. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. // *Sci. Total. Environ.* – 2006. – Vol. 356. – pp. 45–61.
21. McGrath D., Zhang C., Carton O.T., Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. // *Environ. Pollut.* – 2004. – Vol. 127. – pp. 239–248.
22. Mitasova H., Mitas L. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. // *Math. Geol.* – 1993. – Vol. 25. – pp. 641–655.
23. Panagopoulos T., Jesus J., Antunes M.D.C., Beltrão J. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. // *Eur. J. Agron.* – 2006. – Vol. 24. – pp. 1–10.
24. Senesil G.S., Baldassarre G., Senesi N., Radina B. Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. // *Chemosphere.* – 1999. – Vol. 39. – pp. 343–377.
25. Shepard D. A Two-dimensional Interpolation Function for Irregularly-spaced Data. // ACM New York, NY, USA. – 1968.
26. Shi W., Liu J., Du Z., Song Y., Chen C., Yue T. Surface modelling of soil pH. // *Geoderma.* – 2009. – Vol. 150. – pp. 113–119.
27. Webster R., Oliver M.A. (Eds.) *Geostatistics for Environmental Scientists*, second ed. // Wiley. – 2007.
28. Yasrebi J., Saffari M., Fathi H., Karimian N., Moazallahi M., Gazni R. Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some soil chemical parameters. // *Res. J. Biol. Sci.* – 2009. – No.4. – pp. 93–102.
29. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Melkov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of northern Caucasus. // *Izvestiya. Physics of the Solid Earth.* – 2014. – Vol. 50. No.2. – pp. 263–272.
30. Zhang C., Tang Y., Luo L., Xu W. Outlier identification and visualization for Pb concentrations in urban soils and its implications for identification of potential contaminated land. // *Environ. Pollut.* – 2009. – Vol. 157. – pp. 3083–3090.

References:

1. Alborov I.D., Zaalishvili V.B. Influence of wind conditions and pressure the influence of atmospheric air on the reliability of mine ventilation and the human body. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2021. Vol. 11. No.3. pp. 148–159. DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012148–159. (in Russ.)
2. Bekuzarova S.A., Tebieva D.I., Bekmurzov A.D., Kebalova L.A., Korbesova K.V. Phytoremediation of air toxicity of roads. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2020. Vol. 10. No.2. pp. 127–136. DOI: 10.46698/VNC.2020.47.65.009 (in Russ.)
3. Beriev O.G., Zaalishvili V.B. State of atmospheric pollution and morbidity of the

population of Vladikavkaz city. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2015. No.4. pp. 47-56. (in Russ.)

4. Beriev O.G., Zaalishvili V.B., Burdzieva O.G., Zaks T.V., Kanukov A.S. Oncology disease rate of Vladikavkaz city population and its interrelation with various factors. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2013. No.3. pp. 29-38. (in Russ.)

5. Dzhgamadze A.K., Gogichev R.R. Hydrogeochemical features of the North Ossetian artesian basin. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2020. Vol. 10. No.1. pp. C. 56-70. DOI: 10.46698/VNC.2020.45.55.004 (in Russ.)

6. Ivanov A.V., Strizhenok A.V., Suprun I.K. Issues of evaluating the effectiveness of the introduced dust screens at the design stage. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2020. Vol. 10. No.3. pp. 139-152. DOI: 10.46698/VNC.2020.37.81.009 (in Russ.)

7. Guidelines for assessing the risk to public health when exposed to chemicals that pollute the environment. Moscow. Federal Center for State Sanitary and Epidemiological Supervision of the Ministry of Health of Russia, 2004. 143 p. (In Russ.)

8. 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. *Geology and Geophysics of Russian South*. 2021. Vol. 11. No.1. pp. 121-133. DOI: 10.46698/VNC.2021.40.95.010. (In Russ.)

9. Aguilar F.J., Agueria F., Aguilar M.A., Carvajal F. Effects of terrain morphology, sampling density, and interpolation methods on grid DEM accuracy. *Photogramm. Eng. Rem. S.* 2005. 71, pp. 805–816.

10. Amini M., Afyuni M., Khademi H., Abbaspour K.C., Schulin R. Mapping risk of cadmium and lead contamination to human health in soils of Central Iran. *Sci. Total Environ.* 2005. 347, pp. 64–77.

11. Borshevsky S.V., Kachurin N.M., Burdzieva O.G., Golik V.I. Prospects for extraction of metals from mine waste water. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2017. Vol. 9. No. 1. pp. 81–91.

12. Burdzieva O.G., Zaalishvili V.B., Beriev O.G., Kanukov A.S., Maisuradze M.V. Mining impact on environment on the North Ossetian territory. *International Journal of Geomate*. 2016. Vol. 10. No. 1. pp. 1693–1697

13. Chen T.B., Wong J.W.C., Zhou H.Y., Wong M.H. Assessment of trace metal distribution and contamination in surface soils of Hong Kong. *Environ. Pollut.* 1997. 96, pp. 61–68.

14. Cheng J.-L., Shi Z., Zhu Y.-W. Assessment and mapping of environmental quality in agricultural soils of Zhejiang Province, China. *J. Environ. Sci. China* 2007. 19, pp. 50–54.

15. Gotway C.A., Ferguson R.B., Hergert G.W., Peterson T.A. Comparison of kriging and inverse-distance methods for mapping soil parameters. *Soil Sci. Soc. Am.* 1996. J. 60, pp. 1237–1247.

16. Hu K.-L., Zhang F.-R., Li, H., Huang F., Li, B.-G. Spatial patterns of soil heavy metals in urban–rural transition zone of Beijing. *Pedosphere* 2006. 16, pp. 690–698.

17. Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P. Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy). *Environ. Pollut.* 2003. 124, pp. 247–256.

18. Journel A., Kyriakidis P., Mao S. Correcting the smoothing effect of estimators: a spectral postprocessor. *Math. Geol.* 2000. 32, pp. 787–813.

19. Kishné A.S., Bringmark E., Bringmark L., Alriksson A. Comparison of ordinary and lognormal kriging on skewed data of total cadmium in forest soils of Sweden. *Environ. Monit. Assess.* 2003. 84, 243–263.

20. Lee C.S.-l., Li X., Shi W., Cheung S.C.-N., Thornton I. Metal contamination in urban, suburban, and country park soils of Hong Kong: a study based on GIS and multivariate statistics. *Sci. Total. Environ.* 2006. 356, pp. 45–61.

21. McGrath D., Zhang C., Carton O.T. Geostatistical analyses and hazard assessment on soil lead in Silvermines area, Ireland. *Environ. Pollut.* 2004. 127, pp. 239–248.

22. Mitsova, H., Mitso, L. Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. *Math. Geol.* 1993.25, pp. 641–655.
23. Panagopoulos T., Jesus J., Antunes M.D.C., Beltrão J. Analysis of spatial interpolation for optimising management of a salinized field cultivated with lettuce. *Eur. J. Agron.* 2006. 24, pp. 1–10.
24. Senesil G.S., Baldassarre G., Senesi N., Radina B. Trace element inputs into soils by anthropogenic activities and implications for human health. *Chemosphere* 1999. 39, pp. 343–377.
25. Shepard D.A. Two-dimensional Interpolation Function for Irregularly-spaced Data. ACM New York, NY, USA. 1968.
26. Shi W., Liu J., Du Z., Song Y., Chen C., Yue T. Surface modelling of soil pH. *Geoderma* 2009. 150, pp. 113–119.
27. Webster R., Oliver M.A. (Eds.) *Geostatistics for Environmental Scientists*, second ed. Wiley. 2007.
28. Yasrebi J., Saffari M., Fathi H., Karimian N., Moazallahi M., Gazni R. Evaluation and comparison of ordinary kriging and inverse distance weighting methods for prediction of spatial variability of some soil chemical parameters. *Res. J. Biol. Sci.* 2009. 4, pp. 93–102.
29. Zaalishvili V.B., Nevskaya N.I., Melkov D.A. Instrumental geophysical monitoring in the territory of northern Caucasus. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth.* 2014. Vol. 50. No. 2. pp. 263–272.
30. Zhang C., Tang Y., Luo L., Xu W. Outlier identification and visualization for Pb concentrations in urban soils and its implications for identification of potential contaminated land. *Environ. Pollut.* 2009. 157, pp. 3083–3090.

ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 551.578.7

DOI: [10.46698/VNC.2021.16.85.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.16.85.013)

Оригинальная статья

О возможности использования выходной продукции глобальной модели атмосферы GFS NCEP в экологических исследованиях

М.Ч. Залиханов^{id}, А.Х. Кагермазов^{id}, Л.Т. Созаева^{id}, К.М. Беккиев^{id}ФГБУ «Высокогорный геофизический институт», Россия, 360030,
г. Нальчик, пр. Ленина, 2, e-mail: ljk_62@rambler.ru

Статья поступила: 11.10.2021, после рецензирования: 30.11.2021, принята к публикации: 05.12.2021

Резюме: Проведена оценка степени совпадения прогностических значений стратификации атмосферы с нарастающей заблаговременностью 24 часа, полученных из глобальной модели атмосферы GFS NCEP (Global Forecast System National Centers for Environmental Prediction) с фактическими данными аэрологического зондирования на основе корреляционного анализа. **Актуальность работы** заключается в том, что в настоящее время количество опасных природных явлений продолжает увеличиваться, в том числе и загрязнение атмосферы примесями, приводящими к глобальному потеплению. При прогнозировании опасных явлений для экологии входными данными являются значения полей метеопараметров по фактическим данным аэрологического зондирования атмосферы. Такие данные доступны только на отдельных метеостанциях, расположенных достаточно далеко друг от друга, что усложняет проведение исследований. Между тем инструменты для анализа и оценки распространения и рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере в настоящее время получили значительное развитие. Сдерживающим фактором их более широкого применения заинтересованными структурами по прогнозированию качества воздуха, аварийно-спасательными службами, представителями авиации, государственными учреждениями и сообществом исследователей атмосферы является недостаток информации о текущем состоянии атмосферы, а также получение прогностических метеопараметров. Для решения этой проблемы предлагаются использовать данные глобальной модели атмосферы GFS NCEP. **Целью исследования** является определить правомерность замены фактических данных аэрологического зондирования атмосферы на прогностические поля стратифицированных метеопараметров из глобальной модели атмосферы. **Методом исследования** является один из методов статистического анализа данных – корреляционный анализ. **В результате исследований** получено, что коэффициенты корреляции между прогностическими и фактическими значениями температуры воздуха, температуры точки росы, скорости и направления ветра имеют высокие значения. Это делает возможными использование данных глобальной модели при математическом моделировании распространения загрязнения в атмосфере, а также прогнозе опасных стихийных явлений, таких как паводок, сильный ливень, град, сель, приводящих к нарушению природных экологических систем.

Ключевые слова: глобальная модель атмосферы, аэрологическое зондирование, заблаговременность, метеорологические параметры, коэффициент корреляции, загрязнение атмосферы.

Для цитирования: Залиханов М.Ч., Кагермазов А.Х., Созаева Л.Т., Беккиев К.М. О возможности использования выходной продукции глобальной модели атмосферы GFS NCEP в экологических исследованиях. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 161-169. DOI: 10.46698/VNC.2021.16.85.013.

[DOI: 10.46698/VNC.2021.16.85.013](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.16.85.013)

Original paper

About the possibility of using the output data of the global atmosphere model GFS NCEP in ecological research

M.Ch. Zalikhanov^{id}, A.Kh. Kagermazov^{id}, L.T. Sozaeva^{id}, K.M. Bekkiev^{id}High-Mountain Geophysical Institute, 2 Lenin Ave, Nalchik 360030, Russian Federation,
e-mail: ljk_62@rambler.ru

Received: 11.11.2021, revised: 30.11.2021, accepted: 05.12.2021

Abstract: The degree of matching of the predictive values of atmosphere stratification with an increasing lead time of 24 hours obtained from the global atmosphere model GFS NCEP (Global Forecast System National Centers for Environmental Prediction) and the actual data of aerological sounding based on correlation analysis was assessed. **The relevance of the work** lies in the fact that at present the number of natural hazards continues to increase, including atmospheric pollution with impurities leading to global warming. When predicting dangerous phenomena for the environment, the input data are the values of the fields of meteorological parameters based on the actual data of the aerological sounding of the atmosphere. Such data is available only at individual weather stations located far enough apart from each other, which complicates the research. Meanwhile, tools for analyzing and assessing the spread and dispersion of pollutants in the atmosphere have now received significant development. A limiting factor in their wider use by interested structures for predicting air quality, emergency services, aviation representatives, government agencies and the community of atmosphere researchers is the lack of information about the current state of the atmosphere, as well as obtaining predictive meteorological parameters. To solve this problem, data from the global atmosphere model GFS NCEP are proposed. **The aim of the study** is to determine the validity of replacing the actual data of the aerological sounding of the atmosphere with the predictive fields of stratified meteorological parameters from the global atmosphere model. **The research method** is correlation analysis, one of the methods of statistical data analysis. **As a result of the research**, it was found that the correlation coefficients between the predictive and actual values of air temperature, dew point temperature, wind speed and direction have high values. This makes it possible to use the data of the global model in mathematical modeling of atmospheric pollution, as well as the forecast of dangerous natural phenomena, such as floods, heavy rain, hail, mudslides, leading to disruption of natural ecological systems.

