

ISSN 0016-7762 (Print)
ISSN 2618-8708 (Online)

2022

Том 64, № 2
Vol. 64, #2

PROCEEDINGS OF HIGHER
EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS
GEOLOGY AND EXPLORATION

2

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ)

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА

Научно-методический журнал

Том 64, № 2
2022

Журнал издается с января 1958 г.
Периодичность: 6 раз в год

Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRU)

PROCEEDINGS OF HIGHER EDUCATIONAL ESTABLISHMENTS

GEOLOGY AND EXPLORATION

Scientific methodological journal

Vol. 64, No. 2
2022

The journal has been published since 1958
Frequency: Bimonthly

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ

В журнале «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» публикуются статьи, содержащие результаты теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в вузах и научно-исследовательских учреждениях, геолого-разведочных предприятиях, а также в порядке личной инициативы авторов. Печатаются обзорные статьи, освещающие современное состояние актуальных проблем геологической науки и геолого-разведочной практики, материалы научных конференций, симпозиумов и совещаний. Журнал пропагандирует передовой производственный опыт.

Журнал «Известия высших учебных заведений. Геология и разведка» за более чем 60 лет своей деятельности утвердил себя как одно из ведущих и авторитетных научных периодических изданий в области наук о Земле. Он действительно участвует в решении научно-технических проблем, пропагандирует новейшие достижения и укрепляет авторитет вузовской и отраслевой науки в области геологии, способствует повышению уровня подготовки высококвалифицированных инженерных, научных и педагогических кадров.

Главный редактор

Керимов Вагиф Юнус оглы, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геолого-разведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Заместители главного редактора

Кузнецов Николай Борисович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Геологический институт Российской академии наук, г. Москва, Россия

Попов Юрий Анатольевич, доктор физико-математических наук, профессор, Сколковский институт науки и технологий, г. Москва, Россия

Члены редакционной коллегии

Гаранин Виктор Константинович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана РАН, г. Москва, Россия

Дроздов Дмитрий Степанович, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт криосферы Земли Сибирского отделения РАН, г. Тюмень, Россия

Дронов Андрей Викторович, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Игнатьева Маргарита Николаевна, доктор экономических наук, профессор, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Россия

Леонов Михаил Георгиевич, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Геологический институт РАН, г. Москва, Россия

Маслов Андрей Викторович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Институт геологии и геохимии им. академика А.Н. Заварицкого Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Россия

Марин Юрий Борисович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Петров Владислав Александрович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, директор Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

Плечов Павел Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, директор, Минералогический музей имени А.Е. Ферсмана, г. Москва, Россия

Самсонов Александр Владимирович, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва, Россия

Семинский Константин Жанович, доктор геолого-минералогических наук, Институт земной коры Сибирского отделения РАН, г. Иркутск, Россия

Тихоцкий Сергей Андреевич, член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

Толстов Александр Васильевич, заслуженный геолог Российской Федерации, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Акционерная компания АЛРОСА (ПАО), Республика Саха (Якутия), г. Мирный, Россия

Фридовский Валерий Юрьевич, член-корреспондент РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Институт геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, г. Якутск, Россия

Серов Сергей Геннадьевич, ответственный секретарь, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Иностранные члены редакционной коллегии

Амро Мухамед Муса, PhD, директор Института бурения и добычи, Технический университет «Горная академия Фрайберг», г. Фрайберг, Германия

Баосун Ма, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов, Университет Сунь Ятсена, г. Гуанчжоу, Китай

Вердоа Массимо, PhD, профессор, Университет Генуи, г. Генуя, Италия

Гулиев Ибрагим Саид оглы, академик НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Етирмишли Гурбан Джалал оглы, член-корреспондент НАН Азербайджана, доктор геолого-минералогических наук, генеральный директор Республиканского центра сейсмологической службы, Национальная академия наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Фулун Нин, PhD, профессор, профессор и руководитель аспирантов Национального центра международных совместных исследований по глубокому бурению и разработке месторождений полезных ископаемых, Китайский геологоразведочный университет, г. Ухань, Китай

GEOLOGY AND EXPLORATION

Хуанг Шаопенг, PhD, профессор, Сианьский университет Цзяотун, г. Сиань, Китай; Шэньчжэньский университет, г. Шэньчжэнь, Китай; приглашенный научный сотрудник, Университет Мичигана, г. Энн-Арбор, США

Шестопалов Юрий Викторович, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра электроники, математики и естественных наук, Университет Евле, г. Евле, Швеция

Эппельбаум Лев Виленович, Dr. of Sci. (Geophys.), профессор кафедры геофизики, Тель-Авивский университет, г. Тель-Авив, Израиль

Редакционный совет

Председатель редакционного совета

Панов Юрий Петрович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, исполняющий обязанности ректора, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Члены редакционного совета

Гусев Павел Николаевич, главный редактор, газета «Московский комсомолец», г. Москва, Россия (по согласованию)

Игнатов Пётр Алексеевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Машковцев Григорий Анатольевич, доктор геолого-минералогических наук, профессор, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н.М. Федоровского, г. Москва, Россия (по согласованию)

Мустаев Рустам Наильевич, кандидат геолого-минералогических наук, доцент, проректор по научной работе, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Назарова Зинаида Михайловна, заслуженный работник высшей школы Российской Федерации, доктор экономических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, Россия

Трубецкой Климент Николаевич, академик РАН, доктор технических наук, профессор, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, г. Москва, Россия

История издания журнала	Издается с января 1958 г.
Периодичность	6 раз в год
Префикс DOI	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Свидетельство о регистрации средства массовой информации	ПИ №ФС77-59165 от 18.09.2014 г. (Роскомнадзор)
Учредитель и издатель	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия
Редакция	ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе», Серов Сергей Геннадьевич (ответственный секретарь) 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия +7 (495) 255-15-10, доб. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Тираж	100 экз.
Дата выхода в свет	15.09.2022
Типография	Отпечатано в ООО «Издательство «Триада»: 9, оф. 514, Чайковского пр., г. Тверь 170034, Россия
Копирайт	© Известия высших учебных заведений. Геология и разведка, 2022
Стоимость одного выпуска	Свободная цена
Условия распространения материалов	Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License
Индексация	РИНЦ, DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat. Включен в Ulrich's Periodicals Directory. Журнал входит в перечень периодических научных изданий РФ, рекомендованных ВАК для публикации основных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора наук

GEOLOGY AND EXPLORATION

FOCUS AND SCOPE

Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration publishes original scientific articles presenting significant results of theoretical and experimental studies carried out by researchers from universities, research institutions and exploration companies, as well as by independent investigators. The Journal publishes review articles on topical issues of geological science and mineral resource exploration practice, along with the materials of such scientific events as conferences, workshops and roundtables. The Journal is also aimed at promoting advanced industrial experience.

During more than 60 years of its existence the Journal *Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration* has established itself as one of the leading and reputable scientific periodicals of the country in the field of Earth sciences. The Journal effectively participates in solving of scientific and technical problems, promoting the latest progresses and strengthens the authority of university and industry research in geology. It helps to improve the preparation of highly qualified engineers, scientists and teachers.

Editor-in-Chief

Vagif Y. Kerimov, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Deputy Editors-in-Chief

Nikolay B. Kuznetsov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Deputy Director for research, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Yuri A. Popov, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Prof., Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

Editorial Board

Viktor K. Garanin, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Dmitry S. Drozdov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Researcher, Institute of the Earth Cryosphere of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

Andrey V. Dronov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Margarita N. Ignatyeva, Dr. of Sci. (Economics), Prof., Ural State Mining University, Yekaterinburg, Russia

Mikhail G. Leonov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Senior Scientist, Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Andrey V. Maslov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

Yuriy B. Marin, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Saint-Petersburg Mining University, St. Petersburg, Russia

Vladislav A. Petrov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Director, Institute of Geology of ore deposits, petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Pavel Yu. Plechov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Fersman Mineralogical Museum, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander V. Samsonov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Konstantin Zh. Seminsky, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Institute of the Earth's Crust of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russia

Sergey A. Tikhotskiy, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Director, Schmidt Institute of Physics of the Earth of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Alexander V. Tolstov, Honored Geologist of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., ALROSA Public Joint Stock Company, Mirny, Yakutia, Russia

Valeriy Yu. Fridovsky, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, Diamond and Precious Metal Geology Institute of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

Sergey G. Serov, executive secretary, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Foreign members of the Editorial Board

Moh'd M. Amro, PhD, Director of Institute of Drilling Technology and Fluid Mining, Technical University Bergakemie Freiberg, Freiberg, Germany

Ma Baosong, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students, Sun YatSen University, Guangzhou, China

Massimo Verdoya, PhD, Prof., Università degli Studi di Genova, Genoa, Italy

Ibrahim S. Guliev, Academician of the NAS of Azerbaijan, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Gurban J. Yetirmishli, Corresponding Member of Azerbaijan National Academy of Sciences (ANAS), Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), General director of Republican Seismic Survey Center of ANAS head of seismology division, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan

Ning Fulong, PhD, Prof., research supervisor of doctoral students at the National Center for International Research on Deep Earth Drilling and Resource Development, China University of Geosciences, Wuhan, China

Shaopeng Huang, PhD, Prof., Shenzhen University, Institute of Deep Earth Sciences and Green Energy, Shenzhen, China; Adjunct Research Scientist, Department of Earth and Environmental, University of Michigan, Ann Arbor, USA
Yury V. Shestopalov, Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Department of Electronics, Mathematics and Natural Sciences, University of Gävle, Gävle, Sweden
Lev V. Eppelbaum, Dr. of Sci. (Geophys.), Prof., Department of Geophysics, Tel Aviv University, Tel-Aviv, Israel

Editorial Council

Chairman of the Editorial Council

Yuri P. Panov, Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher, Acting Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Members of the Editorial Council

Pavel N. Gusev, Editor-in-Chief, Moskovskii Komsomolets newspaper, Moscow, Russia

Petr A. Ignatov, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Grigoriy A. Mashkovtsev, Dr. of Sci. (Geol.-Mineral.), Prof., Director, All-Russian Scientific Research Institute of Mineral Resources named after N.M. Fedorovsky, Moscow, Russia

Rustam N. Mustaev, Cand. of Sci. (Geol.-Mineral.), Associate Professor, Vice-Rector for Scientific Work, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Zinaida M. Nazarova, Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Dr. of Sci. (Economics), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

Kliment N. Trubetskoy, Academician of the Russian Academy of Science, Dr. of Sci. (Engineering), Prof., Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Academician N.V. Melnikov Institute of Problems of Integrated Development of Mineral Resources of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Founded	The journal has been published since January, 1958
Frequency	6 times per year
DOI Prefix	https://doi.org/10.32454/
ISSN print	0016-7762
ISSN online	2618-8708
Mass Media Registration Certificate	PI No. FS 77-59165 issued 18.09.2014 by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Mass Media (Roskomnadzor)
Founder and Publisher	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
Editorial Office	Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Sergey G. Serov (executive secretary) 23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia +7 (495) 255-15-10, ext. 2289 https://www.geology-mgri.ru E-mail: journal-geology@mgri.ru
Circulation	100 copies
Publication date	15.09.2022
Printing House	"Triada" publishing house: 9, Tchaikovsky Ave, office 514, Tver 170034, Russia
Copyright	© Proceedings of Higher Educational Establishments. Geology and Exploration
Price	Flexible
Distribution	The content is distributed under the Creative Common License CC BY
Indexation	Russian Science Citation Index (RSCI), DOAJ, GeoRef, Google Scholar, Chemical Abstracts, Worldcat, Ulrich's Periodicals Directory. The Journal is included in the List compiled by the Higher Attestation Commission of the Russian Federation of peer-reviewed scientific publications in which the main scientific results of dissertations for obtaining the scientific degree of the Candidate of Sciences or Doctor of Science are to be published.

СОДЕРЖАНИЕ

ВОПРОСЫ ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

8 ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ МГРИ НА 2023—2025 ГГ.

Ю.П. ПАНОВ

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ

18 ПЕТРОУПРУГОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ АНАЛИЗА АНИЗОТРОПИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ В МАСШТАБАХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

М.К. САВОЙСКАЯ, И.О. БАЮК

24 ОБЗОР ОБОСНОВАНИЙ К ВВЕДЕНИЮ ТЕРМИНА «ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

В.В. АКСЕНОВ

ГЕОЛОГИЯ

31 ПРОГНОЗ МОРФОЛОГИИ И УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ ХРОМИТОВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ЛАБОГЕЙСКОЕ-2 (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ))

Т.П. МОРОЗОВА, Е.В. КАРЕЛИНА, В.Е. МАРКОВ

ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТВЕРДЫХ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

39 СОДЕРЖАНИЕ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ RA^{226} , Tl^{232} , K^{40} В ТИТАНОВЫХ РУДАХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ ПИЖЕМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.Б. МАКЕЕВ

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ, ЛИТОЛОГИЯ

47 МИНЕРАЛОГИЯ ИНТЕРЬЕРНО-ЮВЕЛИРНЫХ АММОНИТОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ, Е.Ю. БАРАБОШКИН

57 ПЕТРОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ ПЕМЗЫ ВУЛКАНА ПИК САРЫЧЕВА, О. МАТУА, ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КУРИЛЫ

В.М. ОКРУГИН, Е.Д. СКИЛЬСКАЯ, С.В. МОСКАЛЕВА

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

68 ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ И ПРОДУКТОВ ИХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН (АЛБАЗИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, СЕВЕР ХАБАРОВСКОГО КРАЯ)

Т.Г. РЯЩЕНКО, Е.А. МАСЛОВ, Е.В. БРЫЖАК, С.И. ШТЕЛЬМАХ

80 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПО ДАННЫМ МЕЖЕННОГО СТОКА ТЕРРИТОРИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

И.А. ЛЯМИН

92 ГИДРОГЕОЛОГИЯ АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНОВ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ И ЯМАЛО-ГЫДАНСКОЙ МЕГАСЕДЛОВИНЫ

С.С. ВЛАСЕНКО

НЕКРОЛОГ

100 ПАВЕЛ ПАВЛОВИЧ ЯСКОВСКИЙ

(05.04.1946—20.07.2021)

GEOLOGIC AND PROSPECTING EDUCATION ISSUES

- 8 DEVELOPMENT PROGRAMME OF SERGO ORDZHONIKIDZE RUSSIAN STATE UNIVERSITY FOR GEOLOGICAL PROSPECTING (MRGI) FOR 2023—2025**
YURI P. PANOV

GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- 18 PETROELASTIC SIMULATION AS A METHOD FOR ANALYSING THE ANISOTROPY OF ELASTIC PROPERTIES ON THE SCALE OF SEISMIC SURVEYS**
MARINA K. SAVOYSKAYA, IRINA O. BAYUK
- 24 REVIEW OF RATIONALES FOR THE INTRODUCTION OF THE “GEOPHYSICAL ELECTRODYNAMICS” TERM**
VALENTIN V. AKSENOV

GEOLOGY

- 31 FORECAST OF THE MORPHOLOGY AND OCCURRENCE CONDITIONS OF COMPLEX CHROMITE ORE BODIES (ON THE EXAMPLE OF LABOGEYSKOE-2 SITE, POLAR URALS)**
TATIANA P. MOROZOVA, ELENA V. KARELINA, VLADIMIR E. MARKOV

GEOLOGY AND PROSPECTING FOR SOLID MINERAL DEPOSITS

- 39 CONTENT OF RA^{226} , TH^{232} AND K^{40} NATURAL RADIONUCLIDES IN THE TITANIUM ORES AND HOST ROCKS OF THE PIZHEMSKOYE DEPOSIT**
ALEXANDER B. MAKEYEV

MINERALOGY, PETROGRAPHY, LITHOLOGY

- 47 MINERALOGY OF INTERIOR JEWELLERY AMMONITES OF THE SAMARA REGION**
DMITRY A. PETROCHENKOV, EVGENY Yu. BARABOSHKIN
- 57 PETROCHEMISTRY AND MINERALOGY OF PUMICE FROM THE SARYCHEV PEAK VOLCANO, MATUA ISLAND, CENTRAL KURIL ISLAND**
VIKTOR M. OKRUGIN, ELENA D. SKILSKAIA, SVETLANA V. MOSKALEVA

HYDROGEOLOGY AND ENGINEERING GEOLOGY

- 68 AN ENGINEERING-GEOLOGICAL STUDY OF ROCK SOILS AND THE PRODUCTS OF THEIR FRACTURE ZONES (ALBAZINSKOE DEPOSIT, NORTH Khabarovsk Krai)**
TAMARA G. RYASHCHENKO, EGOR A. MASLOV, EVGENY V. BRYZHAK, SVETLANA I. SHTEL'MAKH
- 80 DETERMINATION OF THE AMOUNT OF INFILTRATION SUPPLY ACCORDING TO THE DATA OF LOW-WATER RUNOFF IN A TAILING STORAGE AREA**
ILYA A. LYAMIN
- 92 HYDROGEOLOGY OF THE ARTESIAN BASINS OF THE SOUTHERN PART OF THE KARA SEA AND YAMAL-GYDANSK MEGASADDLE**
SERGEY S. VLASENKO

MEMORIAL

- 100 PAVEL PAVLOVICH YASKOVSKIY**
(05.04.1946—20.07.2021)



ПРОГРАММА РАЗВИТИЯ МГРИ НА 2023—2027 ГГ.

Ю.П. ПАНОВ

*ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия*

АННОТАЦИЯ

Для успешного выполнения программы воспроизводства минерально-сырьевой базы России необходимо обеспечить кадровую безопасность отрасли, принять неотложные меры по воспроизводству и сохранению специалистов по поискам и разведке твердых полезных ископаемых, гармонизировать качество подготовки геологов горных инженеров с темпами освоения минеральных ресурсов. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе в новых условиях реализует стоящие перед ним задачи по подготовке кадров. Это направление деятельности университета отражено в Программе развития вуза на 2023—2027 гг.

Ключевые слова: геологоразведка, геологическое изучение недр, подготовка инженеров геологов, Российский государственный геологоразведочный университет, Программа развития МГРИ

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Панов Ю.П. Программа развития МГРИ на 2023—2027 гг. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022;64(2):8—17.
<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-8-17>

Статья поступила в редакцию 29.08.2022

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

DEVELOPMENT PROGRAMME OF SERGO ORDZHONIKIDZE RUSSIAN STATE UNIVERSITY FOR GEOLOGICAL PROSPECTING (MRGI) FOR 2023—2027

YURI P. PANOV

*Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

ABSTRACT

Russia's national Programme for the Reproduction of the Mineral Resource Base cannot be implemented successfully without coordination between the quality of mining specialist training and the

Proceedings of higher educational establishments
Geology and Exploration
2022;64(2):8—17

pace of developing mineral resources both in terms of solving methodological issues and providing stable funding.

The Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University carries out its activities aimed at training specialists for organizations of the Federal Agency for Subsoil Use. This direction is elucidated in the Programme and Development Strategy of the University for 2023–2027.

Keywords: geological exploration, subsoil geological study, training of geological engineers, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, MGRI development programme and strategy

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Panov Yu.P. Development Programme of Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI) for 2023—2027. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):8—17. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-8-17>

Manuscript received 29 August 2022

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

Введение

В последние годы в России сохраняются невысокие темпы прироста прогнозных ресурсов из-за сокращения поискового задела и отсутствия площадей с достоверно оцененными прогнозными ресурсами. Объективные трудности заключаются в том, что бюджет отрасли сокращен, а непосредственно на производство геолого-разведочных работ планируется 25—27 млрд руб. Секвестирована также госпрограмма воспроизводства и использования природных ресурсов [6, 7].

Планируемое финансирование на проведение геолого-разведочных работ только на воспроизводство минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых составляет всего 5,0—5,5 млрд руб. Как следствие недофинансирования прирост запасов по некоторым видам твердых полезных ископаемых находится в «красной» зоне. Также из-за сложных географических условий и расположения более 60% территории страны в зоне многолетнемерзлых пород отмечается слабая инвестиционная привлекательность освоения месторождений полезных ископаемых, особенно в ее арктической области. Хотя в последние десятилетия выявлены крупные и средние запасы и ресурсы некоторых видов стратегических полезных ископаемых и цветных металлов (газ, нефть, уголь, благородные металлы, алмазы, медь, никель, железо, апатит, калийные соли и др.), сохраняется дефицит запасов в недрах бокситов, руд хрома и марганца, фосфоритов, барита, бентонита и каолина [3, 11].

По результатам геолого-разведочных работ, выполненных предшественниками, создаются новые центры добычи медных руд на Удоканском месторождении медистых песчаников и медно-порфировых месторождений Песчанка и Малмыж на Дальнем Востоке.

Согласно «Стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года» предстоит создание рудных баз коренного золота на юге Сибири и на Дальнем Востоке. В Восточной Сибири и Республике Саха ответственной задачей геологического изучения недр остается локализация новых перспективных алмазоносных площадей. Освоение крупнотоннажных месторождений крайне важно для таких видов полезных ископаемых, как черные и цветные металлы, уран, редкоземельные оксиды, драгоценные металлы и алмазы, неметаллические полезные ископаемые. На выявление медно-порфировых месторождений в Дальневосточном регионе направлено проведение поисковых геолого-разведочных работ. Территория Дальнего Востока станет одним из перспективных районов для развития золоторудной и медной промышленности. Здесь будет создан крупный медно-добывающий горный комплекс. Предстоит освоение районов добычи железной руды Западной Сибири и создание горнодобывающих предприятий на Дальнем Востоке. Полиметаллические руды вовлекаются в производство при освоении месторождений Рудного Алтая [5, 14]. Важно также решать технологические вопросы комплексного освоения недр известных рудных регионов.

Однако эксперты сходятся во мнении, что процессы геологического изучения недр России не столь динамичны, что обусловлено отставанием регионального изучения недр, темпов проведения опережающих поисковых работ, а также исчерпанием поискового задела. Это привело к сокращению объема локализованных прогнозных ресурсов и уменьшению достоверности их оценки.

Немаловажными проблемами геологического изучения недр, требующими оперативного решения, остаются проблемы:

- дефицита некоторых видов минерального сырья (марганцевые и хромовые руды, бокситы, титан, уран, благородные и цветные металлы);
- низкого темпа воспроизводства запасов твердых полезных ископаемых в недрах;
- **снижения уровня кадрового потенциала геолого-разведочной отрасли.**

Методические подходы к решению проблем геологического изучения недр разработал наш выдающийся соотечественник академик В.И. Вернадский, который писал: «В мировом масштабе выживет та страна, которая в точности будет **знать свои ресурсы**, сумеет направить на их использование народные духовные силы» [1].

Какими же минеральными ресурсами располагает наша страна? Их отличительными особенностями является:

- минеральные ресурсы — основа валютных поступлений страны;
- неравномерность географического размещения минеральных ресурсов на территории страны;
- большие запасы и ресурсы некоторых стратегических видов полезных ископаемых в том числе углеводородов, цветных и легирующих металлов, железной руды, апатита и калийной соли;
- дефицит запасов и обусловленный им до введения санкций импорт в страну руд хрома и марганца, бокситов, барита и фосфоритов [11].

Ценность минерально-сырьевой базы страны определяется природными факторами; сложностью и себестоимостью технологий добычи и переработки минерального сырья; степенью развитости инфраструктуры территорий; конъюнктурой цен на мировом рынке. По данным USGS, ценность недр России оценивалась более чем в 28 трлн долларов США.

Сохранение и преумножение минерально-сырьевой базы страны напрямую зависит от минерагенической результативности региональных геологических исследований и опережающих прогнозных работ с использованием новых методик аэрогеофизических и квази наземных

полевых работ с применением БПЛА. Выделение перспективных на выявление полезных ископаемых геотектонических таксонов должно быть основано на разработке новых и актуализации имеющихся методик по обработке геохимических данных. Особенностью проведения геологического исследования недр и проведения прогнозных и поисковых работ является их направленность на выявление скрытого оруденения из-за сокращения площадей с выходящими на земную поверхность полезными ископаемыми.

Поисковые модели должны быть оснащены современными цифровыми технологиями, системами искусственного интеллекта, получения экспресс-анализа результатов геологических, геофизических и геохимических исследований недр.

Важнейшим условием реализации основных направлений геологического изучения недр и опережающих поисковых работ для укрепления минерально-сырьевой базы должно явиться цифровое обеспечение и сопровождение инновационных методов и технологий научно-исследовательских и геолого-разведочных работ. При этом особое внимание должно быть направлено на опережающее и интенсивное воспроизводство стратегических видов полезных ископаемых и редкоземельных элементов [14, 15].

Российская экономика и, в частности, предприятия горнодобывающей отрасли находятся сегодня в ситуации неопределенности из-за введенных против России санкций. Строить долгосрочные прогнозы в этой ситуации сложно, но оценивать новые риски и разрабатывать планы на кратко- и среднесрочную перспективы уже можно и нужно.

Во-первых, существующие проблемы с экспортом углеводородного сырья и переходом стран на безуглеродную энергетику приведут к структурным изменениям в сфере энергетики и технологий, связанным с использованием возобновляемых источников энергии. Снижение добычи нефти на 17% и газа на 4% по сравнению с 2021 г. означает уменьшение углеродной генерации энергии, что потребует перевода промышленности и оборонного комплекса на использование безуглеродной и ядерной энергетики и структурной перестройки минерально-сырьевой базы страны.

Истощаются запасы стратегических и дефицитных минеральных ресурсов в стране. Темпы сокращения выросли вдвое и по данным Счетной палаты РФ если в 2018 г. новыми открытиями покрывалось 63% добычи полезных ископаемых, то в 2020 г. доля упала до 32% что является

прямой угрозой минерально-сырьевой и экономической безопасности страны [15].

Перспективы наращивания минерально-сырьевой базы и создание условий для обеспечения страны энергетическим сырьем должны быть увязаны с **кадровой безопасностью отрасли**, что может быть достигнуто совместными усилиями организаций высшего образования, академических, отраслевых институтов, недропользователей в системе подготовки специалистов-геологов, способных решить поставленные перед геолого-разведочной отраслью задачи [2, 9, 12].

Новые экономические и геополитические отношения в мире требуют государственной и межотраслевой поддержки в решении проблем подготовки специалистов геологического профиля.

Это будет возможно при условии трансформации высшего геологического образования в **учебно-инновационную деятельность**. Горно-геологическое образование должно стать основой опережающего развития таких приоритетных научно-технологических и научно-технических направлений, как [4, 10]:

- переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам;
- создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта;
- переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки минерального сырья.

В отношении структуры и качества подготовки выпускников вузов геологическое образование испытывает определенные трудности, хотя неоднократно на съездах геологов отмечалась особая роль геологии и геологического образования в России для развития минерально-сырьевой базы и повышения эффективности освоения недр как основы возрождения и подъема отечественной экономики [15].

Тревожно обстоит дело с подготовкой кадров по воспроизводству минерально-сырьевой базы твердых полезных ископаемых. Прием абитуриентов в 2021 г. на направление «Прикладная геология» в российских вузах составил всего 1725 человек на всю страну, из которых по специализации «геологическая съемка, поиски и разведка твердых полезных ископаемых» обучаются не более 700 человек. Следует отметить, что технические вузы и факультеты выпускают с учетом естественного отсева обучающихся около 60% от поступавших. Это ставит вопрос

о кадровой **безопасности минерально-сырьевого комплекса** и необходимости принятия неотложных мер по сохранению специалистов по поискам и разведке твердых полезных ископаемых.

Обеспечение экономической и оборонной безопасности страны на ближайшее десятилетие невозможно без воспроизводства и закрепления в геолого-разведочной отрасли прежде всего инженерных кадров на базе специализированных вузов и факультетов, реализующих обучение специалистов по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки УГСН 25.00.00 «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия».

Горно-геологическое образование необходимо перестроить на моноуровневую систему подготовки инженерных кадров на основе методического единства профессионального обучения, практической геологической деятельности и естественно-научных знаний в области фундаментальных геологических наук [2, 10].

Это следует из традиций сохранения высокого качества профессионального геологического образования, достигнутого геологической школой России и основанного на принципе триединства: **геологическая наука — обучение — геологическая практика**.

МГРИ, являясь отраслевым вузом, сохраняет традиции подготовки горных инженеров геологов, геофизиков, гидрогеологов, буровиков и горняков, обладает рядом **конкурентных преимуществ** по сравнению с федеральными сырьевыми университетами, ориентированными на подготовку кадров для развития региональной минерально-сырьевой базы:

- МГРИ является единственным в мире высшим учебным геолого-разведочным учреждением по подготовке специалистов в сфере методики, техники и технологии геологической разведки **по широкому спектру различных видов полезных ископаемых** [8];
- МГРИ, в отличие от других вузов и институтов, **реализует полную траекторию горно-геологического образования**: от поисков и прогноза месторождений полезных ископаемых в недрах до геотехнологии их добычи и переработки, а также экономической оценки рисков и экологического мониторинга состояния недр. Смежные специальности, например «Информационные системы и технологии», осваиваются на основе геологических знаний и компетенций;
- МГРИ является **головным вузом Учебно-методического совета по прикладной геологии**

и технологии геологической разведки твердых полезных ископаемых в системе Федерального учебно-методического объединения в сфере высшего образования по укрупненной группе специальностей «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия», объединяющего более 60 вузов горно-геологического профиля. МГРИ является разработчиком **Федеральных государственных образовательных стандартов (ФГОС ВО)** по Прикладной геологии и Технологии геологической разведки, по которым реализуются современные образовательные программы во всех технических вузах;

- МГРИ **определяет образовательную безопасность подготовки кадров для геолого-разведочной отрасли** путем гармонизации профессиональных компетенций выпускников по основным образовательным программам с общими трудовыми функциями инженеров геологов, геофизиков, буровиков, минералогов и геохимиков;

- в образовательных программах МГРИ **приоритеты научно-технического развития РФ соответствуют общепрофессиональным образовательным компетенциям**, закрепленным в Федеральном государственном образовательном стандарте для горно-геологических специальностей университета;

- МГРИ **располагает** не только комфортной инфраструктурой учебных баз практик, но и **эталонными полигонами проведения геолого-съёмочной практики на территории Крыма, горно-буровой, инженерно-геофизической геологической и практик на Сергиево-Посадском учебном полигоне;**

- МГРИ **на протяжении более 100 лет демонстрирует устойчивость образовательной политики в сфере геологоразведки и горного дела за счет признанных в профессиональном сообществе научных школ** и преемственности поколений геологоразведчиков. Среди научных школ МГРИ общепризнанными являются: геология нефти и газа (Губкин И.М.) геотектоника (Шатский Н.С.), методики и технологии разведки (Козловский Е.А.), гидрогеологии (Каменский Г.Н.), гидрогеохимии (Швец В.М.), разведочной геофизики (Гамбурцев Г.А.), геологии и разведки полезных ископаемых (Смирнов В.И.), геотехнологии (Лобанов Д.П.);

- в МГРИ **созданы два уникальных музейных комплекса** — Минералогический музей и Геолого-палеонтологический музей, занимающиеся не только научной, но и образовательной деятельностью с молодежью и популяризацией геологии как одной из важных наук о Земле;

- в МГРИ для усиления научно-образовательного взаимодействия созданы и успешно **работают базовые кафедры совместно со структурными подразделениями Роснедра**, непосредственно занимающимися геологическими исследованиями недр, проведением прогнозно-ревизионных работ с привлечением молодых специалистов. Это кафедры «Комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых» при ФГБУ ВИМС, «Прогноз, поиски и разведка рудных месторождений» при ФГБУ ЦНИГРИ; «Прикладная геохимия» при ФГБУ ИМГРЭ. Базовая кафедра «Методики изучения рудных месторождений» создана совместно с ИГЕМ РАН для более глубокого научно-технического взаимодействия МГРИ с отраслевыми и академическими институтами;

- МГРИ **располагает современным инженеринговым центром**, оснащенным технологическим и лабораторным оборудованием, как аналитическим центром коллективного пользования обработки результатов полевых исследовательских экспедиций и новых данных о результатах проведенных прогнозно-поисковых работ;

- в МГРИ **функционирует Научно-исследовательский центр минералогии и геммологии**, который сохраняет ведущую позицию в исследовании и экспертизе драгоценных, коллекционных минералов и самоцветов;

- в МГРИ **уже 75 лет существует система непрерывного геологического образования** и опережающей подготовки профессиональных геологов на «Школьном факультете», начиная со школьников 6—7-х классов и включая студентов техникума и вуза, при содействии Российского геологического общества и региональных организаций, объединенных в «Детско-юношеское геологическое движение».

Для функционирования МГРИ как ключевого отраслевого геолого-разведочного вуза с учетом сложной геополитической обстановки и специфики подготовки специалистов в новых экономических условиях коллективом **университета разработана Программа и стратегия его развития на 2023—2027 гг.**

Миссия университета

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) на протяжении своей 104-летней истории осознавало свою роль и ответственность ведущего вуза в стране, ориентированного на подготовку

высококвалифицированных специалистов практиков и ученых в сфере геологического изучения недр и недропользования.

Обладая высоким потенциалом опережающего развития, МГРИ определил свою миссию как **«Подготовка конкурентоспособных профессиональных кадров для приоритетных направлений экономики, связанных с развитием минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации в условиях глобальных вызовов и необходимости ускоренного достижения технологического суверенитета в геологической области за счет агрегации системы университетского профессионального образования и научных исследований мирового уровня».**

Реализация миссии университета в соответствии с Указом президента Российской Федерации В.В. Путина «О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года», ориентированной на инновационность, использование передовых направлений современной науки и технологии, позволяет рассчитывать на то, что выпускники МГРИ будут всегда востребованы в сфере геологоразведки и технологий освоения минерально-сырьевой базы России.

Университет формирует у студентов глубокие нравственные ориентиры, включая их в уникальную атмосферу российских геологов-первооткрывателей и ученых в сфере наук о Земле.

Стратегические цели

Университет на основе интеграции научно-образовательной и инжиниринговой деятельности должен стать эффективным кластером подготовки профессиональных и научных кадров в геолого-разведочной отрасли, в прикладных областях развития высокотехнологических решений для воспроизводства и использования минерально-сырьевой базы страны и обеспечения ее ресурсной, энергетической и экологической безопасности.

Основными потребителями эффективной деятельности МГРИ являются:

- Министерство науки и высшего образования Российской Федерации;
- Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации;
- Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра);
- Российский государственный холдинг «Росгеология»;
- Госкорпорация «Росатом»;

- ключевые отечественные компании минерально-сырьевого сектора экономики, нуждающиеся в выпускниках МГРИ и результатах научных исследований университета;

- дружественные зарубежные государства, заинтересованные в обучении своих специалистов и использовании знаний и опыта коллектива МГРИ;
- обучающиеся, профессорско-преподавательский состав, работники университета.

Исходя из этого Стратегия развития ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» ориентирована на удовлетворение основных требований и ожиданий потребителей, а именно на **«Кадровое и научное обеспечение развития и освоения минерально-сырьевой базы Российской Федерации в условиях глобальных вызовов».**

Стратегические цели

1. Занятие ведущих позиций среди российских высших учебных заведений в сфере подготовки специалистов по инновационным направлениям развития минерально-сырьевого комплекса Российской Федерации.

2. Завоевание лидерства в сегменте научной деятельности по цифровой трансформации системы недропользования в Российской Федерации.

3. Повышение мирового имиджа и закрепление лидирующих позиций в части подготовки иностранных профильных специалистов по минерально-сырьевому комплексу в интересах дружественных стран.

Целевая модель развития

Целевая модель развития геолого-разведочного образования и науки в МГРИ будет реализована в направлении:

- преобразования МГРИ в университетский научно-технологический геологический кластер, при котором университет должен стать базовым вузом геолого-разведочной отрасли, национальным лидером ключевых профессиональных компетенций в сети образовательных и производственных партнеров, агрегатором мультипроектов для развития прорывных инновационных, в том числе цифровых, технологий в области геологоразведки, горного дела и геоэкологии;
- организации взаимодействия университета с научными, образовательными организациями и бизнесом с целью формирования портфеля конкурентоспособных образовательных программ, привлекательных для студентов и важных для обеспечения современной науки

и практики высококвалифицированными специалистами;

- сохранения узнаваемого бренда и устойчивого имиджа МГРИ на основе обеспечения высокого уровня научных исследований и востребованных образовательных программ, позволяющих осуществлять подготовку высококвалифицированных специалистов в кампусе с комфортными инфраструктурными условиями для научно-производственной и образовательной деятельности в МГРИ;

- формирования научного и образовательного направления по цифровым трансформациям в сфере минерально-сырьевого комплекса, обеспечивающего опережающую инновационную подготовку высококвалифицированных специалистов для высокотехнологичного развития отрасли;

- создания инновационных разработок и подготовки кадров в условиях университета для их использования на практике;

- формирования профессионально-образовательной среды, отвечающей задачам инновационного развития отрасли и смежных направлений, основанных на информационном взаимодействии образовательных, научных организаций и бизнеса с применением облачных технологий;

- ориентации на обеспечение нового качества подготовки выпускников на основе развития научной и профессиональной составляющей учебного процесса, позволяющего обеспечивать развитие отрасли за счет роста уровня инновационной подготовки специалистов;

- привлечения, начиная со школы, талантливой молодежи в сферу геологии и освоения минеральных ресурсов страны;

- разработки и реализации программ подготовки высококвалифицированных молодых научно-педагогических работников;

- диверсификации образовательных программ, обеспечивающих рост конкурентоспособности выпускников на рынке труда и создание потенциала их профессиональной мобильности.

Отличительным признаком выделяемых стратегических приоритетов является внедрение новых, передовых средств, технологий в образовательной и научной сфере, способных обеспечить развитие как отрасли, так и университета.

Основные особенности целевой модели МГРИ

Целевая модель МГРИ — **приоритет инженерного образования в России**, показавшего свою состоятельность и целостность в отличие от Болонской системы оказания образовательных услуг.

Таким образом, МГРИ будет продолжать свою отраслевую направленность в развитии горно-геологической науки и подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса России.

Целевая модель гарантирует высокие темпы роста показателей научной и образовательной деятельности, а также формирование практической направленности отраслевой науки, профессионального образования и предпринимательства, в том числе и для дружественных государств, развивающих собственную минерально-сырьевую базу, в том числе со странами Африки, БРИКС и Юго-Восточной Азии.

Задачи по достижению целевой модели

Приоритетными направлениями деятельности МГРИ по достижению целевой модели являются:

- совершенствование и внедрение инновационных форм образования, консолидирующих ресурсы высшей школы, академической и отраслевой наук, с целью вхождения в число ведущих вузов России по качеству образования, подготовке специалистов;

- выполнение научных исследований и разработок в приоритетных областях научно-технологического развития, обеспечивающих ускорение технологического развития и внедрение отечественных инновационных конкурентоспособных и цифровых технологий в минерально-сырьевом комплексе страны;

- создание на базе МГРИ научно-образовательного центра на основе интеграции университета и научных организаций и их кооперации с реальным сектором экономики; оснащение научно-учебных лабораторий, научно-образовательных структур, выполняющих научно-исследовательские работы, на уровне ведущих национальных исследовательских университетов;

- увеличение количества иностранных учащихся в университете путем привлечения их для учебы во всех формах обучения; повышение уровня сотрудничества университета с зарубежными вузами дружественных стран, создание условий для привлечения иностранных ученых к совместной работе;

- обеспечение высокого уровня участия профессорско-преподавательского состава, аспирантов в научной и проектной работе, выполнение программы подготовки докторских диссертаций, существенное увеличение доли молодых преподавателей и научных сотрудников в учебном процессе;

- создание условий для гибкого перехода на образовательные стандарты СПО нового поколения в рамках федерального проекта Минпросвещения «Профессионалитет», внедрение демонстрационного экзамена как обязательной формы государственной итоговой аттестации по всем программам СПО, участие в соревнованиях профессионального мастерства.

Вклад в реализацию приоритетов научно-технического развития

В соответствии с Указом Президента РФ В.В. Путина от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» **приоритетными направлениями**, связанными с воспроизводством и использованием минерально-сырьевой базы страны, для МГРИ являются:

- переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта;
- переход к экологически чистой и ресурсосберегающей энергетике, повышение эффективности добычи и глубокой переработки углеводородного сырья, формирование новых источников, способов транспортировки и хранения энергии.

В МГРИ в образовательных программах специалитета 21.05.02 «Прикладная геология», 21.05.03 «Технология геологической разведки» и 21.05.04 «Горное дело» установлены общепрофессиональные компетенции (ОПК) обучающихся, отражающие приоритетные траектории научно-технологического развития горно-геологической отрасли Российской Федерации, в том числе:

в области применения фундаментальных знаний:

- обеспечение экологической и промышленной безопасности при взаимодействии человека и природы, человека и технологии (ОПК-1);
- применение основных положений фундаментальных естественных наук и научных теорий по новым технологиям добычи и переработки минерального сырья (ОПК-3);

в области технического проектирования:

- проведение анализа горно-геологических условий недр России при поисках, разведке и добыче полезных ископаемых с учетом связанности территории Российской Федерации (ОПК-5);

- геолого-технологическое моделирование горных и геологических объектов с использованием цифровых роботизированных технологий (ОПК-6);

- осуществление технического руководства горными работами, в том числе в условиях чрезвычайных ситуаций при противодействии техногенным угрозам (ОПК-7);

- оперативное устранение нарушения производственных процессов с целью противодействия техногенным угрозам (ОПК-10);

в области научных исследований:

- решение задач по рациональному и комплексному освоению минерально-сырьевой базы с учетом связанности территории Российской Федерации и территорий опережающего экономического развития (ОПК-13).