Keywords: global atmosphere model, aerological sounding, lead time, meteorological parameters, correlation coefficient, atmospheric pollution.

For citation: Zalikhanov M.Ch., Kagermazov A.Kh., Sozaeva L.T., Bekkiev K.M. About the possibility of using the output data of the global atmosphere model GFS NCEP in ecological research. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 161-169. DOI: 10.46698/VNC.2021.16.85.013.

Введение

Решению экологических проблем, в последнее время уделяется большое внимание как в мировом, так и на уровне государств, регионов, городов, вплоть до отдельных предприятий.

Специалисты по прогнозированию качества воздуха, аварийно-спасательные службы, представители авиации, государственные учреждения и сообщество исследователей атмосферы относятся к числу тех, кому требуется доступ к инстру-

ментам для анализа и прогнозирования переноса и рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере.

Типичные пользовательские приложения включают моделирование выбросов опасных загрязняющих веществ и вулканического пепла, прогнозирование перемещения дыма от лесных пожаров, от сжигания мусора, аварий на предприятиях с опасным производством.

Получить быстрый доступ пользователю к прогностическим метеорологическим данным, в частности, к данным о стратификации атмосферы, независимо от местоположения позволяет глобальная модель атмосферы GFS NCEP Национального центра экологических прогнозов. Стратификация атмосферы предоставляет информацию об общей стабильности атмосферы, направлению и скорости ветра по высоте, определяющие перемещение загрязненного воздуха, а также о расположении температурных инверсий по высоте, которые препятствуют вертикальному перемешиванию загрязняющих веществ. Инверсии увеличивают концентрацию вредных загрязняющих веществ в воздухе, опасных для здоровья человека.

Целью данного исследования является оценка возможности использования данных о прогностических полях стратификации атмосферы по выходной продукции глобальной модели GFS с заблаговременностью до 24 часов взамен данных фактического аэрологического зондирования. Для достижения поставленной цели оценивается степень совпадения фактической и прогностической информации за одни и те же даты и по одним и тем же географическим координатам методом корреляционного анализа.

Материалы и методы исследований

Материалами данного исследования являются следующие поля метеорологических элементов: изобарические уровни (мб), высоты атмосферы (м), температура воздуха (°C), температуры точки росы (°C), скорости ветра (м/с) и направления скорости ветра (град).

Данные фактического зондирования атмосферы снимаются по метеостанции «Минеральные воды», расположенной в Центральной части Северного Кавказа. Зондирование атмосферы проводится два раза в сутки: в 9 и 12 часов (<https://www.ncei.noaa.gov/products/weather-balloon/integrated-global-radiosonde-archive>).

Для сопоставления используется выходная продукция глобальной системы прогнозирования GFS, разработанной национальным центром экологического прогнозирования NCEP [Kalnay et al., 1990; Kanamitsu, 1989; Kanamitsu et al., 1991]. Отличительной особенностью GFS является то, что она состоит из модели атмосферы, океана, суши и морского льда. Кроме того, она постоянно развивается и улучшается с целью повышения эффективности и точности прогнозов. В июне 2019 года глобальная система прогнозирования NOAA (GFS) была значительно обновлена. Был осуществлен переход на новый, неспектральный блок решения уравнений динамики (FV3), а также введен ряд усовершенствований в описании физических процессов подсеточного масштаба. Модели, использующие FV3, имеют возможность телескопировать масштаб расчетной сетки для обчета мезомасштабных штормовых систем для улучшения их прогноза. В настоящее время (по состоянию на 2021 год) горизонтальное разрешение составляет около 13 км для прогнозов с заблаговременностью до 10 дней и 34 км с заблаговременностью от 10 до 16 дней (<http://www.emc.ncep.noaa.gov>). Эти поля рассчитываются для изобарических поверхностей от уровня Земли до высоты 100 мб (рис. 1).

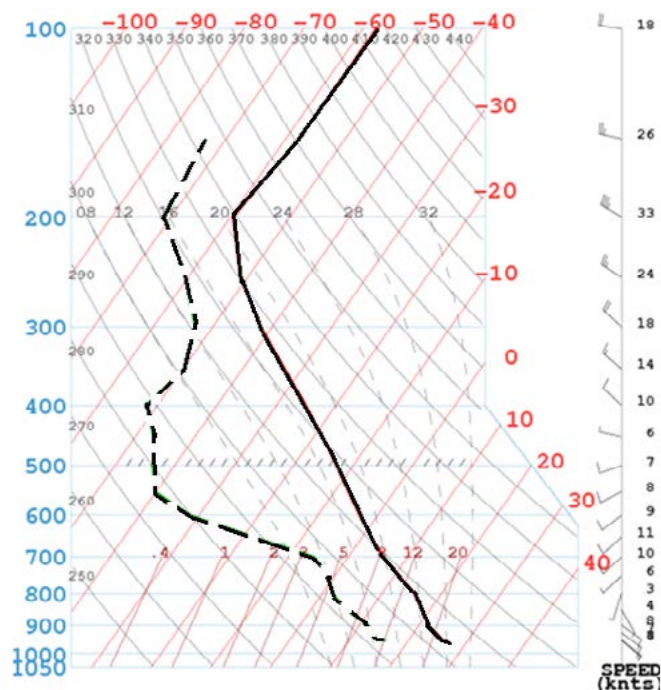


Рис. 1. Графическое представление выходных данных о стратификации атмосферы по глобальной модели атмосферы GFS: сплошная кривая – температура воздуха, пунктирная кривая – температура точки росы /

Fig. 1. Graphical representation of the output data on the atmosphere stratification according to the global atmosphere model GFS: solid curve – air temperature, dotted curve – dew point temperature

Информация выдается в оперативном режиме по исходным срокам 0, 6, 12, 18 часов ВСВ (Всемирное скоординированное время) и обновляется через каждые 6 часов. Дискретность по времени составляет 3 часа для заблаговременности прогноза 0–180 часов и 12 часов для заблаговременности 180–384 часа.

Для проведения данного исследования были созданы два набора данных по температуре воздуха, температуре точки росы, скорости и направлению ветра на различных изобарических уровнях. Первый набор состоял из прогностических значений параметров атмосферы по выходной продукции глобальной модели атмосферы для срока 24 часа, второй набор – соответствующие фактические значения параметров атмосферы по результатам аэрологического зондирования.

На втором этапе оценивается близость значений данных полей метеорологических параметров для двух наборов данных по коэффициенту корреляции. Инструментом исследования служит статистический программный продукт «SPSS».

Результаты исследований и их обсуждение

В исследования были включены даты за период с мая по август 2020 года. В этот период наблюдались опасные метеорологические явления, связанные с конвекцией.

По двум, выше отмеченным, наборам данных метеорологические параметры выбирались на стандартных изобарических уровнях, равных 1000, 900, 850, 800, 700, 600, 500, 400 и 300 мб. Изобарический уровень зем соответствует уровню у земли, примерно 1000 мб. Заблаговременность составляла 24 часа.

Для визуализации были построены графики фактических и прогностических значений данных полей метеоэлементов на уровнях 700 и 400 мб, на которых наглядно просматривается хорошее совпадение. Кривые для температуры воздуха, в качестве примера, приведены на рисунке 2.

Далее рассчитывались коэффициенты корреляции между фактическими и прогнозными значениями данных полей метеорологических параметров на выделенных изобарических уровнях (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что по шкале Чеддока температура воздуха имеет наиболее высокие коэффициенты корреляции (степень связи между фактическими и прогнозными значениям очень высокая). Даже такой изменчивый и трудно прогнозируемый, но вместе с тем важный параметр, как температура точки росы (влажность) имеет коэффициент корреляции между прогностическими и фактическими данными более 0,7, что соответствует высокой корреляционной связи. У поверхности земли этот параметр имеет коэффициент корреляции (0,87).

Для температуры и скорости ветра степень совпадения прогностических и фактических данных высокая по коэффициенту корреляции.

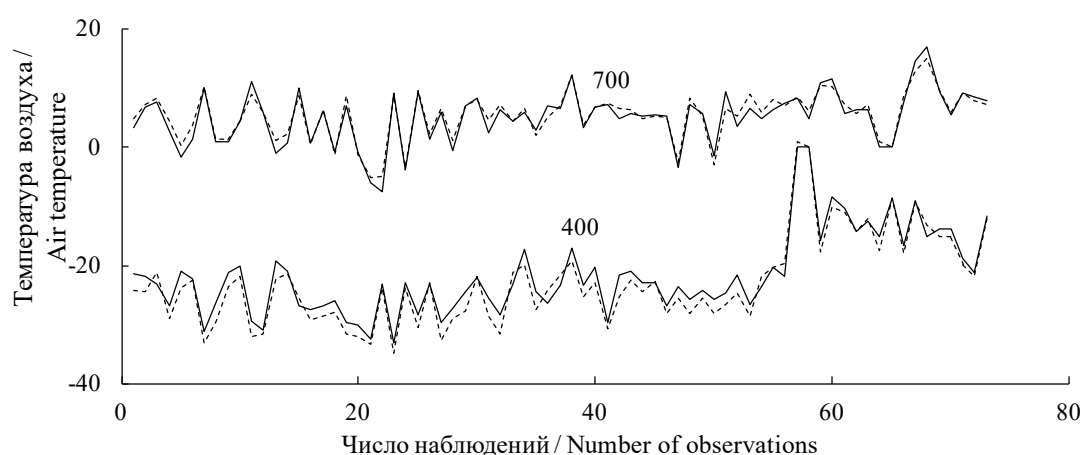


Рис. 2. Значения температуры воздуха на изобарических уровнях 700 мб и 400 мб: сплошные линии – фактические данные, пунктирные линии – прогностические данные /

Fig. 2. Air temperature values at isobaric levels 700 mb and 400 mb: solid lines – actual data, dotted lines – predictive data

Таблица 1 / Table 1

Коэффициенты корреляции между фактическими и прогностическими значениями метеорологических параметров атмосферы /

Correlation coefficients between actual and predictive values of meteorological parameters of the atmosphere

Изобарические уровни, мб / Isobaric levels, mb	Коэффициенты корреляции / Indices of correlation			
	Температура воздуха / Atmospheric temperature	Температура точки росы / Dewpoint temperature	Направление ветра / Wind direction	Скорость ветра / Wind speed
1000 (zem)	0,93	0,87	0,90	0,82
850	0,96	0,90	0,88	0,90
800	0,95	0,83	0,94	0,89
700	0,97	0,88	0,91	0,90
600	0,94	0,87	0,92	0,90
500	0,93	0,87	0,96	0,95
400	0,93	0,83	0,97	0,97
300	0,93	0,71	0,97	0,98
1000 (zem)	0,93	0,87	0,90	0,82

Таким образом, коэффициенты корреляции показывают, что исследуемая глобальная модель атмосферы прогнозирует значения полей метеопараметров с высокой точностью, что позволяет их использовать при математическом моделировании распространения примесей в атмосфере [Svalova et al., 2019; Sharovalov, 2018; Алборов, Заалишвили, 2021; Алоян и др., 2005; Керимов и др., 2007; Рязанов и др., 2016; Рязанов, 2017, Марчук, 1982; Геккиева, 2020], при прогнозировании таких опасных явлений как град [Кагермазов и др., 2021; Dzombak, 2021; Raupach et al., 2021], паводки [Kagermazov et al., 2017], сели [Сейнова и др., 2018; Докукин и др., 2020; Сейнова и др., 2010; Мальнева и др., 2019; Leinss et al., 2021], а также разработке экологической и инженерно-изыскательной документации [Временные рекомендации..., 2019].

Выводы

Полученные результаты свидетельствуют о высоком качестве выходной продукции современных глобальных моделей атмосферы и возможности использования прогностической информации этих моделей вместо фактической информации о состоянии атмосферы, где прямые измерения не проводятся.

Показано, что использование выходных данных таких моделей для решения разного круга прогностических задач метеорологии и экологии вполне оправдано и имеет хорошие перспективы.

Литература

1. Алборов И.Д., Заалишвили В.Б. Влияние ветрового режима и давления атмосферного воздуха на надежность вентиляции рудников и организм человека. // Геология и геофизика Юга России. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 148–159. DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012.
2. Алоян А.Е., Пененко В.В., Козодеров В.В. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. // В кн.: Современные проблемы вычислительной математики и математического моделирования. – М.: Наука, 2005. – Т. 2.- С. 279-351.
3. Временные рекомендации. Фоновые концентрации вредных (загрязняющих) веществ для городских и сельских поселений, где отсутствуют регулярные наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха на период 2019-2023 гг. – СПб. – 2019. – 7 с.
4. Геккиева С.О. Влияние метеорологических условий на загрязнение атмосферы г. Нальчика. // Фундаментальные и прикладные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: международная научно-практическая конференция (Уфа, 27 декабря 2020 г.). – Уфа: ООО «Омега Сайнс», 2020. – С. 86-94.
5. Докукин М.Д., Беккиев М.Ю., Калов Р.Х., Савернюк Е.А., Черноморец С.С. Каменные глетчеры – очаги формирования катастрофических селей. // ГеоРиск. – 2020. – Т. 14, № 2. – С. 52-65.
6. Кагермазов А.Х., Федченко А.Х., Созаева Л.Т., Жабоева М.М. Среднесрочный прогноз града по выходным данным глобальной модели атмосферы. // Наука. Инновации. Технологии. – 2021. – №2. – С. 91–106.
7. Керимов А.М., Шаповалов В.А., Корчагина Е.А. Исследование распространения атмосферных примесей для климатических условий и рельефа Кабардино-Балкарии. // Моделирование устойчивого регионального развития: материалы второй международной конференции (Нальчик, 14-18 мая 2007 г.). – Нальчик: Издательство КБНЦ РАН, 2007. – С. 47-51.
8. Мальнева И.В., Докукин М.Д., Анаев М.А., Хаджиев М.М. Особенности погоды летом 2019 г. на Северном Кавказе и проявление опасных геологических процессов. // Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации: материалы Пятнадцатой Общероссийской научно-практической конференции изыскатель-

ских организаций. (Москва, 26–29 ноября 2019 г.). – М.: Геомаркетинг, 2019. – С. 189-197.

9. Марчук Г.И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды. – М.: Наука, 1982. – 319 с.

10. Рязанов В.И., Шаповалов А.В., Шаповалов В.А. Трехмерная численная модель распространения примесей в атмосфере с детальным учетом локальных метеорологических параметров. // Естественные и технические науки. – 2016. – №10 (100). – С. 27 – 34.

11. Рязанов, В.И. Математическое моделирование распространения примесей в атмосфере от выбросов ракетных жидкостных двигателей на основе трехмерной модели и некоторые результаты расчетов. // Современный научный вестник. – 2017. – Т. 9, № 2. – С. 25 – 33

12. Сейнова И.Б., Андреев Ю.Б., Крыленко И.Н., Богаченко Е.М., Феоктистова Е.Г. Опыт прогнозирования селей в условиях деградации оледенения на Центральном Кавказе. // Геориск. – 2018. – Т. 12. №4. – С. 26–37.

13. Сейнова И.Б., Черноморец С.С., Тутубалина О.В., Баринов А.Ю., Соколов И.А. Условия формирования селевых потоков в районах активного вулканизма (на примере вулканов Ключевской и Шивелуч, Камчатка). Часть 1. // Криосфера Земли. – 2010. – Т. 14, №2. – С. 29-45.

14. Dzombak B. Severe hailstorms are costly and hard to predict. // Eos. – 2021. – No.102. <https://doi.org/10.1029/2021EO158268>

15. Kagermazov A.Kh., Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Shapovalov A.V., Sozayeva L.T. Forecasting the floods caused by strong atmospheric convection using output data of global atmospheric model (GFS) for ER South. // International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR). – 2017. – Vol. 8. Issue 4. – pp. 1542-1549.

16. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E. Global numerical weather prediction at the National Meteorological. // Center. Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1990. – No.71. – pp.1410-1428.

17. Kanamitsu M. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. // Wea. and Forecasting. – 1989. – No.4. – pp. 335-342.

18. Kanamitsu M., Alpert J.C., Campana K.A. et al. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. // Weather and Forecasting. – 1991. – Vol. 6. – pp. 425–435.

19. Leinss S., Bernardini E., Jacquemart M., Dokukin M. Glacier detachments and rock-ice avalanches in the petra pervogo range, Tajikistan (1973-2019), // Natural Hazards and Earth System Science. – 2021. – Vol. 21. No.5.- pp. 1409-1429.

20. Raupach, T.H., Martius, O., Allen, J.T. et al. The effects of climate change on hailstorms. // Nat Rev Earth Environ. – 2021. – No.2. – pp. 213–226. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>

21. Shapovalov V.A. Propagation of multicomponent admixture in the atmosphere in the mountain-steppe zone. // Materials Science Forum. – 2018. – Vol. 931. – pp. 1013–1018. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.1013

22. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Ginzburg A.A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India. // Geology and Geophysics of Russian South. – 2019. – Vol. 9. No.4. – pp. 87-101. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44491.

References

1. Alborov I.D., Zaalishvili V.B. Influence of wind conditions and pressure the influence of atmospheric air on the reliability of mine ventilation and the human body. Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11. No.3. pp. 148–159. DOI: 10.46698/VNC.2021.17.27.012 (in Russ.).

2. Aloyan A.E., Penenko V.V., Kozoderov V.V. Mathematical modeling in the problem of the environment. In the book. Modern problems of computational mathematics and mathematical modeling. Moscow. Nauka, 2005. Vol. 2. pp. 279-351. (In Russ.)

3. Temporary recommendations. Background concentrations of harmful (polluting)

substances for urban and rural settlements, where there are no regular observations of air pollution for the period 2019-2023. SPb. 2019. 7 p. (In Russ.)

4. Gekkieva S.O. Influence of meteorological conditions on air pollution in Nalchik. Fundamental and applied scientific research: topical issues, achievements and innovations: an international scientific and practical conference (Ufa, December 27, 2020). Ufa: ООО «Omega Sains», 2020. pp. 86-94. (In Russ.)

5. Dokukin M.D., Bekkiev M.YU., Kalov R.KH., Savernyuk E.A., Chernomorets S.S. Rock glaciers as origination sites of the catastrophic debris flows. *Georisk*. 2020. Vol. 14. No.2. pp. 52-65. (In Russ.)

6. Kagermazov A.Kh., Fedchenko L.M., Sozaeva L.T., Zhaboeva M.M. Medium-range hail forecast on global atmospheric model output data. *Nauka. Innovatsii. Tekhnologii*. 2021. No.2. pp. 91-106. (In Russ.)

7. Kerimov A.M., Shapovalov V.A., Korchagina E.A. Study of the distribution of atmospheric impurities for climatic conditions and relief of Kabardino-Balkaria. Modeling of sustainable regional development: materials of the second international conference (Nalchik, May 14-18, 2007). Nalchik. KBNTS RAN, 2007. pp. 47-51. (In Russ.)

8. Malneva I.V., Dokukin M.D., Anaev M.A., Khadzhiev M.M. Features of the weather in the summer of 2019 in the North Caucasus and the manifestation of dangerous geological processes. Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation: materials of the Fifteenth All-Russian Scientific and Practical Conference of Survey Organizations. (Moscow, November 26-29, 2019). – Moscow. Geomarketing, 2019. pp. 189-197. (In Russ.)

9. Marchuk G.I. Mathematical modeling in the problem of the environment. Moscow. Nauka, 1982. 319 p. (In Russ.)

10. Ryazanov V.I., Shapovalov A.V., Shapovalov V.A. Three-dimensional numerical model of impurity distribution in the atmosphere with detailed consideration of local meteorological parameters. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki*. 2016. No.10 (100). pp. 27-34. (In Russ.)

11. Ryazanov V.I. Mathematical modeling of the propagation of impurities in the atmosphere from the emissions of liquid rocket engines based on a three-dimensional model and some calculation results. *Sovremennyy nauchnyy vestnik*. 2017. Vol. 9. No.2. pp. 25-33. (In Russ.)

12. Seynova I.B., Andreev Yu.B., Krylenko I.N., Bogachenko E.M., Feoktistova E.G. Experience in forecasting mudflows under conditions of degradation of glaciation in the Central Caucasus. *Georisk*. 2018. Vol. 12. No.4. pp. 26-37. (In Russ.)

13. Seynova I.B., Chernomorets S.S., Tutubalina O.V., Barinov A.Yu., Sokolov I.A. Conditions for the formation of mudflows in areas of active volcanism (on the example of the volcanoes Klyuchevskoy and Shiveluch, Kamchatka). Part 1. *Kriosfera Zemli*. 2010. Vol. 14. No.2. pp. 29-45. (In Russ.)

14. Dzombak B. Severe hailstorms are costly and hard to predict. *Eos*. 2021. No.102. <https://doi.org/10.1029/2021EO158268>

15. Kagermazov A.Kh., Ashabokov B.A., Fedchenko L.M., Shapovalov A.V., Sozaeva L.T. Forecasting the floods caused by strong atmospheric convection using output data of global atmospheric model (GFS) for ER South. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research (IJBR)*. 2017. Vol. 8. Issue 4. pp. 1542-1549.

16. Kalnay E., Kanamitsu M., and Baker W.E. Global numerical weather prediction at the National Meteorological Center. *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 1990. No.71. pp.1410-1428.

17. Kanamitsu M. Description of the NMC global data assimilation and forecast system. *Wea. and Forecasting*. 1989. No.4. – pp. 335-342.

18. Kanamitsu M., Alpert J.C., Campana K.A. et al. Recent changes implemented into the global forecast system at NMC. *Weather and Forecasting*. 1991. Vol. 6. pp. 425-435 p.

19. Leinss S., Bernardini E., Jacquemart M., Dokukin M. Glacier detachments and rock-ice avalanches in the petra pervogo range, Tajikistan (1973-2019). *Natural Hazards and Earth System Science*. 2021. Vol. 21. No.5. pp. 140901429.

20. Raupach, T.H., Martius, O., Allen, J.T. et al. The effects of climate change on hailstorms. *Nat Rev Earth Environ.* 2021. No.2. pp. 213-226. <https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9>
21. Shapovalov V.A. Propagation of multicomponent admixture in the atmosphere in the mountain-steppe zone. *Materials Science Forum.* 2018. Vol. 931. pp. 1013-1018. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.931.1013
22. Svalova V.B., Zaalishvili V.B., Ganapathy G.P., Nikolaev A.V., Ginzburg A.A. Complex Environmental Monitoring in Russia and India. *Geology and Geophysics of Russian South.* 2019. Vol. 9. No.4. pp. 87-101. DOI: 10.23671/VNC.2019.4.44491.

УДК 550.4:628.35

DOI: [10.46698/VNC.2021.87.18.014](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.87.18.014)

Оригинальная статья

Анализ биологических методов для очистки карьерных сточных вод от азотных соединений

М.А. Пашкевич^{id}, А.Э. Коротаева^{id}

Санкт-Петербургский горный университет, Россия, 199106, г. Санкт-Петербург,
Васильевский остров, 21 линия, д. 2, e-mail: s205056@stud.spmi.ru

Статья поступила: 24.10.2021, доработана: 22.11.2021, принята к публикации: 01.12.2021

Резюме: Актуальность работы. Деятельность горнодобывающих предприятий неотрывно сопряжена с ведением взрывных работ. В настоящее время наиболее распространенными взрывчатыми веществами являются эмульсионные взрывчатые вещества, граммонины, амоналы, аммониты и другие взрывчатые вещества, содержащие нитрат аммония, который в процессе взрыва переходит в сточные воды в форме нитрат- и нитрит-ионов, а также ионов аммония. Превышение предельно допустимой концентрации азотных соединений в водных объектах может приводить к эвтрофикации. В результате данного процесса происходит нарушение экологического баланса водоемов, а именно увеличение численности различных гидробионтов, уменьшение прозрачности воды и содержания растворенного кислорода. Помимо этого в водоемах осуществляется преобразование нитратной формы азота в нитритную, которая негативно воздействует на нервную и сердечно-сосудистую системы человека при употреблении воды из такого водоема. На данный момент существуют физико-химические, химические и биологические методы очистки вод от азотных соединений. Использование каждого из перечисленных методов обуславливается параметрами карьерных сточных вод и требованиями, предъявляемыми к качеству очистки. **Цель работы.** Целью работы является обзор методов биологической очистки, которые могут применяться для удаления соединений азота из карьерных сточных вод, а также определение наиболее перспективного метода при условии большого объема образования карьерных сточных вод. **Методы исследования.** Методы исследования включают в себя анализ и сравнение биологических методов очистки, которые могут использоваться для удаления азотных соединений из образующихся сточных вод в карьере. **Результаты работы.** Рассмотрены различные виды процессов и систем, включая процесс нитрификации и денитрификации, Апаттох-процесс, фито-очистные системы, биоплато, биопруды и системы микроводорослей. Приведены факторы, влияющие на эффективность работы данных процессов и систем, а также дана сравнительная характеристика с выделением достоинств и недостатков каждого из них. Наиболее предпочтительным методом биологической очистки большого объема образующихся карьерных сточных вод признан метод комплексной очистки по типу constructed wetlands с комплексным применением видов высшей и низшей растительности.

Ключевые слова: биологические методы, очистка сточных вод, азотные соединения, карьерные воды, удаление азота, constructed wetlands.

Для цитирования: Пашкевич М.А., Коротаева А.Э. Анализ биологических методов для очистки карьерных сточных вод от азотных соединений. *Геология и геофизика Юга России*. 2021. 11(4): 170-182. DOI: 10.46698/VNC.2021.87.18.014.