Заключение

В качестве неотложных мероприятий, стоящих перед МГРИ, для активного развития образовательной и научной деятельности необходимо создать условия тесного взаимодействия с другими профильными университетами и НИИ для совместного решения отраслевых проблем:

- перевооружение лабораторной базы, аналитического комплекса приборов и аппаратов вуза; разработка методических указаний по использованию оборудования и практическое обучение студентов и сотрудников методологии геологических научных исследований;

- цифровое обеспечение и программное сопровождение вновь создаваемых и модернизируемых методов и технологий научно-исследовательских, тематических и геолого-разведочных работ;

- усиление практической деятельности обучающихся и повышения качества экспедиционных практик с привлечением преподавателей вуза и опытных научных сотрудников отраслевых институтов;

- участие в выполнении целевых грантов для реализации проектов геологического изучения недр и воспроизводства дефицитных и стратегических видов минеральных ресурсов с трехсторонним участием научных коллективов вуза — отраслевого НИИ — института РАН;

- совместные публикации научно-методической и учебно-методической литературы по инновационным технологиям геологической разведки, горного дела и геологии стратегических видов полезных ископаемых;

- совместное участие в популяризации геологии и смежных естественных наук в средствах массовой информации, на заседаниях геологической секции Центрального дома ученых, горно-геологических форумах и конференциях;
- разработка профессионального стандарта «горный инженер геолог».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. О науке. Т. 1. Научное знание. Научное творчество. Научная мысль. Дубна: Феникс, 1997. 576 с.
2. Верчеба А.А., Оганесян Л.В. Пути совершенствования высшего геологического образования // Разведка и охрана недр. 2016. № 12. С. 3—8.
3. Геология будущего. Геологическая отрасль Российской Федерации к началу 2050-х годов. Информационно-аналитические материалы. М.: АО «Росгеология», 2017. 85 с.
4. Государственная программа «Научно-технологическое развитие Российской Федерации», утвержденная Постановлением Правительства РФ от 29 марта 2019 г. № 377.
5. Грабчак Л.Г., Брюховецкий О.С. Спорный вопрос. Неэффективность реформы? Образование сегодня. 2006. № 10. С. 87—90.
6. Итоги работы федерального агентства по недропользованию в 2018 году. Информационно-аналитические материалы. М.: Минприроды, 2019. 56 с.
7. Козловский Е.А. (ред.) Справочник руководителя геологической организации (предприятия): в 2 т. Т. 1. М.: ЦПУ «Радуга»; 2017. 672 с.
8. Корсаков А.К., Грабчак Л.Г., Брюховецкий О.С. Стратегия развития Российского государственного геологоразведочного университета // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2007. № 6. С. 96—98.
9. Лисов В.И., Брюховецкий О.С. Задачи геологического и горного образования с учетом новых факторов экономического роста в России // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2016. № 4. С. 75—80.
10. Распоряжение Правительства РФ от 6 октября 2021 г. № 2816-р «О перечне инициатив социально-экономического развития Российской Федерации до 2030 года».
11. «Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года». Утверждена распоряжением Правительства РФ от 22.12.2018 г. № 2914-р.
12. «Стратегия экономической безопасности Российской Федерации на период до 2030 года». Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 13.05.2017 г. № 208.
13. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования — специалитет по специальности 21.05.02 Прикладная геология. М.: Минобрнауки; 2020. 18 с. URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Spec/210502_C_3_18062021
14. Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования — специалитет по специальности 21.05.03 Технология геологической разведки. М.: Минобрнауки; 2020. 28 с. URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Spec/210503_C_3_18062021
15. Vercheba A.A. Personnel training for the mining and geological sector of Russia. Mining Science and Technology (Russia). 2021. Т. 6. № 2. С. 144—153. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-144-153>

REFERENCES

1. Vernadsky V.I. About science. T. 1. Scientific knowledge. Scientific creativity. Scientific thought. Dubna: Phoenix, 1997. 576 p.
2. Vercheba A.A., Oganessian L.V. Ways of improving higher geological education // Exploration and protection of mineral resources. 2016. No. 12. P. 3—8.
3. Geology of the future. Geological branch of the Russian Federation by the beginning of the 2050s. Informational and analytical materials. Moscow: JSC "Rosgeologiya", 2017. 85 p.
4. The State Program "Scientific and Technological Development of the Russian Federation", approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated March 29, 2019 No. 377.
5. Grabchak L.G., Bryukhovetsky O.S. A controversial issue. Inefficiency of the reform? Education Today, 2006. No. 10. P. 87—90.
6. Results of the work of the Federal Agency for Subsoil Use in 2018. Informational and analytical materials. Moscow: Ministry of Natural Resources. 2019. 56 p.
7. Kozlovsky E.A. (ed.) Handbook of the head of a geological organization (enterprise): in 2 t. T. 1. Moscow: CPU "Rainbow"; 2017. 672 p.
8. Korsakov A.K., Grabchak L.G., Bryukhovetsky O.S. Development strategy of the Russian State Geological Exploration University // News of higher educational institutions. Geology and exploration. 2007. No. 6. P. 96—98.
9. Lisov V.I., Bryukhovetsky O.S. Problems of geological and mining education taking into account new factors of economic growth in Russia // Izvestia of higher educational institutions. Geology and exploration. 2016. No. 4. P. 75—80.
10. Decree of the Government of the Russian Federation

- dated October 06, 2021 No. 2816-r "On the list of initiatives for the socio-economic development of the Russian Federation until 2030".
11. Strategy for the development of the mineral resource base of the Russian Federation until 2035. Approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated 22.12.2018 No. 2914-p
 12. The Strategy of economic security of the Russian Federation for the period up to 2030. Approved by the Decree of the President of the Russian Federation dated 13.05.2017. No. 208.
 13. Federal State educational standard of higher education — specialty in the specialty 21.05.02 Applied Geology. Moscow: Ministry of Education and Science; 2020. 18 p. URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/specifications/210502_C_3_18062021
 14. Federal state educational standard of higher education — specialty in the specialty 21.05.03 Technology of geological exploration. Moscow: Ministry of Education and Science; 2020. 28 p. URL: http://fgosvo.ru/uploadfiles/FGOS%20VO%203++/Spec/210503_C_3_18062021
 15. Vercheba A.A. Personnel training for the mining and geological complex of Russia. Mining Science and Technology (Russia). 2021. Vol. 6. No. 2. P. 144—153. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-144-153>

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Панов Ю.П. — разработал концепцию и подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Yuri P. Panov — collected material, developed the concept and prepared text of the article, finally approved the published version of the article and agree to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Панов Юрий Петрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, исполняющий обязанности ректора ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».
23, ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117997, Россия
тел.: +7 (495) 255-15-10, доб. 2002
e-mail: rektor@mgri.ru
SPIN-код: 9249-9725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>

Yuri P. Panov — Cand. of Sci. (Engineering), Senior Researcher, Acting Rector, Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia
tel.: +7 (495) 255-15-10 (ext. 2002)
e-mail: rektor@mgri.ru
SPIN-code: 9249-9725
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0776-0446>





ПЕТРОУПРУГОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК СПОСОБ АНАЛИЗА АНИЗОТРОПИИ УПРУГИХ СВОЙСТВ В МАСШТАБАХ СЕЙСМИЧЕСКИХ СЪЕМОК

М.К. САВОЙСКАЯ*, И.О. БАЮК

ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук»
10, стр. 1, ул. Б. Грузинская, г. Москва 123242, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Пласты, сложенные тонкими слоями с разными упругими свойствами, обладают анизотропией упругих свойств. Для изучения анизотропных сред применяются специальные системы расстановок сейсмических приборов, требующие больших вложений финансов и времени. Однако пренебрежение выраженной анизотропией приводит к неверной интерпретации данных. Оценка степени анизотропии тонкослоистого пласта позволяет определить, возможно ли пренебречь анизотропией, условно считая пласт изотропным.

Цель. Оценка анизотропии карбонатных пород в масштабах сейсмических съемок на основе данных геофизических исследований скважин на основе петроупругого моделирования.

Материалы и методы. На основе методов Берримана и Бейкуса были созданы модели карбонатных пород с различными характеристиками порового пространства. Затем для этих моделей был проведен анализ степени анизотропии по параметрам Томсена. Для сравнения с реальными данными использовались данные акустического и плотностного каротажа скважины, расположенной на территории Западной Сибири.

Результаты. В ходе исследования была найдена числовая характеристика, анализ которой помогает определить значимость анизотропии до применения метода Бейкуса, что значительно уменьшает количество необходимых вычислительных процессов.

Заключение. Полученный параметр степени неоднородности породы хорошо коррелирует с параметрами Томсена, отвечающими за анизотропию, что говорит о возможности его применения для экспресс-оценки анизотропии пластов.

Ключевые слова: петроупругое моделирование, анизотропия, карбонатные породы, Западная Сибирь, геофизические исследования скважин, сейсморазведка

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: работа выполнена в рамках Государственного задания ИФЗ РАН.

Для цитирования: Савойская М.К., Баюк И.О. Петроупругое моделирование как способ анализа анизотропии упругих свойств в масштабах сейсмических съемок. Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2022;64(2):18—23. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-18-23>

Статья поступила в редакцию 19.11.2021

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

* Автор, ответственный за переписку

PETROELASTIC SIMULATION AS A METHOD FOR ANALYSING THE ANISOTROPY OF ELASTIC PROPERTIES ON THE SCALE OF SEISMIC SURVEYS

MARINA K. SAVOYSKAYA*, IRINA O. BAYUK

Schmidt Institute of Physics of the Earth (IPE) of RAS
10, bld. 1, B. Gruzinskaya str., Moscow 123242, Russia

ABSTRACT

Introduction. Reservoirs composed of thin layers with different elastic properties exhibit the anisotropy of elastic properties. Anisotropic environments are studied using special seismic positioning systems that require large financial and time resources. However, neglecting pronounced anisotropy leads to misinterpretation of the data. Evaluation of the degree of anisotropy of a thin-layer stratum allows researchers to determine whether anisotropy could be neglected by conditionally considering the stratum to be isotropic.

Aim. To estimate the anisotropy of carbonate rocks on the scale of seismic surveys based on the data of geophysical well logging and petroelastic simulation.

Materials and methods. Models of carbonate rocks with different characteristics of pore space were created based on the Berryman and Backus methods. For these models, an analysis of the degree of anisotropy by Thomsen parameters was carried out. Acoustic and density logging data of a well located in Western Siberia were used for comparison with actual data.

Results. A numerical characteristic was found, the analysis of which helped to determine the significance of anisotropy before the application of the Backus method thus significantly reducing the number of necessary computational processes.

Conclusion. The obtained parameter of the degree of rock heterogeneity correlates well with Thomsen parameters responsible for anisotropy, which indicates the possibility of its use for assessing the anisotropy of strata.

Keywords: petroelastic simulation, anisotropy, carbonate rocks, Western Siberia, geophysical well logging, seismic survey

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: the research was carried out according to the State assignment of the IPE of RAS.

For citation: Savoyskaya M.K., Bayuk I.O. Petroelastic simulation as a method for analysing the anisotropy of elastic properties on the scale of seismic surveys. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):18–23. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-18-23>

Manuscript received 19 November 2021

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

* Corresponding author

Первым этапом исследования было построение петроупругих моделей карбонатных слоев. Двухкомпонентные модели состояли из минеральной матрицы и пустот различной формы. В качестве минеральной матрицы был взят поликристалл кальцита, а пустоты поочередно заполнялись газом (метаном), нефтью, водой и тяжелой нефтью. Для каждой модели слоя предполагается наличие

одного типа пустот. Для оценки эффективных упругих свойств слоев по свойствам компонент и форме пустот использовался метод Берримана [5] теории эффективных сред как наиболее универсальный и простой в реализации. Согласно методу самосогласования Берримана упругие модули среды, состоящей из N типов включений, зависят от формы включений и упругих свойств матрицы

и включений. Обычно в методе самосогласования эффективные модули упругости определяют методом итераций. Решение с приемлемой точностью (первые проценты) обычно получается за 3—5 итераций [2].

Следующим этапом было построение петроупругих моделей пластов, состоящих из равномерно перемешанных слоев карбонатной матрицы без пустот и пористых карбонатных слоев. Для построения моделей пластов перемешивались слои, имеющие один тип пустот, заполненных одним и тем же типом флюида. Концентрация пористых слоев менялась от 0 до 100%. Для получения эффективных упругих свойств пласта применялся классический метод Бейкуса [4]. В результате его применения из чередующихся тонких изотропных слоев получается среда, обладающая анизотропными свойствами.

Метод Бейкуса предполагает, что в длинноволновом приближении среда, состоящая из чередующихся тонких изотропных слоев, является трансверсально-изотропной. В нашем случае это вертикально-трансверсально-изотропная среда (VTI, vertical transverse isotropy), поскольку слои расположены горизонтально (ось симметрии среды — вертикальная). Такая среда характеризуется эффективной анизотропией с эффективной жесткостью в виде матрицы, которую можно выразить через значения скоростей упругих волн и плотность матрицы.

Метод Бейкуса с математической точки зрения дает точное решение, если слои, составляющие среду, равномерно перемешаны в соответствии с их объемным содержанием в рассматриваемой пачке. То есть отсутствуют скопления слоев любого типа в одном месте.

Затем был проведен расчет параметров Томсена, характеризующих анизотропию построенных петроупругих моделей пластов и выявление граничных значений концентраций слоев, вне которых анизотропией пластов можно пренебречь. На данный момент параметры Томсена являются наиболее популярными параметрами анизотропии. Прежде всего, они созданы для описания среды с «малой» анизотропией.

В изотропной среде параметры ϵ , γ и δ равны нулю. В анизотропной среде параметры ϵ и γ показывают различие между вертикальной и горизонтальной скоростями продольных волн и скоростями двух поперечных волн типа SV и SH соответственно [7]. Параметр δ показывает характер угловой зависимости скорости Р-волны вблизи оси симметрии. Анизотропия считается не-

значительной, когда данные параметры анизотропии много меньше единицы [1]. В данном исследовании анизотропия считалась незначительной при значении параметров Томсена ϵ и γ менее 0,1.

В ходе работы также были проанализированы упругие характеристики рассчитанных моделей. Поскольку анизотропия — это физическое явление, заключающееся в том, что физические свойства тела отличаются по разным направлениям, для анализа ее значимости были выбраны такие характеристики, как отношения упругих волн V_{ph}/V_{pv} и V_{sh}/V_{sv} .

Затем в ходе данного исследования была найдена числовая характеристика, анализ которой помогает определить значимость анизотропии до применения метода Бейкуса. Поиск характеристики основывался на анализе контраста упругих свойств тонких слоев. В качестве исходных данных были взяты модули упругости тонких слоев, их объемная концентрация и процентное содержание пустот в пористых слоях. На основе полученных результатов моделирования был предложен параметр, характеризующий степень неоднородности тонкослоистого пласта, который рассчитывался по формуле (1):

$$f_1 \cdot \left(1 - \frac{M_{av}}{M_{matr}}\right), \quad (1)$$

где f_1 — объемная концентрация слоев без пустот; M_{matr} — модуль упругости кальцитово-матрицы (2).

$$M_{av} = f_1 \cdot M_1 + f_2 \cdot M_2, \quad (2)$$

где f_2 — объемная концентрация пористых слоев; M_1 — модуль упругости слоя без пустот; M_2 — модуль упругости пористого слоя с заданным процентным содержанием пустот. В качестве модуля упругости выбирались модуль C_{11} эффективной матрицы упругости породы и модуль сдвига μ .

Полученные численные результаты представлены в таблице.

Для анализа полученных значений отдельно брались модели с пористостью, кратной 2, 3 и 4. Цветом выделены группы, в которых можно указать примерное значение параметра значимости анизотропии (формула (1)), при превышении которого анизотропия становится значимой (пороговое значение значимости анизотропии). Для каждой такой группы свой цвет.

Так, например, для моделей с насыщением нефтью были определены следующие пороговые значения параметра значимости анизотропии для моделей с пористостью 40% при аспектных

Таблица. Пороговые значения значимости анизотропии в зависимости от флюидонасыщения, пористости и аспектного отношения**Table.** Threshold value of anisotropy significance depending on fluid saturation, porosity and aspect ratio

Флюид	Аспектное отношение пустот	Пористость, %	Диапазон концентраций пористых слоев, %	Пороговое значение значимости анизотропии:	
				по C_{11}	по μ
Метан	1	30	33—67	0,155	0,129
		40	8—92	0,064	0,058
	0,1	20	23—77	0,137	0,102
		30	9—91	0,071	0,059
		40	5—95	0,043	0,038
	0,01	3	17—83	0,114	0,087
		4	10—90	0,077	0,063
	0,001	0,3	18—82	0,118	0,090
		0,4	11—89	0,083	0,067
	0,0001	0,03	20—80	0,127	0,096
		0,04	12—88	0,089	0,071
Нефть	1	30	44—56	0,165	0,143
		40	9—91	0,068	0,063
	0,1	30	15—85	0,101	0,087
		40	9—91	0,069	0,063
Пластовая вода	1	40	11—89	0,077	0,075
	0,1	30	19—81	0,094	0,085
		40	11—89	0,065	0,062
Тяжелая нефть	1	40	16—84	0,101	0,094
	0,1	30	43—57	0,158	0,143
		40	17—83	0,101	0,096

отношениях 1 и 0,1 (зеленый цвет ячеек) — анизотропия становится значимой, когда параметр, рассчитанный по C_{11} , превышает значение 0,07, а рассчитанный по μ — 0,06.

Оценка эффективности найденного параметра была проведена для геофизических данных скважины Удачная, приуроченной к нефтегазоносной провинции, располагающейся на территории Западной Сибири. [3]

Для определения эффективных упругих свойств вдоль ствола скважины в масштабе сейсмических работ применялся метод «скользящего окна». Суть этого метода состоит в том, что для каждой текущей глубины определялся интервал глубин, длина которого равнялась половине длины сейсмической волны. Причем текущая глубина являлась центром данного интервала. Затем для определения эффективных упругих свойств и параметров Томсена пласта, состоящего из выделенной пачки тонких слоев, применялся метод Бейкуса,

а результат присваивался текущей глубине. Затем происходил переход к следующей глубине каротажа, и вся процедура, описанная выше, повторялась.

На рисунке 1 представлено распределение значений параметра степени неоднородности (рассчитанного по компоненте матрицы C_{11}) от величины параметра Томсена ϵ для скважины Удачная.

На рисунке 2 представлено распределение значений параметра степени неоднородности (рассчитанного по модулю сдвига μ) от величины параметра Томсена γ для скважины Удачная.

Для обеих зависимостей были построены уравнения регрессии (полиномиальная второй степени). Величина коэффициента детерминации R^2 для первой зависимости составила 0,97, а для второй — 0,95. Это говорит о том, что параметр степени неоднородности, найденный с помощью математического моделирования методами Rock Physics [6], хорошо коррелирует с параметрами Томсена,

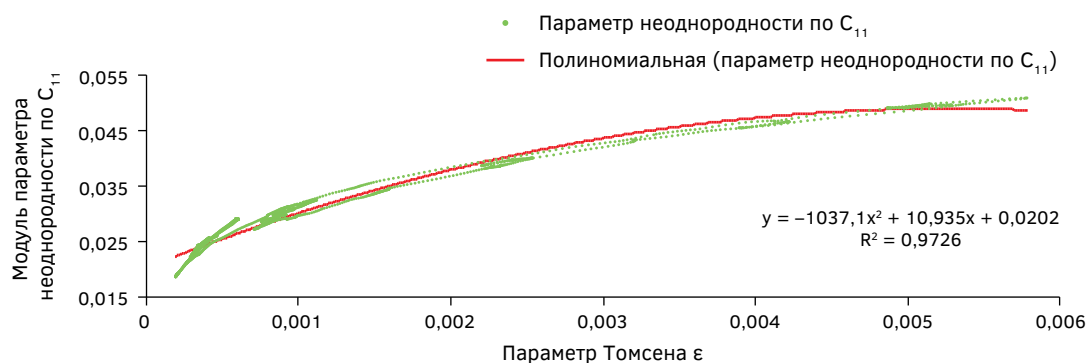


Рис. 1. Распределение абсолютных значений параметра значимости анизотропии по C_{11} от параметра Томсена ϵ
Fig. 1. Absolute values of the anisotropy significance parameter on C_{11} versus Thomsen parameter ϵ

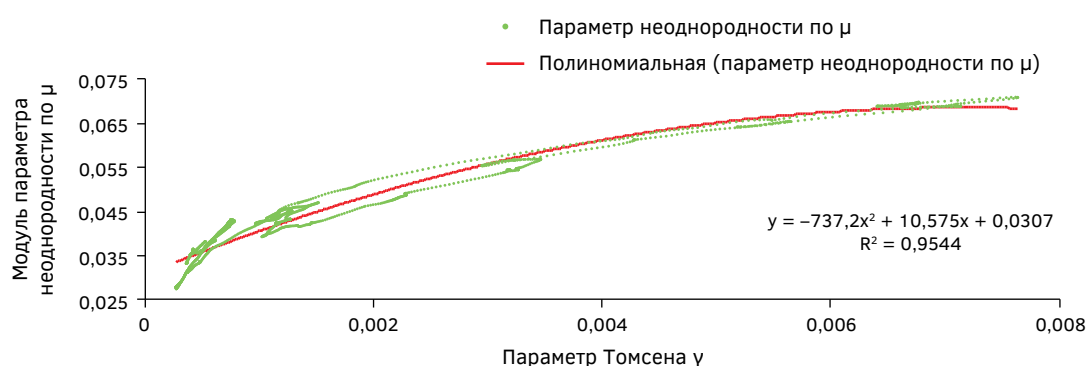


Рис. 2. Распределение абсолютных значений параметра значимости анизотропии по μ от параметра Томсена γ
Fig. 2. Absolute values of the anisotropy significance parameter on μ versus Thomsen parameter γ

отвечающими за анизотропию. Результаты определения параметров Томсена для скважины показали пренебрежимо малую анизотропию упругих свойств в масштабе сейсморазведки. Поэтому далее в этом масштабе упругие свойства могут считаться изотропными.