GEOECOLOGY

[DOI: 10.46698/VNC.2021.87.18.014](https://doi.org/10.46698/VNC.2021.87.18.014)

Original paper

Analysis of biological methods for quarry wastewater treatment from nitrogen compounds

M.A. Pashkevich , A.E. Korotaeva 

St. Petersburg Mining University, 27 21st Line, St Petersburg 199106, Russian Federation,
e-mail: s205056@stud.spmi.ru

Received: 24.10.2021, revised: 22.11.2021, accepted: 01.12.2021

Abstract: Relevance. The activities of mining enterprises are inextricably linked with the conduct of blasting operations. Currently, the most common explosives are emulsion explosives, grammonites, amons, ammonites and other explosives containing ammonium nitrate, which, during the blasting process, passes into wastewater in the form of nitrate and nitrite ions, as well as ammonium ions. Exceeding the maximum permissible concentration of nitrogen compounds in water bodies can lead to eutrophication. As a result of this process, there is a violation of the ecological balance of reservoirs, as well as an increase in the number of various hydrobionts, a decrease in the transparency of water and the content of dissolved oxygen. In addition, the nitrate form of nitrogen is converted into nitrite in reservoirs, which negatively affects the nervous and cardiovascular system of a person when drinking water from such a reservoir. At the moment, there are physico-chemical, chemical and biological methods of water treatment from nitrogen. The use of each of these methods is determined by parameters of quarry wastewater and the requirements for treatment quality. **Aim.** The aim of the work is to review the methods of biological purification that are used for nitrogen compounds from quarry wastewater. **Methods.** The research methods include the analysis and comparison of biological treatment methods. **Results.** The factors affecting the efficiency of these processes and systems are presented, as well as these comparative characteristics, highlighting the advantages and disadvantages of each of them. The most preferred biological treatment method of a large volume of formed quarry wastewater is the recognized methods of complex treatment according to the type of constructed wetlands with the complex use of higher and lower plant species.

Keywords: Biological methods, wastewater treatment, nitrogen compounds, quarry water, nitrogen removal, constructed wetlands.

For citation: Pashkevich M.A., Korotaeva A.E. Analysis of biological methods for quarry wastewater treatment from nitrogen compounds. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2021. 11(4): 170-182. DOI: 10.46698/VNC.2021.87.18.014.

Введение

Горнопромышленные предприятия, осуществляющие открытую разработку месторождений, все чаще сталкиваются с проблемой образования больших объемов сточных вод, загрязненных различными биогенными элементами [Patokin et al., 2020; Солнышкова и др., 2017] и тяжелыми металлами [Chukaeva, Matveeva, 2018; Patokin et al., 2020; Черемисина, 2013]. При ведении буровзрывных работ с использованием взрывчатых веществ на основе аммиачной селитры образующиеся сточные воды отличаются повышенным содержанием азотных соединений [Petrov et al., 2019]. Данные соединения поступают в воды в результате растворения при зарядке обводненных скажин или при их вымывании из горных пород, сорбирующих оксиды азота при проведении взрывов [Белин и др., 2018]. Сброс таких вод без очистки

в поверхностные водные объекты ведет к эвтрофикации и влияет на здоровье человека [Реутова и др., 2021].

Азот может быть представлен в водных объектах в виде нитратов, нитритов, аммонийного и органического азота [Dong et al., 2019; Korotaeva, 2020]. В настоящее время задача очистки сточных вод от соединений азота решается с помощью биологических методов. По сравнению с существующими физико-химическими и химическими методами они не приводят к образованию вторичных высококонцентрированных растворов и характеризуются меньшими капитальными и эксплуатационными затратами.

Методы биологической очистки

Процесс нитрификации и денитрификации

Последовательное проведение стадий нитрификации и денитрификации является традиционным способом биологической очистки. На первой стадии первостепенно образуются ионы нитрита, далее ионы нитрита при помощи окисляющих их бактерий переходят в нитратную форму. При этом окисление при концентрации растворенного кислорода более 0,8 мг/л сопровождается образованием нитритов, менее 0,8 мг/л – образованием газообразного азота, нитрита и оксидов азота [Benáková et al., 2018; Ge et al., 2015]. Вторая стадия протекает в анаэробных условиях при помощи денитрифицирующих бактерий с образованием молекулярного азота. Во время данного процесса бактерии используют углерод в качестве питательного вещества для восстановления нитратов и нитритов. Распространенными источниками углерода являются глюкоза, спирты и соли спиртов [Dong et al., 2019; Ge et al., 2015; Студенок и др., 2013].

Значительные объемы сточных вод поступают на очистку в аэротенки. Обязательным условием протекания процессов метаболизма в данных сооружениях является обеспечение вод растворенным кислородом посредством пневматических, механических и смешанного типа устройств [Ветошкин, 2004; Студенок и др., 2013]. Помимо аэротенков биологическая очистка сточных вод реализуется в биофильтрах. Отличие биофильтра от вышеупомянутого аппарата заключается в уменьшении продолжительности очистки в связи с наличием значительной концентрации различных групп микроорганизмов активного ила [Долина, 2011; Студенок и др., 2013].

Реализация процессов нитрификации и денитрификации обуславливается такими факторами как температура, значение pH, соотношение C/N, время гидравлического удержания, концентрация растворенного кислорода и другими. Наибольшее влияние на протекание очистки оказывают время удержания ила и скорость разбавления [Dong et al., 2019].

Рассмотренный метод обеспечивает высокую эффективность удаления азотных соединений. В то же время протекание стадии денитрификации требует внесения дополнительного источника углерода, если в очищаемых сточных водах наблюдается его недостаток. Кроме того, денитрифицирующие бактерии чувствительны к токсичным веществам. В результате протекания процессов образуется избыточное количество активного ила, поэтому требуются дополнительные затраты на его переработку или захоронение [Dong et al., 2019; Студенок и др., 2013]. Помимо этого, процессы нитрификации и денитрификации проходят в сооружениях ограниченного объема, что не применимо при очистке крупных объемов карьерных сточных вод.

ANAMMOX-процесс

ANAMMOX-процесс обеспечивает одновременное удаление аммонийной и нитритной форм азота анаэробными бактериями, использующими в качестве акцептора электронов нитрит-ионы и аммиак в качестве поставщика электронов. Данные бактерии могут быть представлены различными литотрофными группами [Dong et al., 2019; Гогина, 2010; Дубовик, Маркевич, 2016]: *B. Anammoxidans* в виде субстрата используют нитрит-ионы, а *Nitrosomonas* – диоксидазот. Среди перечисленных видов бактерий существует конкуренция за усвоение аммоний-иона. Тем не менее, результаты исследований показали, что *B. Anammoxidans* и *Nitrosomonas* могут одновременно существовать в водной системе [Гогина, 2010].

В результате ANAMMOX-процесса изначально преобразуется аммонийный и нитратный азот в нитритную форму, которая взаимодействует с аммоний-ионами с образованием газообразного азота. В дальнейших исследованиях было показано, что окисление в анаэробных условиях может протекать и в присутствии нитрат-иона. Характерным свойством процесса является отсутствие потребности в органическом субстрате, а также низкая скорость роста бактерий [Geetal., 2015; Дубовик, Маркевич, 2016; Студенок и др., 2013].

На эффективность протекания процесса ANAMMOX влияют внешние факторы, а именно температура, pH, субстраты, концентрация растворенного кислорода и прочее. Например, значение pH определяет концентрацию нитратов и аммоний-ионов, влияющих на активность бактерий. Исследования показывают, что температура 20–40°C, pH 6,7–8,3 и DO в пределах 4,0–1,0 мг/л являются оптимальными условиями [Dong et al., 2019; Гогина, 2010].

К преимуществам ANAMMOX-процесса по сравнению с биологической очисткой в аэротенках и биофильтрах можно отнести снижение концентрации нитритной и аммонийной форм азота без одновременного увеличения концентрации нитратной формы в очищаемых сточных водах. Кроме того, наблюдается уменьшение эксплуатационных затрат на электроэнергию на аэрацию в связи с неполным окислением ионов аммония. Также при протекании ANAMMOX образуется меньшее количество активного ила, что приводит к низким расходам на его удаление [Dong et al., 2019; Студенок и др., 2013].

Однако анаэробные бактерии чрезвычайно чувствительны к условиям окружающей среды, поэтому могут возникать трудности с контролем условий реакции для достижения эффективного ANAMMOX-процесса. Существуют следующие проблемы: низкая скорость роста бактерий *anammox*, трудности в поддержании их в системе и в контроле процесса частичной нитрификации [Benáková et al., 2018; Dong et al., 2019].

Фито-очистные системы

Фито-очистные системы (ФОС) представляют собой природно или искусственно созданные системы очистки, состоящие из водоупорного и фильтрующего слоев, на которых закреплены растения-макрофиты с техническими элементами для регулирования потока. В качестве макрофитов используются древесные и травянистые растения, например осока, которая интенсивно поглощает азотсодержащие соединения. Очистка сточных вод осуществляется при помощи природных механизмов самоочищения, а также технических устройств интенсифицирующих их [Рыбка и др., 2016; Щукин и др., 2014].

Очистка сточных вод в фито-очистных системах протекает за счет минеральной загрузки, растительности и ассоциированной с ней биоты. Первостепенно удаление загрязняющих веществ осуществляется биотой, для жизнедеятельности которой требуются азотсодержащие вещества. Растения преимущественно усваивают азот в виде нитратов и аммоний-ионов корневой системой [Рыбка и др., 2016; Щукин и др., 2014]. Часть протекающих процессов, например осаждение, ресуспендирование и транслокация не сопровождается изменением молекулярной структуры азотных соединений при их преобразовании. Помимо процесса физической транслокации в системе дополнительно протекают процессы восстановления и окисления азота, а именно аммонификация, нитрификация и денитрификация, ассимиляция, трансформация органического азота [Benáková et al., 2018; Рыбка и др., 2016].

Существует три разновидности фито-очистных систем. Азот в ФОС с открытой водной поверхностью удаляется в водной толще и далее в слое подстилки путем денитрификации. Помимо этого процесса происходит вывод аммиака в результате фотосинтеза водорослей. В ФОС с горизонтальным подповерхностным потоком главным механизмом удаления азота является процесс денитрификации. Удаление аммиака ограничено из-за недостатка кислорода в фильтрующем слое. Однако при внедрении процесса нитрификации из вышеописанной ФОС можно достичь полного удаления азота. В ФОС с вертикальным подповерхностным стоком создаются условия для диффузии кислорода из воздуха. В данной системе формируются условия для протекания процесса нитрификации [La Varga De et al., 2017; Rahimi et al., 2020; Vymazal, 2010].

Выделяются фито-очистные системы по типу биоплато, которые состоят из растительного и фильтрующего блоков и включает в себя плотики, соединенные в решетки посредством тросов. Каждая решетка содержит биосубстрат, который служит основой для роста водных растений – гидрофитов [Солнышкова и др., 2017]. Процесс очистки на биоплато базируется на использовании природных механизмов очистки с помощью растений гидрофитов и бактерий [Евдокимова и др., 2015; Сивкова и др., 2013; Солнышкова и др., 2017].

В зарубежных странах аналогом вышеописанных систем являются искусственно сконструированные водно-болотные экосистемы – «constructed wetlands». В этих системах в процесс очистки также вовлечены болотная растительность, почвы и естественные микробные сообщества [Dashko et al., 2016]. Следует отметить, что главную роль в процессах трансформации азотных соединений играют нитрифицирующие и денитрифицирующие бактерии.

Помимо бактерий большое значение в процессе очистки имеет высшая растительность. Вклад растений, с точки зрения удаления азота, варьируется в пределах 0,5–40 % [La Varga De et al., 2017]. Наиболее используемыми видами являются тростник, рогоз и камыш [Ji et al., 2020; Vymazal, 2011; Vymazal, 2013]. Их основная роль заключается в создании условий для микроорганизмов в корневой зоне, увеличивая эффективность химических и биохимических процессов. Также растительность выступает в качестве ассимиляторов загрязняющих веществ в свои ткани [Aleksenko et al., 2020; Гусев, 2013; Пашкевич и др., 2020].

Эксплуатация биоплато в странах Скандинавии и Северной Америке показывает, что они эффективно доочищают сточные воды и при минусовых температурах. Это достигается изоляцией заболоченного участка снежным, ледяным и естественным растительным покровом [Varma et al., 2021; Евдокимова и др., 2015; Сивков и др., 2013].

Биопруды

Схожими по технологии очистки с биоплато являются биопруды, представляющие естественные или искусственно созданные понижения рельефа для очистки сточных вод [Тимофеева и др., 2016]. Водная растительность в этих сооружениях располагается по определенной схеме и представлена камышом, тростником, рогозом, рдестом, телорезом и другими макрофитами, занимающими 30–40% водной поверхности. Перечисленная растительность выполняет следующие функции: фильтрационную, поглотительную (поглощение биогенных элементов и некоторых органических веществ, накопительную, окислительную, детоксикационную [Лукьянчиков, 2010].

Аналогично биоплато в биопрудах в процессе очистки помимо растительности принимает участие и сообщество микроорганизмов. Например, зеленые водоросли способствуют снижению концентрации не только соединений азота, но и других остаточных загрязняющих веществ. В то же время применение в биологических прудах искусственной аэрации позволяет достичь эффективной производительности, качественных характеристик очищенных вод, а также минимизировать влияние климатических условий [Долина, 2011].

Применение на предприятии ООО «Сахар Золотухино» трех проточных биологических прудов-отстойников, в которых произрастают хлорелла и рогоз, способствует эффективному очищению от аммоний-иона на 45%, от нитрат-иона – на 11%, нитрит-иона – на 96% [Лукьянчиков, 2010].

Микроводоросли

Микроводоросли широко используются при биотестировании отходов [Ivanov et al., 2018]. Многие российские исследователи и их коллеги из зарубежья предлагают производить очистку сточных вод от широкого спектра органических и неорганических загрязнителей [Mohsenpour et al., 2021; Политаева и др., 2017].

Микроводоросли ассимилируют аммонийную, нитратную и нитритную формы азота. Среди них предпочтительна первая форма, поскольку микроводоросли могут ассимилировать ее, затрачивая меньше энергии. Перед процессом ассимиляции происходит уменьшение концентрации нитратов и нитритов в результате двухступенчатого процесса, который протекает при участии нитритредуктазы [Jia et al., 2016; Rahimi et al., 2020]. На систему микроводорослей оказывают влияние такие факторы как свет, его длина волны и интенсивность, длительность освещения и pH среды [Jia et al., 2016].

Применение микроводорослей для очистки сточных вод осуществляется и совместно с бактериями. При этом микроводоросли синтезируют органические вещества, ассимилирующиеся бактериями. Некоторые виды бактерий, в свою очередь, могут выделять гормоны, способствующие росту водорослей.

Существуют системы, в которых микроводоросли выступают в роли помощников, поставляя в водную систему растворенный кислород. Микроводоросли выделяют в воду до 14 мг/дм³ атомарного кислорода, который обладает повышенной способностью к окислению азотных соединений и прочих загрязнителей. Помимо этого, кислород потребляется бактериями для разложения органических соединений до неорганических [Jia et al., 2016].

Изучение процесса очистки при помощи консорциумов водоросли *Chlorella* и микроорганизмов, а также водоросли и водной растительности проводилось в

Казанском национальном исследовательском техническом университете. В ходе проведенных экспериментов было установлено, что эффективность очистки от нитрат-иона при индивидуальном культивировании микроводоросли *Chlorellavulgaris* достигает около 56%, а от нитрит-иона – более 97%. При совместном культивировании *Chlorellavulgaris* и микроорганизмов активного ила была достигнута 100%-ная эффективность извлечения аммоний-иона из сточных вод, начиная с десятого дня эксперимента [Кирилина и др., 2013].

Результаты работы и их обсуждение

Удаление азотных соединений из сточных вод может осуществляться при помощи различных методов биологической очистки. Выбор и реализация того или иного метода на производстве обуславливается целями, исходными условиями и результатом, которого необходимо достичь.

Особенностью карьерных сточных вод, которая лимитирует применение различных вариантов удаления азотных соединений, является большой объем их образования. Не каждый из выше рассмотренных методов может обеспечить достаточную пропускную способность для достижения их эффективной очистки. Ниже приведена сравнительная таблица (табл. 1) с достоинствами и недостатками рассмотренных биологических методов.

Таблица 1 / Table 1

Сравнительная таблица рассмотренных методов очистки /

Comparative table of the considered treatment methods

Метод очистки / Purification method	Достоинства / Advantages	Недостатки / Disadvantages
Процесс нитрофикации и денитрификации (аэротенки, биофильтры) / The process of nitrification and denitrification (aerotanks, biofilters)	1. Отсутствие неприятных запахов / Absence of unpleasant odors. 2. Долгий срок службы сооружений / Long service life of structures	1. Образование избыточного количества активного ила / Formation of the excess amount of activated sludge. 2. Высокие энергозатраты на аэрацию / High energy consumption for aeration. 3. Нехватка производительности для очистки больших объемов сточных вод / Lack of the efficiency for large volumes of waste-water treatment
Анаммох-процесс / Anammox-process	1. Уменьшение концентрации аммонийной и нитритной форм азота без одновременного увеличения концентрации нитратов / Decrease in the concentration of ammonium and nitrite forms of nitrogen without a simultaneous increase in the concentration of nitrates. 2. Снижение затрат на электроэнергию на аэрацию / Cost cutting of electrical energy for aeration. 3. Меньшие объемы образования активного ила по сравнению с аэротенками и биофильтрами / Smaller volumes of activated sludge formation compared to aerotanks and biofilters	1. Необходимость поддержания возраста ила и его удержания в очистном сооружении / Necessity of maintaining the age of sludge and its retention in the purification plant. 2. Необходимость поддержания высокой концентрации ила для эффективности очистки / Necessity of maintaining a high concentration of sludge for purification efficiency

Метод очистки / Purification method	Достоинства / Advantages	Недостатки / Disadvantages
Фито-очистные системы / Phyto-purification system Constructed wetlands Биоплато / Bioplate Биопруды / Bioponds	1. Использование только солнечной энергии для процесса очистки / Use of only solar energy for the purification process. 2. Отсутствие необходимости в химических реагентах/No need for chemicals	1. Необходимость значительных площадей для проведения очистки / Necessity of considerable areas for purification. 2. Зависимость эффективности очистки от расхода сточных вод / Dependence of purification efficiency on wastewater consumption
Использование микроводорослей / Use of microalgae	1. Комплексная очистка загрязняющих веществ / Complex purification of pollutants. 2. Минимизация капитальных и эксплуатационных затрат / Minimization of capital and operating costs. 3. Не образуется отходов, требующих утилизации / No waste is generated that needs to be disposed	1. Часть штаммов не эффективна при низких температурах / Some strains are not effective at low temperatures

В ходе проведенного сравнительного анализа видно, что перспективным методом биологической очистки карьерных сточных вод от азотных соединений является система комплексной очистки по типу constructed wetlands с комплексным применением видов высшей и низшей растительности. Внесение микроводорослей приведет не только к аддитивному эффекту удаления питательных элементов, но и поспособствует обогащению воды кислородом, который необходим для деятельности высшей растительности.

Внедрение данной системы в эксплуатирующиеся гидротехнические сооружения на горнопромышленных предприятиях (например, пруд-отстойник) не требует изъятия и отчуждения дополнительных земель под строительство объектов очистки вод или монтирование оборудования. Обеспечение работоспособности данного метода на протяжении всего срока эксплуатации не требует значительных затрат в связи с протеканием естественных процессов жизнедеятельности без вмешательства человека. Также не требуется внесение химических реагентов для удаления азотных соединений, так как снижение их концентрации происходит в процессе жизнедеятельности растений и микроорганизмов. Помимо этого в процессе эксплуатации не осуществляется образование отходов (высококонцентрированных растворов, избыточного активного ила), следовательно, отсутствует необходимость затрачивать ресурсы на их обезвреживание или захоронение.

Выводы

В настоящее время удаление азотных соединений посредством биологической очистки может осуществляться различными методами, а именно в результате процесса нитрификации и денитрификации, Анаммох-процесса, фито-очистных систем, биоплато, биопрудов и систем микроводорослей. Применимость того или иного метода ограничивается условиями окружающей среды, пропускной способностью сооружений и прочими факторами.

Наиболее предпочтительным методом очистки карьерных сточных вод была признана система комплексной очистки constructed wetlands и ее внедрение в су-

ществующую систему очистки предприятий. Данный метод можно применять в условиях большого объема образования сточных вод, а также при минимальных капитальных и эксплуатационных затратах.

Литература

1. Бекузарова, С.А., Бурдзиева, О.Г., Качмазов, Д.Г., Майсурадзе, М.В. Экологические проблемы на территориях с горнодобывающей промышленностью и активная рекультивация токсических почв. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2018. – №4. – С. 127–138. DOI: 10.23671/VNC.2018.4.20130.
2. Белин В.А., Парамонов Г.П., Жамьян Ж. Особенности изготовления и применения смесевых взрывчатых веществ типа АСДТ на горных предприятиях Монголии. // *Записки Горного института*. – 2018. – Т. 232. – С. 364–367. DOI:10.31897/pmi.2018.4.364.
3. Ветошкин А.Г. Процессы и аппараты защиты гидросферы. Учебное пособие. / А.Г. Ветошкин. – Пенза: Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2004. – 188 с.
4. Гавришин А.И. Шахтные воды в управлении качеством грунтовых вод в Восточном Донбассе. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2020. – Т. 10. №3. – С. 127–138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008.
5. Гогина Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод: монография. // ГОУ ВПО Моск. гос. строит. уни-т. – М.: МСГУ, 2010. – 120 с.
6. Гусев А.И. Биогеохимические индикаторы техногенного загрязнения экосистем горно-рудными предприятиями рудного и Горного Алтая. // *Записки Горного института*. – 2013. – Т. 203. – С. 155–159.
7. Долина Л.Ф. Очистка сточных вод от биогенных элементов: монография. – Днепропетровск: Континент, 2011. – 198 с.
8. Дубовик О.С., Маркевич Р.М. Совершенствование биотехнологий удаления азота и фосфора из городских сточных вод. // *Труды БГТУ*. – 2016. – №4. – С. 232–238.
9. Евдокимова Г.А., Иванова Л.А., Мозгова Н.П., Мязин В.А., Фокина Н.В. Плавающие биоплато для очистки сточных карьерных вод от минеральных соединений азота в арктических условиях. // *Экология и промышленность России*. – 2015. – Т. 19. №9. – С. 35–41. DOI: 10.18412/1816-0395-2015-9-35-41
10. Кирилина Т.В., Ханг Д.Т., Сироткин А.С. Оценка эффективности доочистки сточных вод с использованием одноклеточных и многоклеточных гидробионтов. // *Вестник Казанского технологического университета*. – 2013. – Т. 16. №8. – С. 200–203.
11. Культивирование и использование микроводорослей *Chlorella* и высших водных растений ряски *Lemna*: монография. / Н.А. Политаева, Ю.А. Смятская, Т.А. Кузнецова, Л.Н. Ольшанская, Р.Ш. Валиев. – СПб: Издательство Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого, 2017. – 87 с.
12. Лукьянчиков Д.И. Использование биологических прудов в процессе промышленных вод от загрязнений и использование их илистых осадков в сельском хозяйстве. // *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. – 2010. – №6. – С. 55–57.
13. Пашкевич М.А., Бек Дж., Матвеева В.А., Алексеенко А.В. Биогеохимическая оценка состояния почвенно-растительного покрова в промышленных, селитебных и рекреационных зонах Санкт-Петербурга. // *Записки Горного института*. – 2020. – Т. 241. – С. 125–130. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.125.
14. Реутова Н.В., Реутова Т.В., Дреева Ф.Р., Хутуев А.М. Микроэлементный состав поверхностных вод бассейна реки Малка и геохимические особенности региона. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2021. – Т. 11. №3. – С. 172–184. DOI: 10.46698/VNC.2021.20.60.014.
15. Рыбка К.Ю., Щеголькова Н.М. Механизмы очистки сточных вод от биогенных элементов (азота и фосфора) в фито-очистных системах. // *Экосистемы: экология и динамика*. – 2018. – Т. 2. №4. – С. 144–171. DOI:10.1017/SBO9781107415324.004
16. Сивкова Е.Е., Семёнов С.Ю. Использование технологии «constructed wetlands» для

очистки сточных вод малых населенных пунктов и предприятий. // Известие Томского государственного университета. Биология. – 2013. – Т. 4. № 12. – С. 123–130.

17. Солнышкова М.А., Журавкова М.А., Пашкевич М.А. Бионидикация как способ оценки эффективности очистки карьерных сточных вод с использованием биоплато. // Инновационные подходы в современной науке. – 2017. – Т. 10. №10. – С. 82–86.

18. Студенок А.Г., Студенок Г.А., Ревво А.В. Оценка методов очистки сточных вод от соединений азота для дренажных вод горных предприятий. // Известия Уральского государственного горного университета. – 2013. – №2(30). – С. 26–30.

19. Тимофеева С.С., Ульрих Д.В., Тимофеев С.С. Фитофильтры для очистки сточных вод. // Вестник технологического университета. – 2016. – Т. 19. №16. – С. 162–165.

20. Черемисина О.В. Технологические аспекты защиты гидросферы от ионов тяжелых металлов в зоне влияния объектов цветной металлургии. // Записки Горного института. – 2013. – Т. 203. – С. 116–119.

21. Щукин И.С., Авдеева М.А., Галкина А.А., Луферчик Я.С. Выбор растений для фитофильтров очистки поверхностных сточных вод. // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2014. – №1. – С. 200–213.