Заключение

Таким образом, путем описанного моделирования был получен параметр, характеризующий степень неоднородности слоев в пласте и позволяющий принимать решение о значимости степени анизотропии упругих свойств пласта, — параметр

значимости анизотропии пласта. Работоспособность этого параметра была продемонстрирована на результатах, полученных в ходе работ ГИС, проведенных в скважине, приуроченной к нефтегазоносной провинции на территории Западной Сибири. Этап оценки степени анизотропии по скважинным данным был осуществлен путем апскейлинга в масштаб сейсморазведки (путем применения метода Бейкуса). Полученные корреляционные зависимости параметра неоднородности породы и параметров Томсена могут применяться для экспресс-оценки анизотропии аналогичных пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алхименков Ю.А., Баяк И.О. Границы применимости параметров Томсена для трещиноватого карбонатного коллектора // Технологии сейсморазведки. 2013. № 4. С. 36—48.
2. Баяк И.О., Шехтман Г.А. Петрофизические основы многоволновой сейсморазведки // Технологии сейсморазведки. 2014. № 3. С. 5—24.
3. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: Высшая школа, 1979. 287 с.
4. Backus G.E. Long-wave elastic anisotropy produced by horizontal layering // J. Geophys. Res. 1962. V. 67. P. 4427—4440.
5. Berryman J.G. Mixture theories for rock properties // Rock Physics and Phase Relations: a Handbook of Physical Constants. Am. Geophys. Union, Washington, DC, 1995. P. 205—228.
6. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. 2-nd Edition. Cambridge Univ. Press. 2009. 511 p.

7. Wang, Z. and Nur, A. (eds.), 2000. Seismic and Acoustic Velocities in Reservoir Rocks, vol. 3, Recent Developments, Geophysics Reprint Series, no. 19. Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicists.

REFERENCES

1. Alhimenkov Y.A., Bayuk I.O. The limits of applicability of Thomsen parameters for a fractured carbonate reservoir // Seismic technology. 2013. № 4. P. 36—48 (In Russian).
2. Bayuk I.O., Shehtman G.A. Petrophysical basics of multiwave seismic survey // Seismic technology. 2014. № 3. P. 5—24 (In Russian).
3. Leont'ev O.K., Rychagov G.I. General geomorphology. Moscow: High School. 1979. 287 p. (In Russian).
4. Backus G.E. Long-wave elastic anisotropy produced by horizontal layering // J. Geophys. Res. 1962. V. 67. P. 4427—4440.
5. Berryman J.G. Mixture theories for rock properties // Rock Physics and Phase Relations: a Handbook of Physical Constants. Am. Geophys. Union, Washington, DC, 1995. P. 205—228.
6. Mavko G., Mukerji T., Dvorkin J. The Rock Physics Handbook. 2-nd Edition // Cambridge Univ. Press. 2009. 511 p.
7. Wang, Z. and Nur, A. (eds.), 2000. Seismic and Acoustic Velocities in Reservoir Rocks, vol. 3, Recent Developments, Geophysics Reprint Series, no. 19. Tulsa, OK: Society of Exploration Geophysicists.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Савойская М.К. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, подготовила текст статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Баяк И.О. — внесла основной вклад в разработку концепции статьи, присоединилась к подготовке текста статьи, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Savoyskaya M.K. — made the main contribution to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Bayuk I.O. — made the main contribution to the development of the concept of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Савойская Марина Константиновна* — аспирант ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук». 10, стр. 1, ул. Б. Грузинская, г. Москва 123242, Россия
E-mail: marinasavoyskaya@mail.ru
Тел.: +7 (916) 531-20-14
SPIN-код: 3706-0761
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4805-1590>

Баяк Ирина Олеговна — доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук». 10, стр. 1, ул. Б. Грузинская, г. Москва 123242, Россия
E-mail: bayuk@yandex.ru
SPIN-код: 6268-4076
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1148-9609>

Marina K. Savoyskaya* — post-graduate researcher, Schmidt Institute of Physics of the Earth (IPE) of RAS. 10, bld. 1, B. Gruzinskaja str., Moscow 123242, Russia
E-mail: marinasavoyskaya@mail.ru
Tel.: +7 (916) 531-20-14
SPIN-code: 3706-0761
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4805-1590>

Irina O. Bayuk — Doc. of Sci. (Phys.-Math), Senior Scientist, Schmidt Institute of Physics of the Earth (IPE) of RAS. 10, bld. 1, B. Gruzinskaja str., Moscow 123242, Russia
E-mail: bayuk@yandex.ru
SPIN-code: 6268-4076
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1148-9609>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОБЗОР ОБОСНОВАНИЙ К ВВЕДЕНИЮ ТЕРМИНА «ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЭЛЕКТРОДИНАМИКА»

В.В. АКСЕНОВ

*Институт вычислительной математики и математической геофизики
Сибирского отделения Российской академии наук
6, Морской проспект, Новосибирск 630090, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье приводятся аргументы к введению термина «геофизическая электродинамика».

Цель. Обосновать введение нового термина «геофизическая электродинамика».

Методы обоснования. Изучаются пределы применимости уравнений Максвелла, кроме того, вводятся понятия: о новой парадигме в электродинамике, о новых уравнениях в геофизической электродинамике, об отличиях новой электродинамики от электродинамики Максвелла, об источниках тороидальных и полоидальных электромагнитных полей, о тороидальных токах в уравнениях Максвелла, о несиловых электромагнитных полях, о квантовом эффекте в несиловых электромагнитных полях, тороидальные поля в ядре Земли, математические достижения в новой парадигме, о воспроизведении источников электромагнитного поля Земли, эффекты в классической электродинамике, объясненные в геофизической электродинамике.

Результаты. Получены ответы на выше поставленные обоснования.

Заключение. Физическое и математическое обоснования введения термина «геофизическая электродинамика» имеют подтверждение как в естественном электромагнитном поле Земли, так и в ряде давно известных классических эффектов в стандартной электродинамике Максвелла. Небольшие, но принципиальные отличия одной электродинамики от другой позволят уменьшить число не объяснимых с точки зрения уравнений Максвелла эффектов, встречающихся как в теории, так и в экспериментах на Земле.

Ключевые слова: электродинамика, геофизическая электродинамика, обоснования к введению нового термина

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Аксенов В.В. Обзор обоснований к введению термина «Геофизическая электродинамика». *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2022;64(2):24—30. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-24-30>

Статья поступила в редакцию 21.01.2022

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

REVIEW OF RATIONALES FOR THE INTRODUCTION OF THE “GEOPHYSICAL ELECTRODYNAMICS” TERM

VALENTIN V. AKSENOV

*Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS
6, Morskoy ave., Novosibirsk 630090, Russia*

ABSTRACT

Background. The article provides arguments for the introduction of the “geophysical electrodynamics” term.

Aim. To justify the introduction of a new term “geophysical electrodynamics”.

Methods of substantiation. The limits of the applicability of Maxwell’s equations are studied. Additionally, some concepts are introduced, in particular, about a new paradigm in electrodynamics, about new equations in geophysical electrodynamics, about the differences between new electrodynamics and Maxwell’s electrodynamics, about the sources of toroidal and poloidal electromagnetic fields, about toroidal currents in Maxwell’s equations, about non-power electromagnetic fields, about the quantum effect in non-power electromagnetic fields, toroidal fields in the core of the Earth, mathematical achievements in the new paradigm, about the reproduction of sources of the electromagnetic field of the Earth, and effects in classical electrodynamics explained by geophysical electrodynamics.

Results. Responses to the above justifications were received.

Conclusion. Physical and mathematical justifications for the introduction of the term “geophysical electrodynamics” find confirmation both in the natural electromagnetic field of the Earth, and in a number of long-known classical effects in the standard Maxwell’s electrodynamics. Small but fundamental differences of one electrodynamics from another will reduce the number of effects unexplained from the standpoint of Maxwell’s equations, encountered in both theory and experiments on Earth.

Keywords: electrodynamics, geophysical electrodynamics, justification for the introduction of a new term

Conflict of interest: the author declares that there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Aksekov V.V. Review of rationales for the introduction of the “Geophysical electrodynamics” term. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):24—30. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-24-30>

Manuscript received 21 January 2022

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

Впервые термин «геофизическая электродинамика» возник в среде физиков, которые занимались исследованием магнитосферы с использованием вслед за Ю. Паркером [15] эффекта Лармора [10]. Этот эффект существенно изменил уравнение индукции Максвелла за счет введения в уравнение индукции (в электрическое поле) дополнительного слагаемого, содержащего скорость движения одной координатной системы относительно другой [15]. Из-за этого возникала некоторая другая электродинамика, блестяще воспроизведенная в космической электродинамике Ю. Паркера [15]. В своей книге Ю. Паркер напрямую высказался об электродинамике Максвелла: «...уравнения Максвелла

применяются в космосе, хотя их применимость не доказана...» [15]. Поэтому введение нового термина в электродинамику, а именно термина «геофизическая электродинамика», должно восходить к более глубокому пониманию роли уравнений Максвелла в описании наблюдаемых на Земле естественных электромагнитных полей, а также космических магнитных полей.

О пределах применимости уравнений Максвелла

В связи с этим возникает проблема доказательства пределов применимости уравнений Максвелла в первую очередь к электромагнитным полям, наблюдаемым на Земле. Эту

проблему решает авторская теорема под названием «О пределах применимости уравнений Максвелла» [3]. В этой теореме дан ответ в том смысле, что уравнения Максвелла абсолютно верны в технической физике и любых экспериментах с электромагнитными полями на Земле.

Однако в естественном электромагнитном поле, обладающем хотя и относительно небольшими величинами магнитного числа Рейнольдса $Rm_e \approx 10^3 \div 10^5$ ед., тем не менее в его напряженности начинает играть роль эффект Лармора, поэтому учет его требует введения в электродинамику тороидальных и полоидальных электромагнитных полей [12, 15].

О новой парадигме в электродинамике

Вместе с этим возникает необходимость замены парадигмы бездивергентных токов, имеющих место в основании уравнений Максвелла, на парадигму бездивергентных магнитных полей. Эта новая парадигма должна быть положена в основу корректировки уравнений Максвелла с целью учесть возможную дивергентность естественных электрических токов, создающих главное геомагнитное поле и поля его вариаций. Введение новой парадигмы изначально отрицает статическую парадигму в главном геомагнитном поле, введенную в позапрошлом веке К.Ф. Гауссом, и, естественно, требует разработки нового математического описания морфологии и напряженности главного геомагнитного поля, способов его генерации и в большей мере нового математического описания напряженности полей вариаций (переменного во времени магнитного поля) [3, 14]. Новая парадигма, восходящая к бездивергентности магнитного поля в связи с отсутствием магнитных зарядов, приводит к ортогональному тороидальному разложению векторного потенциала [4]. Следующим шагом является введение тороидальных и полоидальных электромагнитных полей вне источника [12].

О новых уравнениях геофизической электродинамики

Формулировка новых уравнений для естественного электромагнитного поля восходит к натурным экспериментам с естественными электромагнитными полями в атмосфере Земли [5, 8, 9] и носит во многом эмпирический характер, но под полным контролем уравнений Максвелла [1, 4]. Тем не менее новые уравнения хотя и объясняют наблюдаемые в атмосфере эффекты, но в основе своей значительно больше отвечают поведению

естественных электромагнитных полей на Земле. С другой же стороны, имеют явные отличительные черты от электродинамики Максвелла. Это обстоятельство как раз и дает основания называть порождаемую новыми уравнениями электродинамику геофизической электродинамикой. Эта новая электродинамика объясняет поведение естественных электромагнитных полей на Земле, в том числе и эффекты, зафиксированные в [5, 7, 8, 9] и др., не отвечающие классическим уравнениям Максвелла. По сравнению с уравнениями Максвелла, имеющими вид:

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{H} &= \mathbf{j} + \partial \mathbf{D} / \partial t, \quad \partial \mathbf{B} / \partial t = -\nabla \times \mathbf{E}, \\ \nabla \cdot (\mathbf{B}, \mathbf{H}, \mathbf{E}) &= 0, \quad \mathbf{B} = \mu \mathbf{H}, \quad \mathbf{D} = \epsilon \mathbf{E},\end{aligned}\quad (1)$$

новые уравнения записываются по-иному [2]:

$$\begin{aligned}\nabla \times \mathbf{H}_p &= \mathbf{j}_T + \mathbf{j}_T^{CT}, \quad \nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p, \quad \nabla \times \mathbf{E}_p = 0, \\ \partial \mathbf{B}_p / \partial t &= -\nabla \times \mathbf{E}', \quad \mathbf{E}' = \mathbf{E}_T + [\mathbf{V} \times \mathbf{B}_p], \\ \nabla \cdot (\mathbf{H}, \mathbf{H}_T, \mathbf{H}_p) &= 0, \quad \nabla \cdot (\mathbf{H}_{T,p}, \mathbf{B}_{T,p}, \mathbf{E}_T, \mathbf{D}_{T,p}) = 0, \\ \nabla \cdot \mathbf{E}' &= \nabla \cdot [\mathbf{V} \times \mathbf{B}].\end{aligned}\quad (2)$$

Здесь $\mathbf{H}_p, \mathbf{E}_p$ — полоидальное магнитное и электрическое поля, $\mathbf{H}_T, \mathbf{E}_T, \mathbf{j}_T, \mathbf{j}_T^{CT}$ — тороидальные поля и токи, $\mathbf{V}$ — скорость одной координатной системы относительно другой, $\mathbf{j}_T = \chi \mathbf{H}_T$, $\chi = (i\omega\mu\sigma)^{1/2}$.

Об отличиях новой электродинамики от электродинамики Максвелла

Система уравнений (2) имеет явные отличия от (1) тем, что ротор тороидального магнитного поля равен не электрическому току, как в (1), а полоидальному полю. Полоидальное электрическое поле потенциально. Индукция полоидального магнитного поля учитывает эффект Лармора. Тороидальные токи двумерны. Кроме того, новой геофизической электродинамике присущи следующие черты. Геофизическая электродинамика позволила ответить на главный вопрос, откуда по существу возник интерес к другой электродинамике. Он возник из-за стремления подтвердить *законность* появления эффектов Van Vleuten, Беньковой, Четаева и понять, почему возникает в непроводящей атмосфере с отсутствующими в ней электрическими токами непотенциальная часть магнитного поля вариаций естественного магнитного поля Земли. Для исследования этих фактов нужно было, кроме прочего, изменить парадигму в геомагнетизме. Перейти от статической парадигмы К.Ф. Гаусса к квазистационарной, основанной на уравнениях (2), где дивергенция магнитного поля равна нулю всюду, а вектор-потенциал, автоматически

следующий из основного уравнения $\nabla \cdot \mathbf{H} = 0$, может быть тороидально и ортогонально разложен на составляющие $\mathbf{A} = (Qr) + \nabla \times (Qr)$, из которых затем следует определение тороидальных и полоидальных электромагнитных полей в атмосфере (за пределами источников главного геомагнитного поля и его вариаций) [4]. Этот результат объясняет появление непотенциального магнитного поля в бестоковой области, поэтому расширяет действие первого уравнения Максвелла за счет $\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p$. Он присущ только геофизической электродинамике.

Об источниках тороидального и полоидального электромагнитных полей

Поскольку на Земле турбулентности в магнитном поле из-за $Rm_e \approx 10^3 \div 10^5$ ожидать не приходится (у Ю. Паркера турбулентность возникает при $Rm_e \approx 10^{12} \div 10^{17}$ ед.), то напрямую встает вопрос об источниках тороидального и полоидального магнитных полей в геофизической электродинамике.

При этом возникают варианты постоянного магнитного поля и переменного электромагнитного поля от полных сферических постоянных и переменных электрических токов. Сферичность токов обязательна, так как теоремы Т. Каулинга [13] запрещают планальным и цилиндрическим электрическим токам возбуждать тороидальные магнитные поля из-за эффекта обратной симметрии [13]. Поэтому проекция полного сферического электрического тока на сферическую поверхность в сферических координатах имеет слагаемые, содержащие тороидальные электрические токи, которые генерируют тороидальное магнитное поле. Проекция полного переменного электрического тока в сферических координатах содержит как постоянную часть электрического тока, генерирующего постоянное тороидальное магнитное поле, так и напрямую две компоненты переменного тороидального электрического тока.

Согласно [3] в проекциях переменного полного сферического электрического тока на оси сферической системы координат имеются слагаемые:

$$\begin{aligned} \dots \mathfrak{a}^2 A_\theta &= \mathfrak{a}^2 \cdot 1/\sin \theta \cdot \partial Q / \partial \theta = \mathfrak{a}^2 H_{T\theta} = j_{T\theta}, \\ \dots \mathfrak{a}^2 A_\phi &= -\mathfrak{a}^2 \cdot \partial Q / \partial \theta = -\mathfrak{a}^2 H_{T\phi} = j_{T\phi}, \end{aligned} \quad (3)$$

где $\mathfrak{a}^2 = i\omega\mu\sigma$, а $j_{T\theta}, j_{T\phi}$ — компоненты тороидального электрического тока, в которых магнитные поля $H_{T\theta}, H_{T\phi}$ направлены вдоль соответствующих компонент тороидального тока (совпадают по направлению). Это как раз подтверждает, что $H_{T\theta}, H_{T\phi}$ есть

компоненты, обладающие нулевой силой Лоренца (несиловые компоненты, для которых $\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p$). Они как раз и наблюдаются в эксперименте в атмосфере, являясь в ней непотенциальными. В радиальной проекции, согласно авторской теореме [2], радиальная часть переменного поля компенсируется потенциальной частью, поэтому тороидальный ток остается двухкомпонентным.

О тороидальных токах в уравнении Максвелла

Что касается тороидальных токов в уравнениях Максвелла, то в [3] доказано выпадение этих токов при суммировании магнитных полей магнитного и электрического типов в наблюдаемые суммарные магнитные поля. Поэтому из-за выпадения в связи с требованием бездивергентности электрических токов в уравнениях Максвелла тороидальные магнитные поля были пропущены в максвелловской электродинамике.

В новой парадигме эффекта выпадения тороидального тока нет [3], поэтому наблюдаемые поля содержат тороидальные магнитные поля как в теории, так и в эксперименте и обнаруживаются в эксперименте за счет присутствия непотенциального магнитного поля в бестоковой области за счет $\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p$.

О несиловых электромагнитных полях

Самым, пожалуй, ярким свойством тороидальных магнитных полей на Земле является их несиловой характер в связи с отсутствием силы Лоренца в этом поле [4]. Несиловые электромагнитные поля имеют место как в главном геомагнитном поле Земли, так и в его переменной части — вариациях. В атмосфере Земли несиловые тороидальные магнитные поля проявляют себя в экспериментах, составляя почти половину магнитного поля спокойных солнечно-суточных вариаций, и обнаруживаются при подсчете интеграла по замкнутому контуру, расположенному в атмосфере (эффект Van Vleuten — Беньковой). Несиловое электрическое поле также измеряется непосредственно в атмосфере. Это большая по напряженности вертикальная составляющая электрического поля короткопериодических вариаций, названная в эксперименте Д.Н. Четаева E_z . Этой компонентой, согласно стандартным уравнениям Максвелла, в атмосфере быть не должно ($\nabla \times \mathbf{H} = \sigma \mathbf{E}$ при $\sigma = \text{const}$, $\nabla \times \mathbf{H} = 0$, $E_z = 0$). В уравнении (2) E_z — не что иное, как E_p -полоидальное электрическое поле, потенциальное всюду, но имеющее большую напряженность, являясь электрическим полем второй моды электромагнитного поля КПК.

Квантовый эффект в несиловых полях

Несилловые магнитные поля проявляют себя не только в наблюдаемых естественных электромагнитных полях, но еще и в ряде известных эффектов. Наиболее известен из них квантовый эффект Ааронова — Бома, в котором квантовую частицу при полете поперек отклоняет от траектории несиловое магнитное поле бесконечного цилиндрического соленоида с электрическим током, магнитное поле которого, согласно уравнениям (1), сосредоточено все внутри соленоида. В работе [4] доказан факт влияния несилового тороидального магнитного поля такого соленоида на квантовую частицу, при этом теорема Стокса остается справедливой и в случае эффекта Ааронова — Бома.