22. Alekseenko V.A., Shvydkaya N.V., Alekseenko A.V., Machevariani M.M., Bech J., Pashkevich M.A., Puzanov A.V., Nastavkin A.V., Roca N. Element Accumulation Patterns of Native Plant Species under the Natural Geochemical Stress. // Plants. – 2020. – Vol. 10. No.1. – Article 33. DOI:10.3390/plants10010033.

23. Benáková A., Johanidesová I., Kelbich P., Pospíšil V., Wanner J. The increase of process stability in removing ammonia nitrogen from wastewater // Water Science and Technology. – 2018. – Vol. 77. No.9. pp. 2213–2219. DOI: 10.2166/wst.2018.135.

24. Chukaeva M.A., Matveeva V.A. The present-day hydrochemical state of hydroecosystems suffering the technogenic effect of AO Apatit. // Water Resources. – 2018. – Vol. 45. No.6. – pp. 935–940. DOI: 10.1134/s0097807818060040.

25. Dashko R., Shidlovskaya A. Impact of microbial activity on soil properties // Canadian Geotechnical Journal. – 2016. – Vol. 53. No.9. – pp. 1386–1397. DOI: 10.1139/cgj-2015-0649

26. De la Varga D., Soto M. Arias C.A., Dion van Oirschot, Kilian R., Pascual A., Álvarez Juan A. Chapter 8. Constructed wetlands for industrial wastewater treatment and removal of nutrients. // Technologies for the Treatment and Recovery of Nutrients from Industrial Wastewater. – PA: IGI Global, 2017. – pp. 202–230. DOI:10.4018/978-1-5225-1037-6.ch008.

27. Dong Y., Yuan H., Zhang R., Zhu N. Removal of ammonia nitrogen from wastewater: A review. // Transactions of the ASABE. – 2019. – Vol. 62. No.6. – pp. 1767–1778.

28. Ge S., Wang Sh., Yang X., Qiu S., Li B., Peng Y.. Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: A review. // Chemosphere. – 2015. – Vol. 140. – pp. 85–98. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.02.004.

29. Ivanov A.V., Smirnov Y.D., Petrov G.I. Investigation of waste properties of subway construction as a potential component of soil layer. // Journal of Ecological Engineering. – 2018. – Vol. 19. No.5. – pp. 59–69. DOI: 10.12911/22998993/91267.

30. Ji B., Zhao Ya., Vymazal J., Qiao S., Wei T., Li J., Mander Ü. Can subsurface flow constructed wetlands be applied in cold climate regions ? A review of the current knowledge. // Ecological Engineering. – 2020. – Vol. 157. – Article. 105992. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2020.105992.

31. Jia H., Yuan Q. Removal of nitrogen from wastewater using microalgae and microalgae-bacteria consortia. // Cogent Environmental Science. – 2016. – Vol. 2. No.1. – Article 1275089. DOI: 10.1080/23311843.2016.1275089.

32. Korotaeva A. Wastewater treatment of mining enterprises from nitrogen compounds in the Arctic. // SHS Web of Conferences. – 2020. – Vol. 84. – Article 04001. DOI: 10.1051/shsconf/20208404001.

33. Mohsenpour S.F., Hennige S., Willoughby N., Adeloye A., Gutierrez T. Integrating microalgae into wastewater treatment: A review. // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 752. – Article. 142168. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142168.

34. Patokin D., Danilov A., Isakov A. Environmental monitoring of natural waters in the zone of impact of an enterprise producing explosives. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2020. – Vol. 578. No.1. – Article 012038. DOI:10.1088/1755-1315/578/1/012038.
35. Petrov D.S. et al. Phytoremediation efficiency of duckweed communities for mining enterprises wastewater treatment from nitrogen compounds. // Journal of Physics: Conference Series. – 2019. – Vol. 1399. No.5. – Article. 055044. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055044.
36. Rahimi S., Modin O., Mijakovic I. Technologies for biological removal and recovery of nitrogen from wastewater. // Biotechnology Advances. – 2020. – Vol. 43. – Article. 107570. DOI:10.1016/j.biotechadv.2012.01.019.
37. Varma M., Gupta A.K., Ghosal P.S., Majumder A. A review on performance of constructed wetlands in tropical and cold climate: Insights of mechanism, role of influencing factors, and system modification in low temperature. // Science of the Total Environment. – 2021. – Vol. 755. – Article 142540. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.142540.
38. Vymazal J. Constructed wetlands for wastewater treatment // Water (Switzerland). – 2010. – Vol. 2. No.3. – pp. 530–549. DOI:10.3390/w2030530.
39. Vymazal J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: A review. // Hydrobiologia. – 2011. – Vol. 674. – pp. 133–156. DOI: 10.1007/s10750-011-0738-9.
40. Vymazal J. Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. // Ecological Engineering. – 2013. – Vol. 61. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.06.023.

References

1. Bekuzarova S.A., Burdzieva O.G., Kachmazov D.G., Maysuradze M.V. Environmental problems in the territories with the mining industry, and active remediation of toxic soils. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2018. No.4. pp. 127–138. DOI: 10.23671/VNC.2018.4.20130. (In Russ.)
2. Belin V.A., Paramonov G.P., Jamiyan J. Peculiarities of manufacturing and application of mixed explosives of anfo type at mining enterprises of Mongolia. *Journal of Mining Institute*. 2018. Vol. 232. pp. 364–367. DOI: 10.31897/pmi.2018.4.364. (In Russ.)
3. Vetoshkin A.G. Hydrosphere protection processes and devices. Tutorial. A.G. Vetoshkin. Penza. Publishing house Penz. state University, 2004. 188 p. (In Russ.)
4. Gavrishin A.I. The mine water in the management of groundwater pollution in the Eastern Donbass. *Geology and Geophysics of Russian South*, 2020. Vol. 10. No.3. pp. 127–138. DOI: 10.46698/VNC.2020.62.81.008. (In Russ.)
5. Gogina E.S. Removal of biogenic elements from wastewater: monograph / GOU VPO Mosk. state builds. uni-t. Moscow. MSGU, 2010. 120 p. (In Russ.)
6. Gusev A.I. Biogeochemical indicators of the technogenic pollution ecosystems by mining enterprises of rudny and mountain Altai. *Journal of Mining Institute*, 2013. Vol. 203. pp. 155–159. (In Russ.)
7. Dolina L.F. Wastewater treatment from biogenic elements: monograph. Dnepropetrovsk. Continent, 2011. 198 p. (In Russ.)
8. Dubovik O.S., Markevich R.M. Biotechnological advancement of nitrogen and phosphorus removal from city sewage. *Proceedings of BSTU*, 2016. No.4. pp. 232–238. (In Russ.)
9. Yevdokimova G.A., Ivanova L.A., Mozgova N.P., Myazin V.A., Fokina N.V. Floating Bioplateau for Treatment of Waste Quarry Waters from Mineral Nitrogen Compounds at the Arctic Conditions. *Ecology and industry of Russia*, 2015. Vol. 19. No.9. pp. 35–41. DOI: 10.18412/1816-0395-2015-9-35-41 (In Russ.)
10. Kirilina T.V., Hang D.T.T., Sirotkin A.S. Evaluation of the efficiency of wastewater treatment using unicellular and multicellular hydrobionts. *Bulletin of Kazan Technological University*, 2013. Vol. 16. No.8. pp. 200–203. (In Russ.)
11. Cultivation and use of microalgae *Chlorella* and higher aquatic plants *Lemna* duckweed: monograph. N.A. Politaeva, Yu.A. Smyatskaya, T.A. Kuznetsova, L.N. Olshanskaya, R.Sh.

Valiev. St. Petersburg: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University Publishing House, 2017. 87 p. (In Russ.)

12. Lukyanchikov D.I. The use of biological ponds in the process of industrial waters from pollution and the use of their muddy sediments in agriculture. Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. 2010. No.6. pp. 55-57. (In Russ.)

13. Pashkevich M.A., Bech J., Matveeva V.A., Alekseenko A.V. Biogeochemical assessment of soils and plants in industrial, residential and recreational areas of Saint Petersburg. Journal of Mining University. 2020. Vol. 241. pp. 125-130. DOI: 10.31897/PMI.2020.1.125. (In Russ.)

14. Reutova N.V., Reutova T.V., Dreeva F.R., Khutuev A.M. Microelements in the surface waters of the Malka River basin and geochemical features of the region. Geology and Geophysics of Russian South. 2021. Vol. 11 No.3. pp 172-184. DOI: 10.46698/VNC.2021.20.60.014. (In Russ.)

15. Rybka K.Yu., Shchegolkova N.M. Mechanisms of nutrients (nitrogen and phosphorus) removal from wastewater in constructed wetlands. Ecosystems: ecology and dynamics. 2018. Vol. 2. No.4. pp. 144-171. DOI:10.1017/CBO9781107415324.004. (In Russ.)

16. Sivkova E.E., Semenov S.Yu. Using «constructed wetlands» technology for wastewater treatment in small communities and enterprises. Famous Tomsk State University. Biology. 2013. Vol. 4. No.12. pp. 123-130. (In Russ.)

17. Solnyshkova M.A., Zhuravkova M.A., Pashkevich M.A. Bionidication as a method for assessing the efficiency of pit wastewater treatment using bioplato. Innovative approaches in modern science. 2017. Vol. 10. No.10. pp. 82–86. (In Russ.)

18. Studenok A.G., Studenok G.A., Revvo A.V. Evaluation of waste water purification methods from nitrogen compounds for drainage water of mining enterprises. Bulletin of the Ural State Mining University, 2013. No.2(30). pp. 26-30. (In Russ.)

19. Timofeeva S.S., Ulrich D.V., Timofeev S.S. Fito filters for waste water purification // Technological University Bulletin, 2016. Vol. 19. No.16. pp. 162-165. (In Russ.)

20. Cheremisina O.V. Aspect of technology protection of hydrosphere against ions of heavy metals in a zone of influence of objects. Journal of Mining Institute. 2013. Vol. 203. pp. 116-119. (In Russ.)

21. Shchukin I.S., Avdeeva M.A., Galkina A.A., Luferchik Ja.S. Plants selection for stormwater phytofilters. PNRPU Bulletin. Construction and architecture, 2014. No.1. pp. 200-213 (In Russ.)

22. Alekseenko, V.A., Shvydkaya, N.V., Alekseenko, A.V., Machevariani, M.M., Bech, J., Pashkevich, M.A., Puzanov, A.V., Nastavkin, A.V., Roca, N. Element Accumulation Patterns of Native Plant Species under the Natural Geochemical Stress. Plants, 2020. Vol. 10. No.1. Article 33. DOI:10.3390/plants10010033.

23. Benáková A., Johanidesová I., Kelbich P., Pospíšil V., Wanner J. The increase of process stability in removing ammonia nitrogen from wastewater. Water Science and Technology, 2018. Vol. 77. No.9. pp. 2213-2219. DOI: 10.2166/wst.2018.135.

24. Chukaeva M.A., Matveeva V.A. The present-day hydrochemical state of hydroecosystems suffering the technogenic effect of AO Apatit. Water Resources, 2018. Vol. 45. No.6. pp. 935-940. DOI: 10.1134/s0097807818060040.

25. Dashko R., Shidlovskaya A. Impact of microbial activity on soil properties. Canadian Geotechnical Journal, 2016. Vol. 53. No.9. pp. 1386-1397. DOI: 10.1139/cgj-2015-0649

26. De la Varga D., Soto M. Arias C.A., Dion van Oirschot, Kilian R., Pascual A., Álvarez Juan A. Chapter 8. Constructed wetlands for industrial wastewater treatment and removal of nutrients. Technologies for the Treatment and Recovery of Nutrients from Industrial Wastewater. PA: IGI Global, 2017. pp. 202-230. DOI:10.4018/978-1-5225-1037-6.ch008.

27. Dong Y., Yuan H, Zhang R., Zhu N. Removal of ammonia nitrogen from wastewater: A review. Transactions of the ASABE, 2019. Vol. 62. No.6. pp. 1767-1778.

28. Ge S., Wang Sh., Yang X., Qiu S., Li B., Peng Y. Detection of nitrifiers and evaluation of partial nitrification for wastewater treatment: A review. Chemosphere, 2015. Vol. 140. pp. 85-98.

DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.02.004.

29. Ivanov A.V., Smirnov Y.D., Petrov G.I. Investigation of waste properties of subway construction as a potential component of soil layer. *Journal of Ecological Engineering*, 2018. Vol. 19. No.5. pp. 59-69. DOI: 10.12911/22998993/91267.

30. Ji B., Zhao Ya., Vymazal J., Qiao S., Wei T., Li J., Mander Ü. Can subsurface flow constructed wetlands be applied in cold climate regions ? A review of the current knowledge. *Ecological Engineering*, 2020. Vol. 157. Article. 105992. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2020.105992.

31. Jia H., Yuan Q. Removal of nitrogen from wastewater using microalgae and microalgae-bacteria consortia. *Cogent Environmental Science*, 2016. Vol. 2. No.1. Article 1275089. DOI: 10.1080/23311843.2016.1275089.