Тороидальные поля в ядре Земли

Несомненный интерес вызывает доказательство наличия тороидального магнитного поля в ядре Земли. Авторы теории динамо-возбуждения главного геомагнитного поля на Земле предполагают наличие тороидального магнитного поля в ядре Земли на уровне 500 и более Гс. При этом словесно доказывают, что такое огромное по напряженности магнитное поле «заперто» в ядре и на поверхность Земли не выходит. Это утверждение признано авторами динамо на Земле повсеместно (и у нас, и за рубежом). В новой авторской парадигме удастся выделить тороидальное магнитное поле из данных эксперимента по МГГ 1957/1958 гг. Оказалось, что напряженность поля в ядре не более 3—4 Гс, чего явно недостаточно для взаимной генерации главного геомагнитного поля с помощью динамо-возбуждения [3]. Тем не менее тороидальное несиловое поле магнитное поле присутствует в наблюдаемом главном геомагнитном поле Земли. Это является доказательством отсутствия экрана для тороидального поля на всей поверхности Земли и в ее недрах. Без наличия такого экрана запереть тороидальное поле внутри Земли нечем, что полностью отрицает существование сильного тороидального поля в ядре Земли. Это отрицает также наличие самовозбуждения главного геомагнитного поля внутри Земли.

Математические достижения новой парадигмы

Кроме физических обоснований новой парадигмы в геофизической электродинамике имеет место ряд математических вопросов, а именно вопрос о дивергенции тороидального разложения векторного потенциала. В [2] доказана теорема о калибровках Кулона и Лоренца для такого

потенциала. В этой теореме доказан факт совпадения определений дивергенции с калибровками Кулона и Лоренца в тороидальном разложении векторного потенциала с классическим определением их в максвелловской электродинамике.

Второй вопрос касается введения вместо одного скалярного потенциала для определения тороидальных и полоидальных электромагнитных полей, как это допущено в новой парадигме автора, двух скалярных потенциалов, как это имеет место в монографии Г. Моффата [12]. Автором показана нелепость введения двух скалярных потенциалов, которая возникает при доказательстве взаимной генерации тороидальных и полоидальных магнитных полей. Один из потенциалов участвует в определении полоидального магнитного поля, будучи в определении только тороидального магнитного поля. Это противоречие снимается с помощью тороидального ортогонального разложения векторного потенциала с одним скалярным потенциалом.

О воспроизведении источников электромагнитных полей

В статической парадигме К.Ф. Гаусса источники эквивалентны реальным из-за отсутствия электрических токов в начальных определениях магнитных полей. Статическая математика К.Ф. Гаусса восходит при воспроизведении источников к эквивалентности двойных слоев зарядов силе замкнутых токов. При применении формул, полученных таким путем, к реальным данным возникают дивергентные области, куда втекают или вытекают электрические токи. В ионосфере такая модель не реализуется. Это подтверждают реальные источники, получаемые с использованием новой парадигмы, в которой эквивалентность исключена изначально.

Эффекты классической электродинамики, объясненные геофизической электродинамикой

В геофизической электродинамике возможно объяснить ряд эффектов, возникающих в классической электродинамике. Среди таких эффектов можно назвать скин-эффект, суть которого состоит в том, что из-за индукции магнитным полем в проводящей среде электрических токов в противофазе первичному полю происходит погашение проникающего в проводящую среду первичного магнитного поля. Погашение препятствует проникновению первичного поля внутрь среды. Это явление и называется скин-эффектом, и возникает этот эффект в силовом магнитном

поле. В геофизической электродинамике кроме силового магнитного поля имеет место тороидальное несиловое, которое не возбуждает вторичных токов из-за $\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p$, отчего первичное тороидальное магнитное поле может проникнуть значительно глубже, чем это позволяет скин-эффект. Подобное явление может способствовать проведению сверхглубинного зондирования Земли в геофизической разведке.

Следующее явление объясняет «срыв» магнитного поля в тороидальной катушке токамака. В геофизической электродинамике это явление объясняется явлением взаимной генерации тороидальных и полоидальных магнитных полей при определенных условиях. Исследование этого явления в токамаках приведено в [4].

Выше в этой работе уже упоминался эффект Ааронова — Бома, который имеет теоретическое объяснение в геофизической электродинамике влиянием на квантовую частицу несилового магнитного поля, которое является составной частью тороидального ортогонального разложения векторного потенциала. По мнению Фейнмана, в эффекте Ааронова — Бома играет роль векторный потенциал [6]. Геофизическая электродинамика утверждает, что в этом случае играет роль не сам потенциал, а его составляющая в разложении, представляющая собой, по существу, тороидальное несиловое магнитное поле по определению [4].

Интересное объяснение с точки зрения геофизической электродинамики представляет собой магнитное поле конденсаторов колебательных

контуров. Магнитное поле токов смещения в конденсаторе также является тороидальным несиловым магнитным полем. Оно не возбуждает токов в окружающих приборах из-за $\nabla \times \mathbf{H}_T = \mathbf{H}_p$. Поэтому обычно конденсаторы не экранируют. Зато явление само по себе показательно.

Долгое время в сейсмологии не могли найти физическое поле, которое бы выступало краткосрочным предвестником возникающих на Земле землетрясений. В работе [3] показано, что в геофизической электродинамике есть полоидальное электрическое поле зарядов, которые при подготовке землетрясения за счет перераспределения зарядов в очаге землетрясения может сообщить о готовящемся землетрясении путем нарастания напряженности полоидального электрического поля непосредственно перед землетрясением и его срывом буквально перед возникновением события [3].

Заключение

Итак, физическое и математическое обоснования введения термина «геофизическая электродинамика» имеет подтверждение как в естественном электромагнитном поле Земли, так и в ряде давно известных классических эффектов в стандартной электродинамике Максвелла. Надеюсь, что небольшие, но принципиальные отличия одной электродинамики от другой (формулы (1) и (2)) позволят уменьшить число не объяснимых с точки зрения уравнений Максвелла эффектов, встречающихся как в теории, так и в экспериментах на поверхности Земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аксенов В.В. Адаптация электродинамик Максвелла — Паркера — Моффата к электромагнитным полям, наблюдаемым в атмосфере Земли. // Изв. вузов. Физика. 2017. Т. 60, № 3. С. 11—18.
2. Аксенов В.В. Пятнадцать теорем математической геофизики. Формулировки, доказательства, ссылки на публикации // Наука России: Цели и задачи. Сб. статей по материалам XX междунар. науч.-практич. конф. Ч. 2. 2020. С. 56—70.
3. Аксенов В.В. Электромагнитное поле Земли. 3-е изд., перераб. и дополн. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2010. 268 с.
4. Аксенов В.В. Тороидальное разложение векторного потенциала магнитного поля и его приложения // Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия. 2015, № 6. С. 128—134.
5. Четаев Д.Н. Об обратной задаче теории магнитотеллурического зондирования // Физика Земли, 1966. № 9. С. 105—107.
6. Фейнман Р., Лейтон Р., Сэнс М. Фейнмановские лекции по физике. М.: Мир, 1966. Вып. 6 (Электродинамика). 343 с.
7. Aaronov Y., Bohm D. Significance of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory // Phys. Rev. 1959. Vol. 115. No. 3. P. 485—491.
8. Benkova N.P. Solar Diurnal variations of Terrestrial Magnetism // The Hydrometeorological service of USSR Transactions of Scientific Institutions. Terrestrial Magnetism. Series VI. Leningrad—Moscow: 1941. 75 p.
9. Van Vleuten A. Over de dagelijche variatie van het Ardmagnetisme // Koninklijk Ned. Meteor. Instit. 1917. No. 102. P. 5—30.
10. Larmor J. How could a rotating body such as the Sun become a magnet // Rep. Brit. Assoc. SCI. 1919. P. 60—159.
11. Stratton J. Ad. Electromagnetic Theory. Mc. Graw-Hill Book Company. New York — London, 1941. 539 p.
12. Moffat H.K. Generation of magnetic field in conducting

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ / GEOPHYSICAL METHODS OF PROSPECTING AND EXPLORATION

- medium // Cambridge University Press. 1978. 339 p.
13. Cowling T.G. Magnetohydrodynamics. John Wiley and Sons. New York. 1957. 139 p.
14. Chandrasekhar S. On force-free magnetic fields // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1956. Vol. 42. No. 1. P. 1—5.
15. Parker E.N. Cosmical Magnetic Fields // Clarendon Press Oxford. 1997. Vol. 1. 608 p. Vol. 2. 479 p.

REFERENCES

1. Aksenov V.V. Adaptation of Maxwell—Parker—Moffat electrodynamics to electromagnetic fields observed in the Earth's atmosphere. // Izv. Universities. Physics. 2017. Vol. 60, No. 3. pp. 11—18.
2. Aksenov V.V. Fifteen theorems of mathematical geophysics. Formulations, proofs, links to publications // Science of Russia: Goals and objectives. Collection of articles based on the materials of the XX International scientific and Practical conference. Part 2. 2020. pp. 56—70.
3. Aksenov V.V. Electromagnetic field of the Earth. 3rd ed., reprint. and the supplement. Novosibirsk: Ed. SB RAS, 2010, 268 p.
4. Aksenov V.V. Toroidal decomposition of the vector potential of the magnetic field and its applications // Bulletin of Moscow State University. Series 3. Physics. Astronomy. 2015, No. 6. pp. 128—134.
5. Chetaev D.N. On the inverse problem of the theory of magnetotelluric sounding // Physics of the Earth, 1966. No. 9. pp. 105—107.
6. Feynman R., Leighton R., Sands M. Feynman lectures on physics. M.: Mir, 1966. Issue 6 (Electrodynamics). 343 p.
7. Aaronov Y., Bohm D. Significance of Electromagnetic Potentials in the Quantum Theory // Phys. Rev. 1959. Vol. 115. No. 3. P. 485—491.
8. Benkova N.P. Solar Diurnal variations of Terrestrial Magnetism // The Hydrometeorological service of USSR Transactions of Scientific Institutions. Terrestrial Magnetism. Series VI. Leningrad—Moscow: 1941. 75 p.
9. Van Vleuten A. Over de dagelijkse variatie van het Aardmagnetisme // Koninklijk Ned. Meteor. Instit. 1917. No. 102. P. 5—30.
10. Larmor J. How could a rotating body such as the Sun become a magnet // Rep. Brit. Assoc. SCI. 1919. P. 60—159.
11. Stratton J. Ad. Electromagnetic Theory. Mc. Graw-Hill Book Company. New York — London, 1941. 539 p.
12. Moffat H.K. Generation of magnetic field in conducting medium // Cambridge University Press. 1978. 339 p.
13. Cowling T.G. Magnetohydrodynamics. John Wiley and Sons. New York. 1957. 139 p.
14. Chandrasekhar S. On force-free magnetic fields // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1956. Vol. 42. No. 1. P. 1—5.
15. Parker E.N. Cosmical Magnetic Fields // Clarendon Press Oxford. 1997. Vol. 1. 608 p. Vol. 2. 479 p.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Аксенов В.В. — разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Valentin V. Aksenov — contributed to the development of the article concept, prepared the text, approved the final version of the manuscript and accepts responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Аксенов Валентин Васильевич — профессор, доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук.
6, Морской проспект, г. Новосибирск 630090, Россия
e-mail: aksenov@omzg.sccc.ru
тел. +7 (913) 786-83-21
SPIN-код: 4882-6199
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6405-7821>

Valentin V. Aksenov — Dr. of Sci. (Phys.-Math.), Prof., Chief Researcher at the Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics of SB RAS.
6, Morskoy ave., Novosibirsk 630090, Russia
e-mail: aksenov@omzg.sccc.ru
tel. +7 (913) 786-83-21
SPIN-code: 4882-6199
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6405-7821>

<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-31-38>

УДК 553. 074



ПРОГНОЗ МОРФОЛОГИИ И УСЛОВИЙ ЗАЛЕГАНИЯ ХРОМИТОВЫХ РУДНЫХ ТЕЛ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ (НА ПРИМЕРЕ УЧАСТКА ЛАБОГЕЙСКОЕ-2 (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ))

Т.П. МОРОЗОВА^{1,*}, Е.В. КАРЕЛИНА², В.Е. МАРКОВ²¹ *Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе
23, Миклухо-Маклая ул., Москва 117485, Россия*² *Департамент недропользования и нефтегазового дела. Российский университет дружбы народов
3, Орджоникидзе ул., Москва 115419, Россия***АННОТАЦИЯ**

Введение. Хромовые руды приурочены к расслоенным массивам основного и ультраосновного состава. Войкаро-Сынынский массив входит в Главный гипербазитовый пояс Урала. Внутри гипербазитов этого массива, чаще на границах тектонических чешуй, развиты ультраосновные метаморфиты, слагающие зоны резко переменной мощности. При съёмочных маршрутах был обнаружен механический ореол рассеяния рудных обломков. При изучении рудного развала канавами было вскрыто рудное тело хромитов Лабогейское-2, которое относится к Погурейскому блоку Войкаро-Сынынского массива. На участке рудопроявления преобладающе развиты гарцбургиты со шлирово-полосчатыми выделениями дунитов в небольшом объеме и маломощными отдельными телами дунитов малой мощности. Хромовые руды густовкрапленные, средне- и крупнозернистые. В составе руд количество хромшпинелидов составляет 90—95%, в интерстициях (2—5%) неправильной формы серпентин, реликты зерен оливина и зерна изумрудно-зеленого уваровита, присутствуют единичные зерна пирротина и магнетита. Руды массивные, часто катаклазированные. Опыт изучения этого рудопроявления может послужить аналогом для более эффективного изучения аналогичных рудопроявлений.

Цель: оценка рудопроявления Лабогейское-2 для применения полученной информации и методов его изучения при изучении аналогичного Левопайерского рудного тела, что поможет сэкономить время и финансы при проектировании и более эффективном проведении геолого-разведочных работ.

Материалы и методы. При съёмочных маршрутах обнаружен механический ореол рассеяния рудных обломков. При изучении рудного развала в 1966 году пройдены каналы КМ22-КМ25 и каналой КМ24 вскрыто рудное тело хромитов Лабогейское-2. В 2013 году в ходе геолого-разведочных работ на Лабогейском-2 пройдены 3 каналы (К50—К52) и выполнены детальные гравимагнитные исследования ФГУП ИМГРЭ в 2011—2012 гг.

Результаты. Из 24 рудопроявлений, для которых по результатам горных и буровых работ составлены геологические планы и построены подсчетные разрезы, наиболее близким аналогом рудопроявления Лабогейское-2, вероятно, является Левопайерское рудное тело.

Заключение. Дальнейшее проведение геолого-разведочных работ на Лабогейском участке необходимо проводить с учетом представлений об условиях залегания его аналога — Левопайерского рудного тела.

Ключевые слова: Войкаро-Сынынский массив, гипербазиты, хромовые руды, рудопроявление, полосчатость, по азимуту, под углом

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Морозова Т.П., Карелина Е.В., Марков В.Е. Прогноз морфологии и условий залегания хромитовых рудных тел сложной формы (на примере участка Лабогейское-2 (Полярный Урал)). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка.* 2022;64(2):31—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-31-38>

Статья поступила в редакцию 17.03.2021
Принята к публикации 05.09.2022
Опубликована 15.09.2022

* Автор, ответственный за переписку

FORECAST OF THE MORPHOLOGY AND OCCURRENCE CONDITIONS OF COMPLEX CHROMITE ORE BODIES (ON THE EXAMPLE OF LABOGEYSKOE-2 SITE, POLAR URALS)

TATIANA P. MOROZOVA^{1,*}, ELENA V. KARELINA², VLADIMIR E. MARKOV²

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117485, Russia*

² *RUDN University
3, Ordzhonikidze str., Moscow 115419, Russia*

ABSTRACT

Background. Chromium ores are confined to stratified massifs of basic and ultra-basic composition. The Voikaro-Sinyinsky massif is part of the main hyperbasite belt of the Urals. Inside the hyperbasites of this massif, at the boundaries of tectonic flakes in particular, ultra-basic metamorphites are developed, constituting the zones of sharply variable thickness. During survey routes, a mechanical halo of scattering of ore fragments was found. When studying the ore stockpile, ditches opened the Labogeyskoe-2 chromite ore body, which belongs to the Pogureysky block of the Voikaro-Sinyinsky massif. In the ore occurrence area, harzburgites are predominantly developed with thin striped dunite aggregates in a small volume and individual dunite bodies of low thickness. Chromium ores are densely impregnated, medium- to coarse-grained. The amount of chromospinelides in the composition of ores constitutes 90—95%, the serpentine of irregular shape as well as the relics of olivine and emerald-green uvorovite grains, along with the single grains of pyrrhotite and magnetite are found in the interstitia (2—5%). Ores are massive, often cataclased. The experience of studying this ore occurrence can serve as an analogue for a more effective study of similar ore occurrences.

Aim. Evaluation of the Labogeyskoye-2 ore occurrence for the application of the information obtained and methods of its study in the study of a similar Levopayersk ore body, which will help save time and finances in the design and more efficient exploration.

Materials and methods. During the filming routes, a mechanical halo of scattering of ore fragments was detected. During the study of the ore collapse in 1966, the KM22—KM25 ditches were passed and the Labogeyskoye-2 chromite ore body was uncovered by the KM24 ditch. In 2013, during geological exploration at Labogeyskoye-2, 3 ditches (K50—K52) were passed and detailed gravimagnetic studies of Institute of Mineralogy, Geochemistry and Crystal Chemistry of Rare Elements in 2011—2012 were performed.

Results. The Levopayerskoe ore body is probably the closest analogue of the Labogeyskoye-2 ore occurrence among the 24 ore occurrences, for which geological plans and calculation sections were compiled based on the results of mining and drilling operations.

Conclusions. The closest analogue of the Labogeyskoye-2 ore occurrence is probably the Levopayerskoye ore body. Therefore, further geological and exploration work at the Labogeyskoye-2 site should be carried out taking into account the conditions of occurrence of the similar Levopayerskoe ore body.

Keywords: Voikaro-Sinyinsky massif, hyperbasites, chromite ores, ore occurrence, banding along azimuth, angled

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Morozova T.P., Karelina E.V., Markov V.E. Forecast of the morphology and occurrence conditions of complex chromite ore bodies (on example of Labogeyskoe-2 site, Polar Urals). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):31—38. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-31-38>

Manuscript received 17 March 2021

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

* Corresponding author

Россия входит в число десяти ведущих производителей хромитовых концентратов, хотя доля ее в мировом выпуске данной продукции составляет всего 2—4%. Количество прогнозных ресурсов хромовых руд высоких категорий (P_1), оцененных на территории страны, велико и почти в три раза больше их балансовых запасов. Все хромовые руды Полярноуральской металлогенической провинции сосредоточены в Ямало-Ненецком АО, их суммарные запасы составляют около 10% российских. Эксплуатируемые Центральное и Западное месторождения — объекты среднего масштаба с содержаниями Cr_2O_3 в рудах соответственно 35,71 и 39,07%. На территории округа локализованы также все прогнозные ресурсы высоких категорий Полярноуральской провинции, превышающие пятую часть ресурсов P_1 страны [1].

Россия не имеет разведанных запасов металлургических сортов хромитов. Геологические предпосылки развития собственной сырьевой базы хрома на территории России оцениваются достаточно высоко. Они связаны с перспективными хромитонесущими объектами в новых и традиционных в прошлом хромоворудных районах: Бураковско-Аганозерском (Республика Карелия), Имандро-Варгужском (Мурманская область), Рай-Изском, Сыумкеуском и Войкаро-Сыньинском (Ямало-Ненецкий АО) [8, 10].

Поиски и разведка хромовых руд в пределах перспективного Войкаро-Сыньинского массива продолжаются не одно десятилетие, но к открытию месторождений пока не привели [11]. Наши исследования направлены на понимание морфологии и условий залегания рудных тел на примере перспективного участка Лабогейское-2.

Материалы и методы

Рудопроявление Лабогейское-2 относится к Погурейскому блоку Войкаро-Сыньинского массива. Оно расположено в приводораздельной части ручьев Лабахэй и Ыджид-Лабахэйшор, на северном склоне высоты 885,8 м [5, 13].

При съемочных маршрутах обнаружен механический ореол рассеяния рудных обломков. Полоса, обогащенная обломками хромовых руд, ориентирована по азимуту 20—25° и прослежена на 550 м

вниз по склону при ширине от 25 м в вершине развала до 100—40 м в его нижней части.

При изучении рудного развала в 1966 году пройдены канавы КМ22—КМ25 и канавой КМ24 вскрыто рудное тело хромитов Лабогейское-2 (рис. 1).

Рудное тело локализовано в дунитовом теле мощностью около десяти метров, приуроченном к гарцбургитовому комплексу с количеством дунитовых обособлений более 30%. Вмещающие их серпентинизированные гарцбургиты содержат единичные маломощные выделения дунитов [7, 13].

Контакты руды с вмещающими дунитами резкие, сопровождаются маломощной (до 10—15 см) оторочкой катаклазированного серпентинита и ориентированы с азимутом падения 220—240° под углом 68—75°.

Хромовые руды густо вкрапленные, средне- и крупнозернистые. В составе руд количество хромшпинелидов составляет 90—95%, в интерстициях (2—5%) неправильной формы серпентин, реликты зерен оливина и зерна изумрудно-зеленого

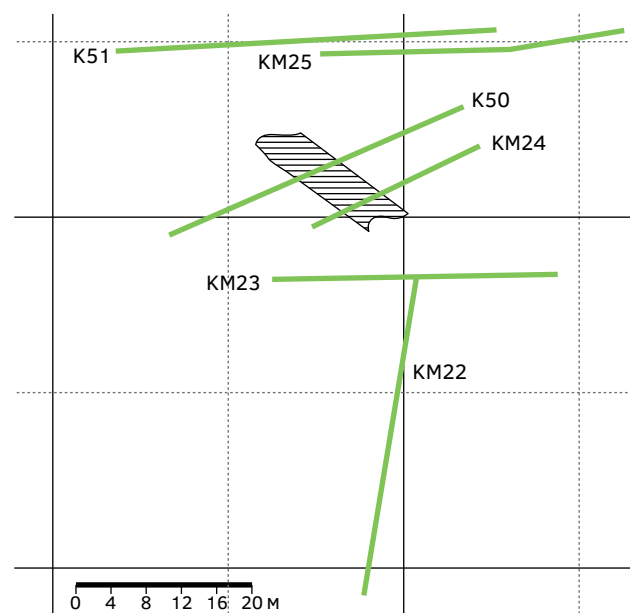


Рис. 1. План расположения канав рудопроявлений Лабогейское-2 (штриховкой показано рудное тело, вскрытое канавами КМ24 и КМ50)

Fig. 1. Plan of location of ore declaration channels Labogayskoye-2 (hatching shows an ore body opened by ditches KM24 and KM50)

уваровита, присутствуют единичные зерна пирротина и магнетита. Руды массивные, часто катаклизированные. В 2013 году в ходе геолого-разведочных работ на Лабогейском-2 пройдены 3 канавы (K50—K52) и выполнены детальные гравимагнитные исследования [6].

С целью подтверждения и уточнения условий залегания рудного тела, вскрытого при геолого-съемочных работах 1966 года, определения расширенного состава хромовых руд в 2013 году пройдена канава K50 с местом заложения вдоль ранее пройденной канавы KM24 (рис. 1).

Канава K50 вскрыла рудное тело хромитов пересеченной мощностью 3,6 м. Контакты руды контрастные, без видимых изменений и ориентированы с азимутом падения 42—85° и углами падения 85°. В висячем блоке на удалении 0,5 м тело — сателлит хромитов мощностью 0,4 м с азимутом падения 106° и угле 80°. Руды локализованы в дунитовом теле мощностью около десяти метров, дуниты крупно- и гигантозернистые, серпентинизированные.

При прослеживании рудного тела хромитов в северо-западном направлении (канавой K51) и поисках других рудных тел в контуре рудного шлейфа (канавы K52) положительных результатов не получено.

Оценка основывается на предположениях о форме, размере и пространственной ориентировке рудного тела (падение, склонение, погружение). Предположения, в свою очередь, строятся на основании информации, полученной при разведке и изучении аналогичных рудных тел, расположенных в близлежащих районах в сходной геологической обстановке [8].

Анализ рудопроявлений и месторождений хромитовых руд в пределах цепочки Полярно-Уральских интрузий ультраосновного состава (массивы Сыум-Кей, Рай-Из и Войкаро-Сынынский) позволяет выделить два морфологических типа рудных тел: рудные тела уплощенной, пластинообразной формы и рудные тела линейной, трубообразной формы [2].

Первый тип характеризуется значительной протяженностью по простиранию. Как правило, пластообразные рудные тела прослеживаются с поверхности канавами, траншеями или расчистками на десятки, а то и первые сотни метров. В большинстве случаев рудные тела пластообразной формы локализуются в крыльях складок полосчатости.

Рудные тела линейного типа отличаются изометричной или линзовидной формой в плане,

причем отношение длины линз к их ширине обычно не превышает 5 м. На многих рудопроявлениях вскрыть трубообразные тела с поверхности удается только одной, редко двумя канавами. Обычно линейные рудные тела приурочены к замковым частям складок полосчатости [9].

Мощность отдельных хромитовых рудных тел пластовой формы в Полярно-Уральских гипербазах составляет в среднем 5—7 м. На месторождении Западное (массив Рай-Из) отдельные тела прослеживаются на сотню метров при мощности в 2 м. На месторождении Центральное плитообразное тело сплошных хромитовых руд достигает мощности в 15 м.

Диаметр трубообразных рудных тел колеблется от 5 до 20 м. В тех немногочисленных случаях, когда удается проследить рудное тело по погружению, его диаметр с глубиной уменьшается.

Плитообразные рудные тела приурочены к крыльям складок полосчатости и по простиранию часто совпадают с полосчатостью, однако по падению секут ее под острым углом. Другими словами, элементы залегания полосчатости не могут быть напрямую использованы в качестве индикатора пространственного положения рудных тел. Исключением являются рудные тела, сложенные вкрапленными полосчатыми рудами. Эти тела параллельны энстатитовой полосчатости, образуют конформные ей структуры и, по существу, сами являются элементом полосчатости гипербазитов [3].

Рудные тела трубообразной формы, часто локализуются в замковых частях складок полосчатости. При этом погружение рудных тел совпадает с ориентировкой шарнира складки, а при наличии линейности акцессорного хромшпинелида — и с линейностью [8].

Хорошим примером соотношения рудных тел со структурными элементами вмещающих пород является месторождение Центральное на массиве Рай-Из [12].

В пределах месторождения полосчатость образует крупную синформную складку северо-восточного простирания, прослеживающуюся вдоль оси более чем на 1,5 км. В северо-западном крыле складки полосчатость субвертикальна, с преимущественным падением на юго-восток под углом 70°. Юго-восточное крыло складки падает на север под углом 65°. В замке полосчатость имеет пологое восточное падение под углами от 35 до 50°. Шарнир складки, рассчитанный как среднестатистическая линия пересечения крыльев, погружается на северо-восток под углом 50°.

Линейность аксессуарного хромшпинелида там, где удастся измерить ее пространственное положение, почти везде погружается в северо-восточном направлении под углом $40\text{--}60^\circ$. Она проявляется в однонаправленной вытянутости цепочек зерен хромшпинелида либо удлинении относительно крупных зерен [7].

На структурной диаграмме точки, соответствующие линейности, образуют компактный максимум плотности, совпадающий с шарниром складки полосчатости (рис. 2).

Детальная разведка, проведенная на месторождении Центральное, показала, что погружение хромитовых тел параллельно шарниру складки полосчатости и линейности аксессуарного хромшпинелида, а падение рудных тел в целом совпадает с ориентировкой уплощенности энстатита [4].

Методика исследований заключается в детальном картировании структурных элементов с последующим построением структурных карт, анализ которых позволяет выбрать направление проведения дальнейших поисково-оценочных и разведочных работ на хромитовых объектах. К таким структурным элементам на хромитовых месторождениях относятся:

- полосчатость (энстатитовая или пироксенитовая). Представляет собой более-менее регулярное чередование субпараллельных слоев («полос»), обогащенных и обедненных энстатитом и/или пироксенитом;
- уплощенность. Зерна энстатита и аксессуарного хромшпинелида в породах часто имеют уплощенно-вытянутую форму и субпараллельную ориентировку;
- линейность аксессуарного хромшпинелида проявляется в однонаправленной вытянутости цепочек зерен хромшпинелида (агрегатная линейность) либо в удлинении относительно крупных зерен (минеральная линейность). По ориентировке минеральная линейность не отличается от агрегатной. В обнажениях, где оба типа линейности проявлены совместно, они всегда ориентированы одинаково.

Результаты и обсуждение

К сожалению, в непосредственной близости от рудопроявления Лабогейское-2 нет коренных обнажений. Геологические границы, показанные на карте, включая контуры рудоносного дунитового тела, проведены по элювиально-делювиальным развалам и не подтверждаются пройденными канавами. Ближайшие коренные выходы гарцбургитов, в которых проявлена полосчатость, находятся

на расстоянии 500—1200 м от головки рудного развала Лабогейское-2. Геометрический анализ ориентировки полосчатости в этих обнажениях показал, что рудопроявление Лабогейское-2 приурочено к замку синформной складки полосчатости северо-северо-восточного простирания. Северо-западное крыло складки падает на восток-северо-восток, южное — на север и северо-запад. Углы падения полосчатости в крыльях от 50 до 75° . Пространственное положение шарнира этой складки полосчатости рассчитано как среднестатистическая ориентировка линии пересечения крыльев — азимут погружения 30° , угол погружения — 55° (рис. 3).

Еще одним аргументом в пользу предположения о крутом северо-восточном погружении рудного тела являются результаты интерпретации гравиметрических и магниторазведочных работ, проведенных ФГУП ИМГРЭ в 2011—2012 гг. (рис. 3).

Для прогнозирования формы и размеров рудного тела Лабогейское-2 был проведен анализ хромитовых рудопроявлений, детально изученных при поисковых работах на хромитовые руды

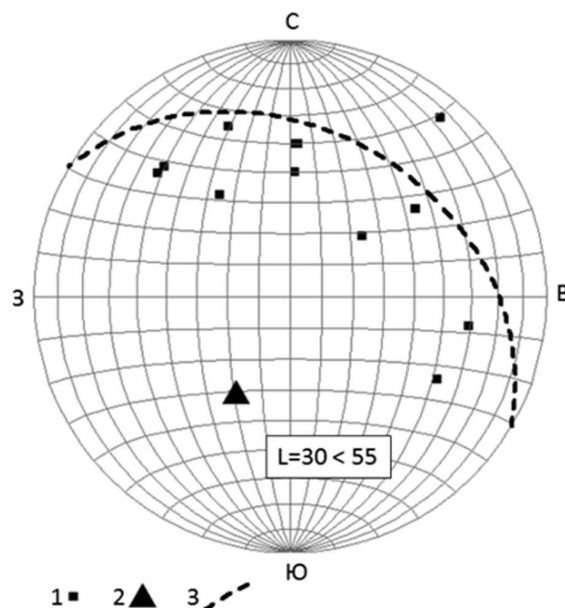


Рис. 2. Диаграмма ориентировки полосчатости в окрестностях рудопроявления Лабогейское-2. 1 — полюса полосчатости; 2 — расчетный шарнир складки полосчатости; 3 — дуга большого круга, аппроксимирующая точки полюсов плоскостей полосчатости

Fig. 2. Diagram of the orientation of banding in the vicinity of the Labogeyskoye-2 ore occurrence. 1 — banding poles; 2 — calculated hinge of the banding fold; 3 — the arc of a large circle approximating the points of the poles of the banding planes

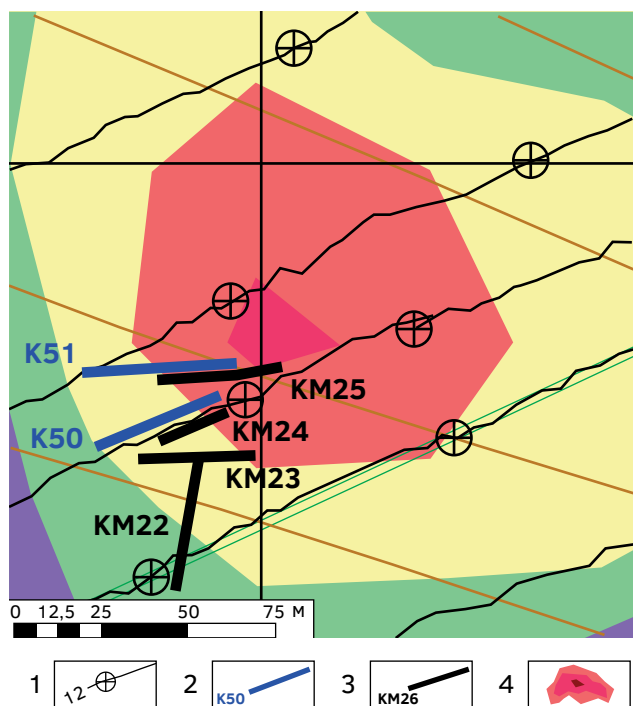


Рис. 3. Фрагмент схемы геолого-геофизической интерпретации (Лабогейский поисковый участок). 1 — профили выполненных гравиметрических исследований; 2 — канавы, пройденные в 2013 г.; 3 — канавы, пройденные В.А. Масловым в 1963 г.; 4 — рудоперспективные зоны по данным интерпретации геофизических полей и их трансформант

Fig. 3. Fragment of the scheme of geological and geophysical interpretation (Labogeyk search area). 1 — profile of the performed gravimetric studies; 2 — ditches traversed in 2013; 3 — ditches traversed by V.A. Maslov in 1963; 4 — ore-prospective zones according to the interpretation of geophysical fields and their transformants

в северной части Войкаро-Сынинского ультраосновного массива, проведенных в 2002—2007 гг.

Из 24 рудопоявлений, для которых по результатам горных и буровых работ составлены геологические планы и построены подсчетные разрезы, наиболее близким аналогом рудопоявления Лабогейское-2, вероятно, является Левопайерское рудное тело. Оно имеет каплевидную форму в плане и полого (под углом 30°) погружается в северо-восточном направлении. С поверхности Левопайерское рудное тело вскрыто двумя канавами и прослежено вдоль линии погружения на расстояние 190 м с отметки 840 м на поверхности до горизонта 720 м на глубине [7].

Заключение

Выявлено, что на месторождениях и рудопоявлениях хромитов Полярного Урала:

1. Рудные тела располагаются в осевых частях складок (длина которых достигает 1 км, ширина — 300—400 м). Причем на крыльях и в замке этих складок рудные тела сильно отличаются друг от друга по морфологии.

2. Линейность хромшпинелидов совпадает со склонением рудных тел.

То есть дальнейшее проведение геолого-разведочных работ на Лабогейском участке необходимо проводить с учетом следующих представлений о его условиях залегания: рудное тело линзовидного типа, имеющее в плане линзовидную форму и размер примерно 3,5×20 м, погружающееся на северо-восток по азимуту 30° под углом 55°, протягивающееся вдоль оси погружения на ~150 м с постепенным уменьшением площади поперечного сечения до 70% от начального (на поверхности).

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.В. Условия формирования и состав хромитовых руд Алапаевского, Верх-Нейвинского и Верблюжьегогорского альпинотипных ультраосновных массивов Урала: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2005. 24 с.
2. Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. Петрология и хромитонность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
3. Вахрушева Н.В. Метаморфизм хромитонных гипербазитов Полярного Урала: дис. ... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1996. 204 с.
4. Душин В.А. Геодинамика, магматизм и минерализация Уральского Севера // В кн.: Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2007. С. 121—134.
5. Иванов К.С. Основные черты геологической истории (1,6—0,2 млрд лет) и строения Урала: дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 252 с.
6. Кашинцев Г.Л., Кузнецов И.Е., Рудник Г.Б. Закономерности локализации и прогнозная оценка хромитовых руд в гипербазитовых массивах северной части Полярного Урала // В кн.: Хромиты Урала, Казахстана, Сибири и Дальнего Востока. М.: Недра, 1974. С. 86—100.
7. Лычаков В.А., Марков В.Е. Выявление структурных критериев локализации хромитового оруденения в пределах Войкаро-Сынинского массива. Отчет Университета дружбы народов. М., 1985. 197 с.
8. Перевозчиков Б.В. Закономерности локализации хромитового оруденения в альпинотипных

- гипербазитах (на примере Урала) // В сб.: Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений твердых полезных ископаемых. Обзорная информация. Вып. 7. М.: Геоинформмарк, 1995. 46 с.
9. Савельев А.А. Структура и условия образования офиолитовых ультрабазит-базитовых ассоциации Урала // Геотектоника. 1996. № 3. С. 25—35.
 10. Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре (Тр. ГИН АН СССР). М.: Наука, 1987.
 11. Селиванов Р.А. Особенности химического состава рудообразующих шпинелей Ямботывисского участка (Войкаро-Сынинский массив, Полярный Урал) // Уральская минералогическая школа — 2006: сб. ст. студентов, аспирантов, научных сотрудников академических институтов и преподавателей вузов геологического профиля. Екатеринбург: УГТУ, 2006. С. 114—115.
 12. Селиванов Р. А., Вахрушева Н.В. Особенности локализации хромового оруденения Енгайского рудного поля // Известия высших учебных заведений. Горный журнал. 2010. № 2. С. 91—98.
 13. Ширяев П.Б. Отклонение от стехиометрии составов рудообразующих хромшпинелей высокохромистых и глиноземистых хромитов Войкаро-Сынинского массива // Ежегодник-2012: труды Ин-та геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого. 2013. Вып. 160. С. 183—187.

REFERENCES

1. Alekseev A.B. Conditions of formation and composition of chromite ores of the Alapaevsky, Verkhny-Neuvinsky and Camel-mountain alpinotype ultrabasic massifs of the Urals: Abstract of the cand. of geol.-min. sciences. Yekaterinburg, 2005. 24 p.
2. Vakhrusheva N.V., Shiryayev P.B., Stepanov A.E., Bogdanova A.R. Petrology and chromitonicity of the Ray-Iz ultrabasic massif (Polar Urals). Yekaterinburg: IGG UrO RAS, 2017. 265 p.
3. Vakhrusheva N.V. Metamorphism of chromite-bearing hyperbasites of the Polar Urals: Diss. cand. of geol.-min. sciences. Yekaterinburg, 1996. 204 p.
4. Dushin V.A. Geodynamics, magmatism and minerageny of the Ural North // Geodynamics, magmatism, metamorphism and ore formation. Yekaterinburg: IGG UrO RAS, 2007. P. 121—134.
5. Ivanov K.S. The main features of the geological history (1.6—0.2 billion years) and the structure of the Urals: Diss. doctor of geol.-min. sciences. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1998. 252 p.
6. Kashintsev G.L., Kuznetsov I.E., Rudnik G.B. Regularities of localization and predictive assessment of chromite ores in hyperbasite massifs of the northern part of the Polar Urals // Chromites of the Urals, Kazakhstan, Siberia and the Far East. Moscow: Nedra, 1974. P. 86—100.
7. Lychakov V.A., Markov V.E. Identification of structural criteria for localization of chromite mineralization within the Voikaro-Synyinsky massif. Report of the Peoples' Friendship University. Moscow: 1985. 197 p.
8. Perevozchikov B.V. Regularities of localization of chromite mineralization in alpine-type hyperbasites (on the example of the Urals) / Geology, methods of prospecting, exploration and evaluation of deposits of solid minerals. Overview information. Issue 7. Moscow: Geoinformmark, 1995. 46 p.
9. Savelyev A.A. Structure and conditions of formation of ophiolite ultrabasic-basite associations of the Urals // Geotectonics. 1996. No. 3. P. 25—35.
10. Savelyeva G.N. Gabbro-ultrabasic complexes of ophiolites of the Urals and their analogues in the modern oceanic crust (Tr. GIN of the USSR Academy of Sciences). Moscow: Nauka, 1987.
11. Selivanov P.A. Features of the chemical composition of ore-forming spinels of the Yambotyvisky site (Voikaro-Syninsky massif, Polar Urals) // Ural Mineralogical school — 2006: collection of articles by students, postgraduates, scientific collaborators of academic institutes and university teachers of geological profile. Yekaterinburg: USTU, 2006. P. 114—115.
12. Selivanov P.A., Vakhrusheva N.V. Features of localization of chrome mineralization of the Engai ore field // News of higher educational institutions. Mining magazine. 2010. No. 2. P. 91—98.
13. Shiryayev P.B. Deviation from stoichiometry of the compositions of ore-forming chrome spinels of high-chromium and alumina chromitites of the Voikaro-Syninsky massif // Yearbook-2012: Proceedings of the Institute of Geology and Geochemistry named after. akad. A. N. Zavaritsky. 2013. Iss. 160. P. 183—187.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Морозова Т.П. — выдвинула идею и разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи, подготовила версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Карелина Е.В. — собрала материал по данным документации геолого-разведочных работ, утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Марков В.Е. — собрал материал по данным документации геолого-разведочных работ, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Tatiana P. Morozova — put forward the idea and developed the concept of the article, prepared the text of the article, prepared the version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

Elena V. Karelina — collected material according to the documentation of geological exploration, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Vladimir E. Markov — collected material according to the documentation of geological exploration, approved the published version of the article and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Морозова Татьяна Петровна* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых Российского государственного геологоразведочного университета имени Серго Орджоникидзе.

23. ул. Миклухо-Маклая, г. Москва 117485, Россия

тел.: +7 (915) 324-65-79

e-mail: morozovatp@mgri.ru

SPIN-код: 9947-0610

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7541-8258>

Tatiana P. Morozova* — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of the Department of Methods of Prospecting and Exploration of Mineral Deposits of the Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University.

23. Miklukho-Maklaya str., Moscow 117485, Russia

tel.: +7 (915) 324-65-79

e-mail: morozovatp@mgri.ru

SPIN-code: 9947-0610

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7541-8258>

Карелина Елена Викторовна — кандидат геолого-минералогических наук, доцент Департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии Российского университета дружбы народов.