32. Korotaeva A. Wastewater treatment of mining enterprises from nitrogen compounds in the Arctic. *SHS Web of Conferences*, 2020. Vol. 84. Article 04001. DOI: 10.1051/shsconf/20208404001.

33. Mohsenpour S.F., Hennige S., Willoughby N., Adeloye A., Gutierrez T. Integrating micro-algae into wastewater treatment: A review. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 752. Article. 142168. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142168.

34. Patokin D., Danilov A., Isakov A. Environmental monitoring of natural waters in the zone of impact of an enterprise producing explosives. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020. Vol. 578. No.1. Article 012038. DOI:10.1088/1755-1315/578/1/012038.

35. Petrov D.S. et al. Phytoremediation efficiency of duckweed communities for mining enterprises wastewater treatment from nitrogen compounds. *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. Vol. 1399. No.5. Article. 055044. DOI: 10.1088/1742-6596/1399/5/055044.

36. Rahimi S., Modin O., Mijakovic I. Technologies for biological removal and recovery of nitrogen from wastewater. *Biotechnology Advances*. 2020. Vol. 43. Article. 107570. DOI:10.1016/j.biotechadv.2012.01.019.

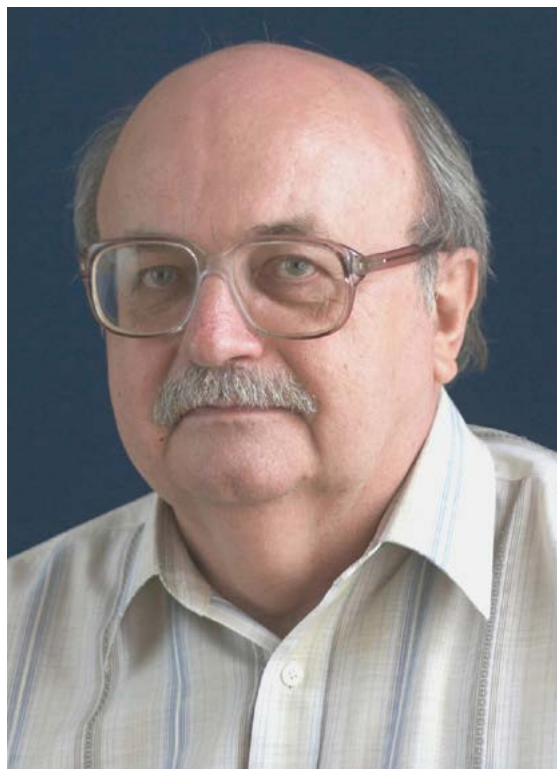
37. Varma M., Gupta A.K., Ghosal P.S., Majumder A. A review on performance of constructed wetlands in tropical and cold climate: Insights of mechanism, role of influencing factors, and system modification in low temperature. *Science of the Total Environment*. 2021. Vol. 755. Article 142540. DOI:10.1016/j.scitotenv.2020.142540.

38. Vymazal J. Constructed wetlands for wastewater treatment. *Water (Switzerland)*. 2010. Vol. 2. No.3. pp. 530-549. DOI:10.3390/w2030530.

39. Vymazal J. Plants used in constructed wetlands with horizontal subsurface flow: A review. *Hydrobiologia*. 2011. Vol. 674. pp. 133-156. DOI: 10.1007/s10750-011-0738-9

40. Vymazal J. Emergent plants used in free water surface constructed wetlands: A review. *Ecological Engineering*. 2013. Vol. 61. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2013.06.023.

Владимиру Ивановичу Щеглову – 70 лет!



18 декабря 2021 г. 70 лет исполнилось доктору геолого-минералогических наук, профессору Владимиру Ивановичу Щеглову. Он широко известен научной общественности как специалист в области теоретических основ, методологии, компьютерных и, прежде всего, ГИС-технологий, является автором более 150-ти научных работ, в том числе 2-х монографий и 7-ми учебников и учебных пособий.

С 1990 г. по 2015 г. Владимир Иванович заведовал кафедрой «Месторождения и разведка полезных ископаемых» (МиРПИ) (с 2011 г. – кафедра «Прикладной геологии») Южно-Российского государственного политехнического университета (Новочеркасского политехнического института) имени М.И. Платова (ЮРГПУ (НПИ)).

Заслуги В.И. Щеглова в подготовке кадров, развитии науки и техники неоднократно отмечались правительственными наградами: нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования России», «Отличник разведки недр», «Заслуженный профессор ЮРГТУ (НПИ)». Ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник высшей школы РФ». Он является действительным членом Российской академии естественных наук (РАЕН), Международной академии наук высшей школы (МАН ВШ), Международной академии наук экологии и безопасности жизнедеятельности (МАНЭБ).

Вся трудовая деятельность Владимира Ивановича была связана с одним местом работы – ЮРГПУ (НПИ). Здесь он начал работать с 1974 г., после окончания с отличием Новочеркасского политехнического института, ассистентом кафедры МиРПИ, прошел все ступени преподавательских должностей – старший преподаватель, до-

цент, профессор, заведующий кафедрой. В 1989–1999 гг. был деканом горно-геологического факультета вуза, более 20-ти лет – членом Ученого совета университета.

В 1980 г. в Ленинградском горном институте защитил кандидатскую диссертацию, в 1990 г. в Кавказском институте минерального сырья (г. Тбилиси) – докторскую с присуждением ученой степени доктора геолого-минералогических наук. В 1985 г. В.И. Щеглову присваивается ученое звание доцента, а в 1991 г. – профессора по кафедре месторождений и разведки полезных ископаемых университета.

Профессор В.И. Щеглов известен как крупный специалист в области разработки и использования математических и геостатистических методов, алгоритмов и компьютерных технологий исследования и моделирования геологического строения, разведки и оценки колчеданных месторождений Северного Кавказа; компьютерных технологий создания геологических карт. На основе синтеза новых научных направлений и технологий исследований организовал подготовку горных инженеров-геологов – специалистов в области геолого-математического моделирования и компьютерных технологий, получивших высокую оценку в геологической и горнодобывающей отраслях. За годы работы в должности заведующего кафедрой и декана факультета под его руководством подготовлено более тысячи горных инженеров-геологов, которые успешно работают на предприятиях, в учреждениях и организациях МПР РФ, геологических службах других министерств и ведомств практически во всех регионах; были созданы: заочное отделение факультета; комплекс по непрерывной подготовке специалистов для геологической отрасли в составе ряда факультетов ЮРГПУ (НПИ), геологоразведочного колледжа и средних школ г. Новочеркасска; геологический филиал факультета при Северо-Кавказском региональном геологическом центре (г. Ессентуки); кафедра геофизики и техники разведки; открыты новые геологические специальности и прежде всего «Геология месторождений нефти и газа».

В.И. Щеглов выступал с докладами на 27-й сессии Международного геологического конгресса, 4-х международных симпозиумах, многократно на всесоюзных, всероссийских, республиканских и региональных конференциях и совещаниях. Являлся членом научно-методического совета УМО геологических специальностей Министерства общего и профессионального образования России. Принимал активное участие в подготовке научных кадров высшей квалификации: подготовил несколько кандидатов наук, являлся председателем диссертационного совета по защите докторских диссертаций при ЮРГПУ (НПИ), зам. председателя диссертационного совета по защите докторских диссертаций при Северо-Кавказском научном центре высшей школы.

Коллектив кафедры «Прикладная геология» Южно-Российского государственного политехнического университета (Новочеркасского политехнического института) им. М.И. Платова поздравляет Владимира Ивановича Щеглова с юбилейной датой и желает крепкого здоровья, благополучия и дальнейших творческих успехов!

ПАМЯТЬ

Автандил Карлович Джгмадзе

(1951-2021)



5 декабря 2021 года скончался Джгмадзе Автандил Карлович, старший научный сотрудник отдела геологии, гидрогеологии и геоэкологии Геофизического института ВНИИ РАН.

Джгмадзе Автандил Карлович родился 22 июня 1951 г. в Абашском районе Грузинской ССР. После окончания средней школы, в 1968 г. поступил в Грузинский политехнический институт на геологический факультет, который окончил в 1973 г. и получил квалификацию горного инженера-гидрогеолога.

В 1973 году он был направлен на работу по распределению в СО АССР. С этого времени вся профессиональная деятельность Автандила Карловича Джгмадзе оказалась связанной с Северной Осетией. С 1973 года по 1991 год он работал на должностях: инженер-гидрогеолог, старший гидрогеолог, гидрогеолог I категории и главный гидрогеолог Северо-Осетинской геологоразведочной экспедиции.

В 1981–1984 гг. был откомандирован в Сирийскую Арабскую Республику на должность инженера-гидрогеолога.

После развала СССР он уехал в Грузию. Здесь с 1991 по 2002 годы работал на должностях геолог I категории, ведущий геолог, главный геолог Земо-Карталинской гидрогеологической партии Управления «Гидроинжгео» департамента геологии Грузии.



Позже, А.К. Джгмадзе по приглашению руководства вернулся в Северную Осетию и в 2002 году он уже работает главным гидрогеологом ДГУ ГП «Геонаука». В 2003 году руководит гидрогеологической службой ГУС ГП «Севосгидрогеология». С июля 2003 г. по декабрь 2007 г. работает в ФГУ ГП «Севосгеологоразведка» и ОАО «Севосгеологоразведка» на должности начальника Гидрогеологической партии.

С 2003 А.К. Джгмадзе по приглашению директора В.Б. Заалишвили начал работать в Геофизическом институте Владикавказского научного центра Российской академии наук время и работал в нем по настоящее (с небольшим перерывом 16.10.2016-12.02.2018гг.). За период работы он занимал должности ведущего научного сотрудника, заведующего Отделом геологии, гидрогеологии и инженерной геологии.

С 2018 г. он – старший научный сотрудник отдела геологии, гидрогеологии и геоэкологии. С 2004 по 2007 гг. являлся соискателем ученой степени по специальности 25.00.36 Геоэкология (по отраслям) в ГФИ ВНИЦ РАН. К сожалению, по ряду причин подготовка и защита диссертационной работы затянулась.



За время своей трудовой деятельности Джгмадзе Автандил Карлович:

- проводил геологоразведочные работы для обеспечения населения РСО-Алания питьевой водой, орошения земель и обводнения пастбищ;

- разведывал и является первооткрывателем 30 месторождений и участков пресных и минеральных подземных вод на территории РСО-Алания.

За достигнутые производственные успехи, еще на заре своей трудовой деятельности, в 1977 году Джгмадзе А.К. был в торжественной обстановке сфотографирован в Кремле. Тогда это тоже было стимулом для молодых специалистов.

За многолетнюю плодотворную работу в области геологии и большой вклад в развитие минерально-сырьевой базы России Министерством Природных Ресурсов Российской Федерации в 2007 году Джгмадзе А.К. был награжден значком «Отличник разведки недр». В 2007 году Джгмадзе А.К. получил звание «Ветеран труда».

За активную работу по разработке карт сейсмической опасности (сейсмическое микрорайонирование) территории г. Владикавказа в 2010 г. Джгмадзе А.К. был награжден Почетной грамотой Министерства архитектуры и строительной политики РСО-Алания.

Указом Главы РСО-Алания по нашему представлению «За заслуги в сохранении природных ресурсов республики» Джгмадзе А.К. присвоено почетное звание «Заслуженный эколог РСО-Алания» (от 17 апреля 2012 года № 82).

Под руководством Джгмадзе А.К. в 2007-2010 гг. в ГФИ ВНЦ РАН были составлены инженерно-геологические основы карт сейсмического микрорайонирования гг. Владикавказа», Алагире, Ардона, Беслана, Дигоры, Моздока и с. Чикола. Он принимал активное участие в изучении других, опасных, с точки зрения экологии, объектов: завод «Электроцинк», «Победит» и др., выбор мест размещения разного рода опасных производств, скотомогильников, выбор качественных водных месторождений. Необходимо отметить его усилия по изучению неожиданного загрязнения водного источника в г. Алагире. Именно Автандилом Карловичем были уставлены причины загрязнения (совпадение трафика родниковой и сточных вод из-за халатности исполнителей) и разработаны необходимые мероприятия по скорейшему восстановлению свойств источника. Кроме этого он активно сотрудничал с различными государственными и коммерческими структурами. Рецензировал отчеты так или иначе связанные с водой.

В последние годы мы были научными соруководителями важнейшей государственной темы: «Методология интегрированного управления водными ресурсами и водохозяйственным комплексом в условиях природных и экологических факторов». Исследования были тесно связаны с растущей минерализацией такого важного источника высококачественной воды, как «Орджоникидзевское месторождение пресной воды». В результате исследований были установлены рост загрязнения пресных вод и необходимость запрета на бессистемную добычу воды в Беслане и др. Этот список можно было бы продолжить.