3, ул. Орджоникидзе, Москва 115419, Россия

тел.: +7 (910) 492-73-27

e-mail: karelina_ev@pfur.ru

SPIN-код: 4919-8300

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0929-4290>

Elena V. Karelina — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Assoc. Prof. of the Department of Subsoil Use and Oil and Gas Engineering Academy of RUDN University.

3, Ordzhonikidze str., Moscow 115419, Russia

tel.: +7 (910) 492-73-27

e-mail: karelina_ev@pfur.ru

SPIN-code: 4919-8300

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0929-4290>

Марков Владимир Евгеньевич — старший преподаватель Департамента недропользования и нефтегазового дела Инженерной академии Российского университета дружбы народов.

3, ул. Орджоникидзе, Москва 115419, Россия

тел.: +7 (905) 517-58-72

e-mail: markov_ve@pfur.ru

SPIN-код: 5882-5663

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6594-0763>

Vladimir E. Markov — senior lecturer at the Department of Subsoil Use and Oil and Gas Engineering of the Engineering Academy of RUDN University.

3, Ordzhonikidze str., Moscow 115419, Russia

tel.: +7 (905) 517-58-72

e-mail: markov_ve@pfur.ru

SPIN-code: 5882-5663

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6594-0763>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-39-46>
УДК 539.16.04+539.16.07



СОДЕРЖАНИЕ ПРИРОДНЫХ РАДИОНУКЛИДОВ Ra^{226} , Th^{232} , K^{40} В ТИТАНОВЫХ РУДАХ И ВМЕЩАЮЩИХ ПОРОДАХ ПИЖЕМСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А.Б. МАКЕЕВ

ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии
Российской академии наук»
35, Старомонетный пер., Москва 119017, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Важной обязательной характеристикой для руд всех месторождений, позволяющей безопасно их изучать, разрабатывать, обогащать и получать товарные продукты, является оценка содержания в них природных радионуклидов.

Цель — оценить содержание естественных радионуклидов в породах и рудах Пижемского титанового месторождения и определить их минералы-концентраторы.

Материалы и методы. Исследование 15 керновых проб скважин в пределах Пижемского титанового месторождения проведено в лабораториях Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии (ИГЕМ РАН) и Всероссийском институте минерального сырья (ФГБУ ВИМС) с использованием полупроводникового гамма-спектрометра «Ortec-65195-P/DSPecPlus».

Результаты. Впервые проведена оценка радиационной безопасности и определена концентрация естественных радионуклидов Ra^{226} , Th^{232} , K^{40} в титановых рудах и вмещающих породах Пижемского месторождения (Средний Тиман). Концентратором Ra^{226} является циркон, Th^{232} — монацит (куларит), K^{40} — гидромусковит-иллит. Наименьшие содержания радионуклидов установлены для кварцевых (D_2pz) и кварц-каолиновых (PR_3mr^3) песчаников стекольного качества. Титановые руды месторождения относятся к I классу минерального сырья ($A_{эфф} < 0,74$ кБк/кг), они совершенно безвредны для человека.

Заключение. Низкие содержания радионуклидов позволяют безопасно проводить обогащение титановых руд, а песчаники вскрыши стекольного качества использовать без ограничений.

Ключевые слова: Пижемское месторождение, радионуклиды Ra^{226} , Th^{232} , K^{40} , минералы-концентраторы циркон, монацит, гидромусковит-иллит

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Работа выполнена в соответствии с госзаданием по теме FMMN-2021-0005 ИГЕМ РАН.

Для цитирования: Макеев А.Б. Содержание природных радионуклидов Ra^{226} , Th^{232} , K^{40} в титановых рудах и вмещающих породах Пижемского месторождения. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(2):39—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-39-46>

Статья поступила в редакцию 15.12.2021

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

CONTENT OF Ra^{226} , Th^{232} AND K^{40} NATURAL RADIONUCLIDES IN THE TITANIUM ORES AND HOST ROCKS OF THE PIZHEMSKOYE DEPOSIT

ALEXANDER B. MAKEYEV

*Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences
35, Staromonetny lane, Moscow 119017, Russia*

ABSTRACT

Background. The value of natural radionuclide content in ores is a fundamental characteristic of any ore deposit, determining the possibility of studying, developing and enriching these ores, as well as manufacturing commercial products on their basis.

Aim. To evaluate the content of natural radionuclides in the rocks and ores of the Pizhem titanium deposit and to determine their mineral concentrators.

Materials and methods. A study of 15 core samples from wells within the Pizhem titanium deposit was carried out in the laboratories of IGEM RAS and VIMS using an “Ortec-65195-P/DSpecPlus” semiconductor gamma spectrometer.

Results. For the first time, a radiation safety assessment was carried out and the concentration of Ra^{226} , Th^{232} and K^{40} natural radionuclides in the titanium ores and host rocks of the Pizhemskeye deposit (the Middle Timan) was determined. The mineral concentrators for Ra^{226} , Th^{232} and K^{40} were found to be zircon, monazite (kularite) and hydromuscovite-illite, respectively. The lowest content of radionuclides was established for quartz (D_2pz) and quartz-kaolinite (PR_3mr^3) sandstones of glass quality. The titanium ores of the deposit belong to the I class of mineral raw materials ($A_{\text{eff}} < 0.74 \text{ kBq/kg}$), thereby being completely harmless to humans.

Conclusion. The low content of radionuclides in the studied ores allows them to be safely enriched, and the overburden sandstones of glass quality to be used without restrictions.

Keywords: Pizhemskeye deposit, Ra^{226} , Th^{232} , and K^{40} radionuclides, mineral concentrators, zircon, monazite, hydromuscovite-illite

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Funding: The work was carried out in accordance with the state task on the topic FMMN-2021-0005 IGEM RAS.

For citation: Makeyev A.B. The content of natural radionuclides Ra^{226} , Th^{232} , K^{40} in titanium ores and host rocks of the Pizhemskeye deposit. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):39—46. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-39-46>

Manuscript received 15 December 2021

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

Одно из крупнейших в России Пижемское титановое (псевдуртил-лейкоксен-кварцевое) месторождение, запасы которого по категориям C_1 и C_2 утверждены ГКЗ в 2020 г. в количестве 300 млн т руды и 12,8 млн т TiO_2 (по борту 3 мас.% TiO_2), расположено в северной периклинальной части Вольско-Вымской гряды Среднего Тимана (Республика Коми). Геологическое строение, вещественный и минеральный состав руд и вмещающих пород хорошо изучены [2, 3]. Титаноносная малоручейская толща PR_3mr с лейкоксен-псевдуртил-

ловым оруденением с угловым несогласием субгоризонтально залегает на рифейских глинистых сланцах PR_3/v и также с угловым несогласием перекрывается терригенно-осадочными и вулканогенно-осадочными породами среднего-верхнего девона. Руды и породы не содержат остатков руководящей биоты. Среднее содержание TiO_2 в пижемских сероцветных песчаниках средней малоручейской толщи (PR_3mr^2) — 5,7 мас.%, при средней мощности пласта 5,6 м, в красноцветных песчаниках нижней малоручейской толщи

(PR_3mr^1), соответственно, 3,5 мас.% (35 м). На восток и северо-восток мощность рудных пластов значительно увеличивается, до 40 и 100 м соответственно.

В рудах Пижемского месторождения диагностировано 40 минералов и их разновидностей: ильменит, пикроильменит, рутил, Fe-рутил, псевдорутил — $(Fe^{2+}, Fe^{3+})_{2-n}Ti_3O_9 \cdot SiO_2$, лейкоксен — $TiO_2 \cdot SiO_2$, Nb-рутил («ильменорутил»), Ta-Nb-рутил («стрюверит»), колумбит, циркон, монацит, куларит, ксенотим, флоренсит, хромит и другие. Главные рудные титановые минеральные фазы — лейкоксен и псевдорутил — не имеют строгой ориентировки и сортировки в песчаниках, как и остроугольные зерна кластогенного кварца. Цементом рудных песчаников являются гематит, сидерит, гидромусковит, каолинит. Сидерит часто образует гидротермальные прожилки толщиной до 1—2 мм. По классификации ВИМС кварц-лейкоксеновые титановые месторождения относятся к гидротермально-метаморфогенным коренным месторождениям [14]. В них на месте происходит ступенчатое гидротермально-метаморфическое преобразование ильменита в рутиловый лейкоксен с выносом железа при участии флюида и углекислоты: ильменит → Fe-рутил → псевдорутил → лейкоксен + сидерит + рутил [3].

Важной обязательной характеристикой для руд всех месторождений, позволяющей безопасно их изучать, разрабатывать, обогащать и получать товарные продукты, является оценка содержания в них природных радионуклидов [12, 13]. Цель настоящей работы: оценить содержание естественных радионуклидов в породах и рудах Пижемского титанового месторождения и определить их минералы-концентраторы.

Материалы и методы

Исследования 15 керновых проб проведены в лабораториях ИГЕМ РАН и ВИМС по единой методике измерения удельной активности естественных радионуклидов в твердых и сыпучих пробах с использованием полупроводникового гамма-спектрометра «Ortec-65195-P/DSPec-Plus» (США).

Материал для исследования был получен из керна разведочных и поисковых скважин в пределах южной части Пижемского месторождения. Основная часть материала, 12 проб, для исследования была отобрана из керна скважины 392, находящейся (рис.) на самом северном профиле L-940 [3] лицензионной площади АО «РУСТИТАН». Эта выборка была дополнена тремя пробами керна из других скважин (табл.). Таким образом, были

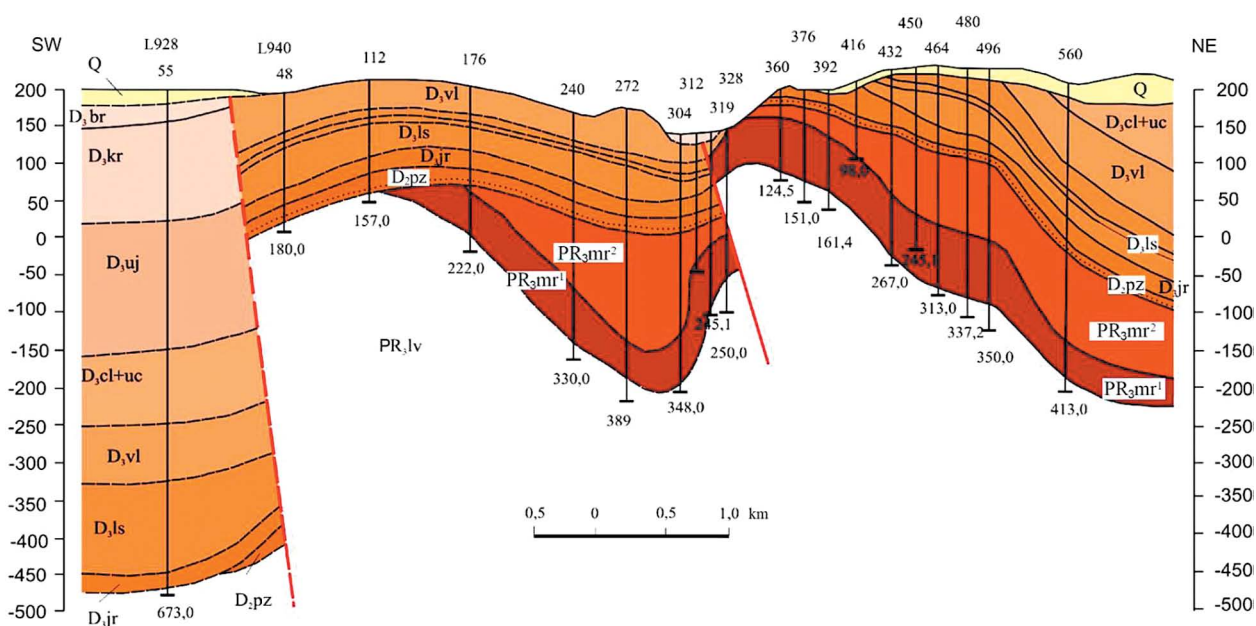


Рис. Геологический разрез L-940 через Пижемское титановое месторождение по данным Ухтинской геолого-разведочной экспедиции (1992). Малоручейская титаноносная толща обозначена индексами PR_3mr^2 — сероцветные песчаники, PR_3mr^1 — красноцветные песчаники

Fig. Geological section L-940 through the Pyzhemskoye titanium deposit according to the Ukhtinskaya geological survey (1992). The Malorucheyevskaya titanium-bearing strata is indicated by the PR_3mr^2 — gray-colored sandstones, PR_3mr^1 — red-colored sandstones

Таблица. Результаты определения природных радионуклидов в пробах титановых руд малоручейской толщи PR_3mr и вмещающих пород — вышележающих среднедевонских песчаниках (D_2pz) и нижележающих глинистых сланцах рифея (PR_3lv)
Table. Results of the determination of natural radionuclides in samples of titanium ores of the Malorucheyevskaya thickness PR_3mr and host rocks — overlying Middle Devonian sandstones (D_2pz) and underlying clay shales of the Riphean (PR_3lv)

№ пробы	Название породы	Вес, кг	Ra^{226} , г/м	Th^{232} , г/м	K^{40} , г/м	$\pm$	Ra^{226} , Бк/кг	$\pm$	Th^{232} , Бк/кг	$\pm$	K^{40} , Бк/кг	$\pm$	Возраст толщи	Содержание компонентов, %		
														Fe_2O_3	TiO_2	Sr, ppm
3918-2	Песч. кварц.	1,000	0,77	0,20	0,80	0,52	10	3,0	10	3,0	<40	-	D_2pz	0,58	0,15	119
392-36	Песч. каолин.	0,164	0,80	0,21	0,51	<0,26	10,6	2,8	8,4	1,9	21	26	PR_3mr^3	0,25	0,92	96
392-35	Песч. сер.	0,230	4,74	0,68	2,04	0,57	63	7,7	60	7,7	170	42	PR_3mr^2	2,15	7,06	836
392-34	Песч. сер.	0,245	4,83	0,61	1,97	0,75	65	8,1	62	7,4	230	44	- « -	3,46	5,71	808
392-32	Песч. крас.	0,230	3,74	0,49	1,86	1,50	50	6,5	45	5,5	320	44	PR_3mr^1	12,00	3,42	364
392-26	Аргиллит	0,215	4,05	0,58	1,37	1,37	54	7,8	51	6,3	410	59	- « -	8,26	1,78	365
392-25	Аргиллит	0,200	4,85	0,69	1,88	2,30	65	9,3	56	7,1	700	90	- « -	8,40	1,10	404
392-21	Аргиллит	0,175	4,77	0,63	1,81	2,32	64	8,5	55	6,8	720	95	- « -	10,29	1,40	460
392-15	Песч. крас.	0,230	4,42	0,57	1,31	0,80	59	7,6	43	5,3	240	43	- « -	5,25	3,21	246
392-14	Песч. крас.	0,225	3,27	0,43	1,30	0,78	44	5,8	40	4,9	230	39	- « -	6,31	2,90	193
392-13	Алевролит	0,154	4,11	0,56	1,58	1,91	55	7,5	47	6,0	580	80	- « -	8,90	2,16	324
392-3	Аргиллит	0,190	4,31	0,59	1,96	1,77	58	7,9	58	7,0	540	72	- « -	8,76	2,22	336
М-209	Песч. крас.	0,227	5,19	0,64	1,78	0,51	69	8,6	54	6,7	150	40	- « -	9,13	5,84	297
2515-18	Сланцы глин.	1,000	3,51	0,52	1,88	2,71	47	7,0	53	7,0	825	105	PR_3lv	5,69	1,60	144
2517-12	Сланцы глин.	1,000	3,21	0,45	1,88	3,61	43	6,0	56	7,0	1100	140	- « -	7,98	0,89	139
Сред-нее	Сероцветы	0,237	4,77	0,64	2,01	0,66	64,0	7,9	61,0	7,5	200,0	43,0	PR_3mr^2	2,80	6,38	822
	Красноцветы	0,205	4,30	0,58	1,65	1,42	57,6	7,7	49,9	6,2	432,2	62,4	PR_3mr^1	8,59	2,67	332

Примечание. Эффективная удельная активность природных радионуклидов ($A_{эф}$) в минеральном сырье и товаров, произведенных из этого сырья, определяется по формуле: $A_{эф} = A_{Ra} + 1,3 \times A_{Th} + 0,09 \times A_{K}$, Бк/кг [13], где A_{Ra} и A_{Th} — удельная активность Ra^{226} и Th^{232} , находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами рядов U^{238} и Th^{232} соответственно; A_K — удельная активность K^{40} , Бк/кг.

Note: The effective specific activity of natural radionuclides (A_{eff}) in mineral raw materials and goods produced from these raw materials is determined by the formula: $A_{eff} = A_{Ra} + 1,3 \times A_{Th} + 0,09 \times A_K$, Bk/kg [13], where A_{Ra} and A_{Th} are the specific activity of Ra^{226} and Th^{232} , which are in radioactive equilibrium with the rest members of the series U^{238} and Th^{232} , respectively; A_K — specific activity K^{40} , Bk/kg.

впервые получены сведения о содержании радионуклидов в полном вертикальном профиле пород: от перекрывающих месторождение среднедевонских кварцевых песчаников, через всю трехчленную титаносную малоручейскую толщу (PR_3mr), до подстилающих рифейских глинистых сланцев.

Результаты и обсуждение

Полные результаты исследования, а также частичные данные по химическому составу пород (рентгенофлуоресцентный метод, стандартная методика, лаборатория ИГЕМ) размещены в таблице. Наименьшие содержания радионуклидов установлены для кварцевых (D_2pz) и кварц-каолиновых (PR_3mr^3) песчаников стекольного качества.

Известно обязательное требование при проведении разведочных буровых работ, которые должны сопровождаться геофизическими исследованиями — каротажем скважин. При проведении геолого-разведочных работ (ГРП) в пределах Пижемского месторождения основным видом каротажа был гамма-картаж, который позволял точно отбивать литологические разности пород: кварцевые песчаники пород вскрыши, конглобрективный горизонт полиминерального проявления Ичетью [7]; титановые руды малоручейской толщи; подстилающие рифейские глинистые сланцы. Источником γ -излучения является радионуклид Ra^{226} , который накапливается в древних зернах циркона и малакона при α -распаде в нем примеси урана [6, 10]. Установлено, что примерно 10% зерен циркона в проявлении Ичетью и малоручейской титаносной толщи содержат аномально высокие примеси иттрия, фосфора, урана и других некогерентных компонентов, которые отличают эту гидротермально измененную разновидность циркона от обычного магматического циркона. Геофизиком И.И. Зальцманович было предложено использовать данные γ -каротажа для экспрессной оценки содержания TiO_2 в титан-циркониевых песчаниках и песках (в том числе и в пижемских рудах) вместо дорогостоящих химических анализов. Предполагалось, что существует корреляция между значениями γ -излучения (или содержанием циркона) и содержанием титановых минералов в руде. Это предположение не оправдалось из-за неоднозначности и низкой корреляции между ZrO_2 и TiO_2 ($r = 0,579$) в сероцветных песчаниках и ($r = -0,632$) в красноцветных песчаниках [3].

Концентратором природного радионуклида Th^{232} является монацит (куларит),

в котором содержание тория варьирует от следов до нескольких процентов, это обстоятельство позволило радиоизотопными и химическими методами оценить возраст монацита [2, 4, 5, 11]. Кроме этого минерала в крайне малых количествах (в единичных зернах) в конглобрективном горизонте проявления Ичетью обнаружены торанит $(Th,U,Pb)O_2$ и неназванная фаза $ThPO_4$ — фосфат тория [9], но эти два последних минерала не могут заметно повлиять на концентрацию радионуклида Th^{232} в рудах проявления Ичетью.

Природный радионуклид K^{40} концентрируется в калиевых минералах. Главным концентратом калия в пределах Пижемского месторождения является гидромусковит-иллит, содержащий 9—11 мас.% K_2O , который вместе с каолинитом слагает глинистый цемент в псевдорутил-лейкоксен-кварцевых титановых рудах, он же является главным породообразующим минералом глинистых сланцев рифейских пород фундамента [8]. Содержание калия и его радионуклида K^{40} возрастает в литологическом разрезе пород месторождения сверху вниз.

Все три охарактеризованных выше природных радионуклида имеют большое значение и используются при проведении аэрогеофизических радиоизотопных исследований. Такая аэросъемка 1:50000 масштаба уже была проведена ранее в исследуемом регионе — Среднем Тимане [1]. Ее результаты были использованы при геологическом картировании и поисках месторождений. Еще более полезной оказалась бы крупномасштабная радиоизотопная съемка 1:10000 и 1:5000 в пределах самого Пижемского месторождения. Она могла бы уточнить геологические границы разномасштабных образований: выявить мелкие аномалии (Ra^{226} и Th^{232}), связанные с выходами конглобрективного горизонта полиминерального проявления Ичетью; четко провести границы между выходами пород рифейского фундамента и титаносной толщей под рыхлыми маломощными четвертичными ледниковыми отложениями.