А.К. Джгмадзе проводил большую плодотворную работу по изучению и оздоровлению экологической обстановки на территории Республики. Он являлся независимым экспертом Территориальной комиссии по запасам полезных ископаемых (ТКЗ) «Севосетиннедра» и экологическим экспертом Комитета охраны природы и природных ресурсов РСО-Алания. А.К. Джгмадзе. принимал активное участие в работе правительственных и ведомственных комиссиях по выработке природоохранных мероприятий и улучшения экологической обстановки в Республике.

В завершение остановлюсь на личности самого Автандила Карловича Джгмадзе. Так уж получилось, что его, как и многих других коллег, мне рекомендовали

супруги Нина и Лев Невские, а также Хыйса Чотчаев. Они знали его по совместной работе или отзывам коллег. Серьезный, немногословный, Автандил Карлович с самого начала произвел на меня, в целом, положительное впечатление. Более того



само направление нашей беседы, искренность собеседника и очевидное желание заниматься научной работой, сняли все препятствия к нашему профессионально-



му, да и человеческому сближению. Последовавшие далее годы совместной работы показали, что я не ошибся в нем. Он прекрасно разбирался в гидрогеологии, да впрочем, и в геологии. Необходимо отметить, что во многих сложных и неоднозначных случаях А.К.Джгамадзе проявлял высокие мужские и человеческие качества. Человек он был порядочный, с уважением относился к чужому мнению, но в принципиальных вопросах спуска никому не давал, оставаясь, впрочем, в пределах своей традиционной невозмутимости.

Ряд лет А.К. Джгамадзе был моим заместителем, т.е. заместителем директора по научно-организационной работе. Здесь он, в целом, проявил себя с самой лучшей стороны.

Необходимо отметить, что Автандила Карловича глубоко уважало, как профессионала и личность, все геологическое общество Северной Осетии. Неоднократно, особенно на первых порах,

Автандил Карлович был моим советником при формировании научных планов. Мы активно работали над его кандидатской диссертацией. Автандил Карлович на первых порах загорелся. Мы активно проводили полевые исследования и анализировали экспериментальные данные. Но из-за некоторой задержки с проведением ряда полевых и лабораторных работ он, к сожалению, вскоре «остыл». К сожалению, явная перегруженность меня всякими текущими вопросами, в частности, заботы по реконструкции административного здания и гаража, ремонту лаборатории, «добыванию» современного оборудования, а также огромное количество научных работ с аспирантами и старшими коллегами, как я понимаю, было тому причиной.

В этой связи мне было приятно, что в растянутый момент «удаленной работы» для лиц выше определенного возраста А.К. Джгмадзе подготовил и успешно защитил в Грузинском Политехническом Университете диссертацию на степень Doctor of Philosophy на тему, связанную с гидрогеологическими аспектами Грузии, и стал, согласно соответствующему диплому, академическим доктором геологических наук. Мы в этой связи предполагали в самые сжатые сроки реализовать необходимые шаги по нострификации диплома, но жизнь распорядилась иначе.

А.К. Джгмадзе был, как все имеретинцы, несколько артистичен. Это особенно проявлялось в кавказском застолье. Слова его были глубокими и красивыми. Он хорошо пел, играл на гитаре. Автандил Карлович был хорошим семьянином, он внимательно относился к своей второй супруге Людмиле Ивановне, а также к ее детям и своим, оставшимся после кончины первой супруги. Автандил Карлович своих имеет сына и дочь, а также трех внуков. Семья Автандила Карловича отличается гостеприимностью. Живущие по соседству, супруги бывали у нас, а мы у них. Встречались, если была оказия и в Тбилиси, что доставляло моим детям несомненное удовольствие. Дети чувствуют искренность весьма тонко.

Каждый праздник, особенно, грузинский, Автандил Карлович, будучи младше, всегда опережал с поздравлениями. То, что в этом году, впервые за 16 лет нашего знакомства, он меня не поздравил с днем св. Георгия, сразу насторожило меня и оказывается совсем не напрасно.

В этот день, день прощания с Автандилом Карловичем, совершенно невольно знать, что его больше не будет. Что никто не будет больше так проникновенно поздравлять с праздниками и, самое главное, реализовывать весьма важные для Северной Осетии научные исследования по проблеме загрязнения питьевой, пресной воды, которые будут в той или иной степени замедлены. В то же время, в связи с актуальностью задачи и необходимости ее решения в целях безопасности жизнедеятельности населения республики, мы приложим все необходимые усилия для продолжения исследований и развития их глубины с использованием самого современного оборудования.

Весь наш коллектив Геофизического института глубоко скорбит о невосполнимой утрате, и выражает глубокое соболезнование семье и близким Автандила Карловича Джгмадзе.

*Главный редактор журнала «Геология и геофизика Юга России»
Владислав Заалишвили*

Хыйса Османович Чотчаев (1943–2021)



12 ноября 2021 года скончался старший научный сотрудник отдела геофизики, инженерной сейсмологии и геоинформатики Геофизического института ВНИЦ РАН (ГФИ ВНИЦ РАН), руководитель лаборатории глубинных исследований и поисково-разведочной геофизики, помощник директора по научно-организационной работе, к.г.-м.н. **Чотчаев Хыйса Османович**.

Хыйса Османович родился 16 октября 1943 года в горном селении Даусуз Карачаево-Черкесии, школу он окончил на золотую медаль. В 1967 году Х.О. Чотчаев окончил с красным дипломом Московский геологоразведочный институт им. С. Орджоникидзе по специальности «Геофизические методы поисков и разведки» (квалификация – горный инженер-геофизик) и был направлен на работу от Главтюменьгеология в Полярно-Уральскую геологоразведочную экспедицию, где уже через два года был назначен начальником отряда нового направления в геофизике – скважинно-геофизических исследований. В 1970 году начал работать в Елизовской геофизической экспедиции старшим геофизиком партии. В 1971 г. был назначен начальником комплексной партии. Проектировал и участвовал в выполнении полного комплекса геофизических исследований Малетойваямского и периферийного Октябрьского месторождений самородной серы в Олюторском районе Корякского национального округа, проектировал и руководил проведением комплекса геофизических исследований на рудопоявлении на Карагинском острове, Камчатской области, проектировал и возглавил тематические исследования скважинными методами рудной геофизики на скважинах Камчатки.

В 1974 году Х.О. Чотчаев был направлен Северо-Кавказским территориальным геологическим управлением в Северо-Осетинскую геологоразведочную экспедицию для организации геофизической службы структурной и рудной направленности, которая стала одной из самых комплексных и оснащённых аппаратурой и кадрами – признанная инновационным центром не только в Северо-Кавказском территориальном геологическом управлении, но и в Министерстве геологии РСФСР.

На посту начальника Геофизической партии Северо-Осетинской геологоразведочной экспедиции (СОГРЭ), куда входили все производственные геологические и геофизические отряды, геохимическая служба, все бригады поискового бурения на твердые полезные ископаемые СОГРЭ, Хыйса Османович оставался непосредственным исполнителем сейсмических исследований для структурной локализации рудных скоплений.

С 2005 г. Чотчаев Х.О. мною был приглашен на работу в наш институт. С этого времени он – бессменный руководитель всех полевых исследований Института, активно пишет и публикует научные статьи в солидных издательствах (напр., в изд-ве Шпрингер), ведет активную изобретательскую работу (напр., «Предвестники землетрясений»). Одно из его изобретений в соавторстве с Заалишвили В.Б. было удостоено золотой медали Американо-Российского делового союза. Он автор и соавтор более 85 опубликованных научных трудов, в том числе 34 публикаций в международных базах данных Web of Science и Скопус, а также 5 патентов РФ. Мало того, к 2009 году Хыйса Османович сдал все необходимые для защиты диссертации кандидатские экзамены!



В соответствии с Государственным заданием он являлся руководителем трех научных тем, что без наличия ученой степени, на первый взгляд, выглядит просто нереальным. Правда, ему помогали большой опыт, склонность к научной работе и участие в работе нас, докторов наук.

Кроме глубокой научной направленности в своей работе Х.О. Чотчаев также занимался активной научно-производственной деятельностью и развитием аппаратного обеспечения, а также вопросами методических разработок по геофизике. Он хорошо разбирался в проектно-сметных вопросах геофизических исследований.

За время работы в ГФИ ВНИЦ РАН Чотчаев Х.О. при реконструкции Рокских тоннелей руководил выделением опасных на обвал участков горных пород и обеспечивал геотехнический и гидрогеологический контроль состояния транспортных и деривационных тоннелей, им были исследованы 12 участков для мостовых переправ через рр. Паца и Джоджора в Южной Осетии по просьбе Омских мостостроителей, была дана геолого-структурная и геоморфологическая характеристика строительной площадки под высоковольтную подстанцию на Северном портале Рокского тоннеля по заявке Иркутских энергетиков и др. В 2012 году он руководил полевыми исследованиями площадки строительства Чеченской ГЭС.

В 2009-2010 гг. он руководил полевыми исследованиями в составе работ по разработке первых вероятностных карт сейсмической опасности для массового строительства и для строительства ответственных сооружений территории г. Владикавказа.

Он принимал активное участие в оценках сейсмичности строительных площадок целого ряда школ и жилых зданий, исследовал сейсмичность строительной площадки храма Александра Невского, принимал активное участие при оценках технического состояния целого ряда жилых зданий и выявлении аварийной застройки на территории Владикавказа. Чотчаев Х.О. также активно участвовал в изучении условий прокладки Газопровода в Южную Осетию, в разработке Программы долгосрочного развития горнодобывающей отрасли для РЮО и концепции подготовки геологических кадров в рекомендуемой к созданию геофизической лаборатории при Юго-Осетинском государственном университете.



В целом, за время работы только в ГФИ ВНИЦ РАН он составил более 20 отчётов по результатам инженерно-геологических исследований на различных промышленных объектах Северной Осетии.

С 2008 года Чотчаев Х.О. являлся председателем первичной профсоюзной организации РАН, которая была организована самой первой и долгие годы, вплоть до 2016 года, была единственной среди институтов Российской академии наук, расположенных в г. Владикавказе. Распоряжением Профсоюза работников Российской академии наук «За активную плодотворную работу в профсоюзной организации Геофизического института – филиала ФГБУН ФНИЦ «Владикавказский научный центр Российской академии наук» по защите социально-трудовых прав и интересов членов профсоюза он был награжден Почетной грамотой Профсоюза работников РАН.

Чотчаев Х.О. – заслуженный работник промышленности РСО-Алания (2018), награжден Почетной грамотой профсоюза работников РАН (2018), нагрудным знаком «Отличник разведки недр» (2007), Почетной грамотой Министерства архитектуры и строительной политики РСО-Алания (2010) и других ведомств и организаций. За особые заслуги и значительный индивидуальный вклад в социально-экономическое развитие города Владикавказа Муниципальное Образование наградило его Почетной грамотой (2019).

Необходимо отметить его многолетний добросовестный труд и весомый вклад в развитие научного журнала «Геология и геофизика Юга России», который в 2021 году был включен в международную базу данных Скопус, и, где Х.О. Чотчаев был бессменным выпускающим редактором.

18 июня 2021 года в свои 78 лет, Хыйса Османович успешно защитил под моим руководством диссертацию «Влияние геодинамических процессов на геоэкологическое состояние высокогорных территорий (на примере туристско-рекреационного комплекса «Мамисон» в Северной Осетии)» на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук, утвержденной 28 октября 2021 г. решением ВАК.

Указанная работа т.н. первым оппонентом и ведущей организацией в своих отзывах была оценена прямо в качестве докторской. Второй оппонент рассматривал такую возможность положительно.

В завершение хотелось бы сказать несколько слов о самой личности Х.О. Чотчаева. Хыйса Османович всегда выделялся безукоризненным воспитанием и некоторой горской сдержанностью. В любой, даже самой сложной ситуации, он всегда был за диалог. Прямой и принципиальный, он мог принимать собеседника, да и саму жизнь такими, какими они были. В отличие от молодого поколения он много читал. Имел хорошее образование. При необходимости проверял экспериментальные материалы и результаты с помощью теоретических выкладок. Любое поручение Хыйсой Османовичем выполнялось в срок. При этом делал он это с необыкновенной легкостью, что нас весьма сближало. Наука и научные идеи не могут развиваться только в рабочее время. Идея формируется внутри каждого активного ученого и дает свои, иногда совсем неожиданные результаты.

Хыйса Османович был всегда окружен молодежью. Был строгим к их деятельности. В то же время при малейшей необходимости вставал на их защиту.

Ушел в вечность Хыйса Османович Чотчаев, достойный Человек и Ученый...

*Главный редактор журнала «Геология и геофизика Юга России»
Владислав Заалишвили*

**ГЕОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА
ЮГА РОССИИ
(№4. 2021 г. Том 11)**

Главный редактор *В.Б. Заалишвили*

Подписано в печать 24.12.2021 г. Формат 60×84 1/8.

Дата фактического выхода 30.12.2021 г.

Усл. печ. лист 22,5 Гарнитура «Times».

Бумага офсетная. Печать цифровая. Тираж 100 экз. Заказ № 173.

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