Заключение

Природный радионуклид радий (Ra^{226}) концентрируется в минерале цирконе $ZrSiO_4$, которого больше всего в сероцветных песчаниках (PR_3mr^2), а также частично в монаците. Природный радионуклид торий (Th^{232}) содержится в минерале монаците (куларите) — фосфате редких земель $(Ce,Nd,La)PO_4$, этот минерал

концентрируется в сероцветных и красноцветных титаноносных песчаниках. Природный радионуклид калий (K^{40}) содержится в основном в калиевой слюде (гидромусковите-иллите), который вместе с каолинитом, сидеритом и гематитом образует поровый межзерновой цемент титановых руд в песчаниках, алевролитах и аргиллитах, этого минерала больше всего в цементе пород нижней красноцветной толщи (PR_3mr^1) и глинистых сланцах (PR_3lv) фундамента. При переработке титановых руд по разработанной в ИМЕТ РАН технологии калийсодержащая слюда — гидромусковит-иллит уходит в шламовую фракцию, а монацит и циркон — в мелкую тяжелую фракцию ($d \approx 4,0$ г/см³). Таким образом, получаемые концентраты титановых минералов, состоящие из ильменита, псевдорутила и лейкоксена, и их обескремененные товарные продукты будут

почти полностью свободны от природных радионуклидов.

Впервые определенные показатели содержания природных радионуклидов в титановых рудах и вмещающих породах Пижемского месторождения оказались минимальными, они характеризуют все изученные пробы как содержащие природные радионуклиды (радий Ra^{226} , торий Th^{232} и калий K^{40}) в фоновых количествах и ниже фона (табл.), такие содержания безвредны для человека. Титановые руды относятся к I классу минерального сырья ($A_{эфф} < 0,74$ кБк/кг) и могут быть использованы в качестве сырья в технологических процессах для получения концентратов и товарной продукции, а кварцевые и кварц-каолиновые песчаники стекольного качества — в строительной промышленности без ограничений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Контарович Р.С. Отчет об аэрогеофизических поисках бокситов и других твердых полезных ископаемых на Пижменской и Вольско-Вымской площадях Тимана партией №36 в 1977—78 гг. 1979. Росгеолфонд.
2. Макеев А.Б. Типоморфные особенности минералов титановых руд Пижемского месторождения // Минералогия. 2016. № 1. С. 24—49.
3. Макеев А.Б. Пижемское титановое месторождение новый объект ближайшего освоения в Арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. 2021. № 4 (39). С. 541—556. <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-4-541-556>.
4. Макеев А.Б., Борисовский С.Е., Красоткина А.О. Химический состав и возраст монацита и куларита из титановых руд Пижемского и Ярегского месторождений (Средний и Южный Тиман) // Георесурсы. 2020. 22(1). С. 22—31. <https://doi.org/10.18599/grs.2020.1.22-31>
5. Макеев А.Б., Вирюс А.А. Монацит проявления Ичетью (состав, морфология, возраст) // Изв. вузов. Геология и Разведка. 2013. № 3. С. 10—15.
6. Макеев А.Б., Красоткина А.О., Скублов С.Г. Геохимия и изотопный U-Pb возраст циркона Пижемского титанового месторождения (Средний Тиман) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 5. С. 38—52. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2016-5-38-52>
7. Макеев А.Б., Красоткина А.О., Скублов С.Г. Новые данные о U-Pb возрасте и составе циркона (SHRIMP-II, SIMS) из полиминерального рудопроявления Ичетью (Средний Тиман) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 11. С. 28—42. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2017-11-28-42>
8. Макеев А.Б., Красоткина А.О., Скублов С.Г. Глинистые сланцы лунвожской свиты Вольско-Вымской гряды (Средний Тиман): состав, возраст, акцессорный циркон // Материалы Минералогического семинара с международным участием «Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2018)». Сыктывкар, 2018. С. 40—41.
9. Макеев А.Б., Макеев Б.А., Борисовский С.Е. Новая минеральная фаза — фосфат тория (Средний Тиман, Республика Коми) // Региональная геология и металлогения. 2021. № 87. С. 110—117. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_87_110-117
10. Макеев А.Б., Скублов С.Г. Иттриево-редкоземельные цирконы Тимана: геохимия и промышленное значение // Геохимия. 2016. № 9. С. 821—828. <https://doi.org/10.1134/S0016702916080070>
11. Макеев А.Б., Скублов С.Г., Красоткина А.О., Борисовский С.Е., Томсен Т.Б., Серре С.Х. Возраст монацита из полиминерального проявления Ичетью (CHIME и LA-ICP-MS методы) // Записки российского минералогического общества. 2020. Ч. CXLIX. № 1. С. 76—95. <https://doi.org/10.31857/S0869605520010086>
12. Приложение. Санитарные правила и нормы СанПин 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009» (утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 7 июля 2009 г. № 47).
13. Радиационный контроль и санитарно-эпидемиологическая оценка минеральных удобрений и агрохимикатов по показателям радиационной безопасности. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. 2014. 20 с.

14. Тигунов Л.П., Быховский Л.З., Зубков Л.Б. Титановые руды России: состояние и перспективы освоения /

«Минеральное сырье». Серия геолого-экономическая. № 17. М.: ВИМС. 2005. 104 с.

REFERENCES

- Kontarovich R.S. Report on aerogeophysical searches for bauxite and other solid minerals on the Pizhenskaya and Volsko-Vymskaya areas of Timan by party No. 36 in 1977—78, 1979. Rosgeolfond (In Russian).
- Makeyev A.B. Typomorphic features of minerals of titanium ores of the Pizhenskoye deposit // Mineralogiya. 2016. No 1. P. 24—49 (In Russian).
- Makeyev A.B. The Pizhenskoye titanium deposit is a new object of the nearest development in the Arctic zone of Russia] // Arktika: ekologiya i ekonomika. [Arctic: Ecology and Economy. 2021. V. 11. No 4. P. 541—556 (In Russian). <https://doi.org/10.25283/2223-4594-2021-4-541-556>
- Makeyev A.B., Borisovskiy S.E., Krasotkina A.O. The chemical composition and age of monazite and kuralite from titanium ore of Pizhenskoye and Yarega deposits (Middle and Southern Timan) // Georesources. 2020. V. 22. No 1. P. 22—31 (In Russian). <https://doi.org/10.18599/grs.2020.1.22-31>
- Makeyev A.B., Viryus A.A. Monazit of the Ichetyu occurrence (composition, morphology, age) // Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration. 2013. No 3. P. 10—15 (In Russian).
- Makeyev A.B., Krasotkina A.O., Skublov S.G. Geochemistry and U-Pb-age of zircon from Pizhenskoe titanium deposit (Middle Timan) // Vestnik IG Komi SC UB RAS. 2016. No 5. P. 38—52 (in Russian). <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2016-5-38-52>
- Makeyev A.B., Krasotkina A.O., Skublov S.G. New data on the U-Pb age and composition of zircon (SHRIMP-II, SIMS) from the Ichetyu polymineral ore occurrence (Middle Timan) // Vestnik IG Komi SC UB RAS. 2017. No 11. P. 28—42 (In Russian). <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2017-11-28-42>
- Makeyev A.B., Krasotkina A.O., Skublov S.G. Clay shales of the Lunvozhskaya formation of the Volsko-Vymskaya ridge (Middle Timan): composition, age, accessory zircon. Materials of the Mineralogical seminar with international participation “Modern problems of theoretical, experimental and applied mineralogy” (Yushkin readings — 2018). Syktyvkar, 2018, P. 40—41 (In Russian).
- Makeyev A.B., Makeyev B.A., Borisovskiy S.E. Thorium phosphate: New mineral phase (Middle Timan, Komi Republic) // Regional Geology and Metallogeny. 2021. No. 87. P. 110—117 (In Russian). https://doi.org/10.52349/0869-7892_2021_87_110-117
- Makeyev A.B. and Skublov S.G. Y-REE-Rich Zircons of the Timan Region: Geochemistry and Economic Significance // Geochemistry International, 2016, V. 54. No 9. P. 788—794. <https://doi.org/10.1134/S0016702916080073>
- Makeyev A.B., Skublov S.G., Krasotkina A.O., Borisovskiy S.E., Thomsen T.B., Serre S.H. The age of monazite from the Ichet'yu occurrence, Middle Timan (Chime and LA—ICP—MS Methods) // Geology of Ore Deposits. 2020. V. 62. No 8. P. 773—786. <https://doi.org/10.1134/S1075701520080103>
- Application. Sanitary rules and regulations SanPiN 2.6.1.2523-09 “Norms of radiation safety NRB-99/2009” (approved by the resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated July 7, 2009. No 47) (In Russian).
- Radiation control and sanitary-epidemiological assessment of mineral fertilizers and agrochemicals according to radiation safety indicators. Moscow: Federal Center for Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor. 2014. 20 p. (In Russian).
- Tigunov L.P., Bykhovsky L.Z., Zubkov L.B. Titanium ores of Russia: state and prospects of development, in Mineral Raw Materials, Geological and Economic Series. Ed. by L.P. Tigunov, (VIMS, Moscow, 2005). No. 17. 104 p. (in Russian).

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Макеев А.Б. — работа в ФГБУН «ИГЕМ РАН» и проводя геолого-минералогические исследования на данной территории, собрал полевой каменный материал для статьи из керна скважин, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Alexander B. Makeyev — working at the IGEM RAS and conducting geological and mineralogical research in this area, collected field stone material from the core of wells for the article, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Макеев Александр Борисович — доктор геолого-минералогических наук; ведущий научный сотрудник ФГБУН «Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии Российской академии наук»; профессор по специальности минералогия, кристаллография.

35, Старомонетный пер., г. Москва 119017, Россия

E-mail: abmakeev@mail.ru

SPIN-код: 6640-1703

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8815-0959>

Alexander B. Makeyev — Dr. of Sci. (Geol. and Mineral.), Leading Researcher at the Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry of the Russian Academy of Sciences; Professor in Mineralogy and Crystallography.

35, Staromonetny Lane, Moscow 119017, Russia

E-mail: abmakeev@mail.ru

SPIN-code: 6640-1703

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8815-0959>



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-47-56>
УДК 549: 553.5 (470.43)



МИНЕРАЛОГИЯ ИНТЕРЬЕРНО-ЮВЕЛИРНЫХ АММОНИТОВ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.А. ПЕТРОЧЕНКОВ^{1,*}, Е.Ю. БАРАБОШКИН²

¹ ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»
23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

² ФГБОУ «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»
1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Изделия из аммонитов пользуются в настоящее время повышенным спросом. Аммониты характеризуются разнообразием цветовых оттенков, форм и размеров, что позволяет изготавливать широкий спектр сувенирных и ювелирных изделий. Значительными ресурсами аммонитов интерьерного и ювелирно-поделочного качества обладает Россия, при этом они остаются минералогически слабо или полностью не изученными. В статье впервые приводятся минеральный состав и геммологические характеристики верхнеюрских интерьерно-ювелирных аммонитов Самарской области.

Цель — характеристика стратиграфического положения и минерального состава интерьерно-ювелирных аммонитов Самарской области.

Материалы и методы. Отобраны аммониты позднеюрского возраста (45 образцов) из основных мест их сбора. Выделены и изучены характерные типы аммонитов интерьерно-ювелирного качества. Комплекс исследований включал определение микротвердости (25 определений), плотность (12 определений), люминесценция (10 образцов), оптико-петрографический анализ (5 шлифов), количественное определение минерального и химического состава (3 пробы), электронно-зондовые исследования (2 образца).

Результаты. Для аммонитов характерен перламутровый слой с разноцветной иризацией. Аммониты состоят преимущественно из апатита, 21—70 мас.%, и кальцита, 21—87 мас.%. Присутствуют кварц, алюмосиликаты, гипс, пирит, цеолиты, гетит, ильменит, органическое вещество. Камеры раковин аммонитов выполнены фосфоритом и кальцитом. Стенки и перегородки раковин полностью утратили первоначальный арагонитовый состав и состоят из апатита, кальцита с включениями пирита. Из элементов-примесей в аммонитах фиксируются повышенные содержания Sr, до 0,17 мас.%, и Ba, до 0,01 мас.%. В кальците из элементов-примесей установлены содержания (мас.%): Mg — 0,17, Mn — 0,17, Fe — 1,14, Sr — 0,11, Y — 0,17.

Заключение. Впервые установлен минеральный и химический (включая микровключения и элементы примеси) состав аммонитов интерьерно-ювелирного качества. Аммониты Самарской области представляют коммерческий интерес в качестве интерьерных образцов. Фрагменты раковин могут использоваться в ювелирных изделиях. Сбор аммонитов проводится в береговых обрывах и зоне пляжа р. Волги, что не требует капитальных вложений и не нарушает экологию среды.

Ключевые слова: аммонит, верхнеюрские отложения, Волжский ярус, ювелирные материалы, кальцит, апатит, Самарская область

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: Работа выполнена в рамках темы госзадания АААА-А16-116033010096-8 (МГУ) с использованием оборудования, приобретенного по программе развития МГУ.

Для цитирования: Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю. Минералогия интерьерно-ювелирных аммонитов Самарской области. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(2):47—56. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-47-56>

Статья поступила в редакцию 13.04.2022
Принята к публикации 05.09.2022
Опубликована 15.09.2022

* Автор, ответственный за переписку

MINERALOGY OF INTERIOR JEWELLERY AMMONITES OF THE SAMARA REGION

DMITRY A. PETROCHENKOV^{1,*}, EVGENY Yu. BARABOSHKIN²

¹ *Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University
23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia*

² *M.V. Lomonosov Moscow State University
1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia*

ABSTRACT

Background. Ammonite products are increasingly gaining in popularity. Ammonites are characterised by a variety of colour shades, shapes and sizes, making them suitable for manufacturing a wide range of souvenir and jewellery products. Russia enjoys significant resources of ammonites of interior and jewellery-ornamental quality; however, these materials remain insufficiently studied from the mineralogical point of view. This article presents the mineral composition and gemological characteristics of the Upper Jurassic interior jewellery ammonites of the Samara region for the first time.

Aim. To describe the stratigraphic position and mineral composition of interior jewellery ammonites of the Samara region.

Materials and methods. Late Jurassic ammonites (45 samples) were collected from a number of their main locations. The characteristic types of ammonites of interior-jewellery quality were distinguished and studied. Experiments included the determination of microhardness (25 determinations), density (12 determinations), luminescence features (10 samples), optical and petrographic analysis (5 thin sections), as well as the quantitative determination of mineral and chemical composition (3 samples), and electron probe studies (2 samples).

Results. Ammonites are characterized by the presence of a mother-of-pearl layer with multi-coloured iridescence. The ammonites under study consist mainly of apatite (21—70 wt. %) and calcite (21—87 wt. %) along with quartz, aluminosilicates, gypsum, pyrite, zeolites, goethite, ilmenite and organic matter. The chambers of ammonite shells are made of phosphorite and calcite. The walls and partitions of shells have completely lost their original aragonite composition and consist of apatite and calcite with pyrite inclusions. The increased content of Sr (up to 0.17 wt. %) and Ba (up to 0.01 wt. %) are recorded as trace elements in ammonites. Calcite contains the following trace elements (wt. %): Mg — 0.17, Mn — 0.17, Fe — 1.14, Sr — 0.11, and Y — 0.17.

Conclusion. The mineral and chemical (including microinclusions and trace elements) composition of interior-jewellery ammonites was established for the first time. The ammonites of the Samara region are of commercial interest as interior samples. Their shell fragments can be used in jewellery production. The ammonites under study can be collected along the coastal cliffs and beach area of the Volga river, thereby requiring no capital investments and producing no environmental pollution.

Keywords: ammonite, Upper Jurassic deposits, Volga Stage, jewellery materials, calcite, apatite, Samara region

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Funding. The work was carried out within the framework of the theme of the state task AAAA16-116033010096-8 (MSU) using equipment purchased under the MSU Development Program.

For citation: Petrochenkov D.A., Baraboshkin E.Yu. Mineralogy of interior jewellery ammonites of the Samara region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):47—56. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-47-56>

Manuscript received 13 April 2022

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

* Corresponding author

Аммониты, а также изделия из них пользуются в настоящее время повышенным спросом. Аммониты как поделочный и ювелирный материал входят в группу гидрогенных биоминеральных образований [1]. Аммониты характеризуются разнообразием цветовых оттенков, форм и размеров, положительными технологическими характеристиками, что позволяет изготавливать широкий спектр сувенирных и ювелирных изделий. На мировой рынок аммониты поступают преимущественно из Мадагаскара [13, 14], Марокко [8], Канады [10], а также России [3—5, 11]. Аммониты интерьерного и ювелирного качества известны и в Самарской области.

Аммониты коммерческого качества собираются у п. Кашпир от устья р. Кашпировка (рис. 1) и ниже по течению р. Волги на расстоянии 4,5 км. Это разрезы, в которых весьма представительным является пограничный интервал юры и мела, и поэтому они достаточно хорошо изучены [7, 9]. Аммониты связаны с отложениями верхнего подъяруса волжского яруса. Поздневолжские осадки совместно с отложениями берриаса (рязанского горизонта) формировались в мелководном эпиконтинентальном бассейне Русской плиты, образуя конденсированные разрезы, представленные преимущественно кварц-глауконитовыми песками с многочисленными фосфоритовыми горизонтами [2, 7]. Именно к этим фосфоритовым горизонтам

и приурочены находки аммонитов интерьерно-ювелирного качества.

Отложения и аммониты в различных местах сбора внешне близки. Слои с аммонитами представлены плотными известковистыми опоковидными песчаниками от серого до темно-серого цвета общей мощностью около 1,1 м (рис. 1В, 2А). Встречаются аммониты родов *Craspedites* (основное количество), *Kachpurites* и *Garniericeras* [6, 7]. Некоторые из аммонитов имеют уникальную сохранность [12].

Распределение аммонитов коммерческого качества неравномерное, в виде редких фосфатизированных ядер с остатками перламутровой раковины. Встречаются линзы и прослои мощностью 10—20 см, насыщенные аммонитами. Вместе с аммонитами присутствуют в большом количестве белемниты и двустворки. Иногда встречаются линзы песчаника со значительным количеством двустворок, относящихся в основном к роду *Buchia*. Сбор аммонитов осуществляется как в обнажениях, в бортах небольших оврагов, так и в зоне пляжа. Аммониты из песчаников извлекаются с большим трудом. Поэтому на месте сбора целесообразно оставлять аммониты в породе и осуществлять их препарирование в мастерской специальным инструментом. Аммониты небольшого размера — от 2 до 10 см в диаметре.



Рис. 1. Береговые обрывы р. Волги с выходами верхнеюрских отложений, устье р. Кашпировки (А); выходы известковистых опоковидных песчаников с аммонитами коммерческого качества (В)

Fig. 1. Coastal cliffs of the Volga River with outcrops of Upper Jurassic deposits, the mouth of the Kashpirovka River (А); outcrops of calcareous opoka-type sandstones with commercial quality ammonoids (В)

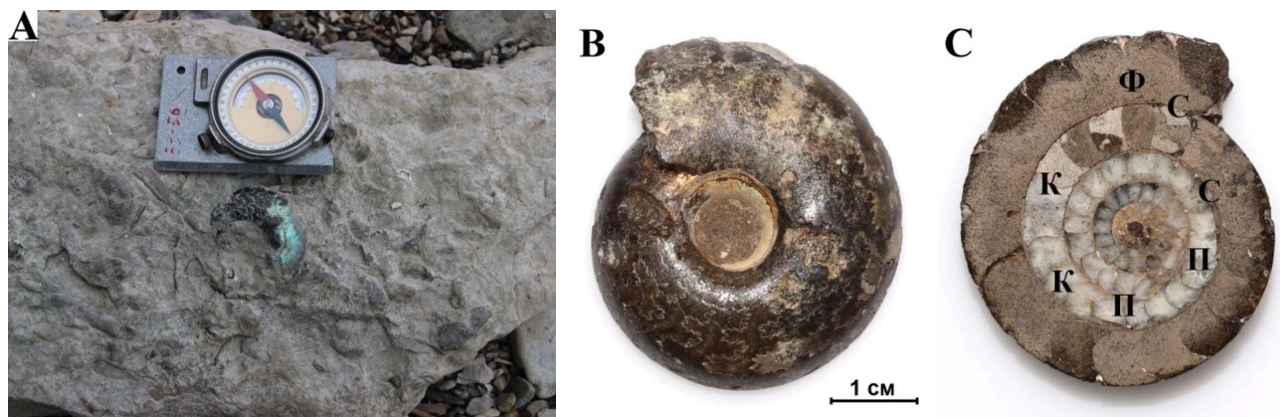


Рис. 2. Фрагмент известковистого опоковидного песчаника с включениями аммонитов (А); внешняя поверхность (В) и поверхность на распиле (С) аммонита рода *Craspedites*. К — кальцит, Ф — фосфорит, С — стенка и П — перегородка аммонита

Fig. 2. A fragment of calcareous opocoid sandstone with inclusions of ammonites (A); external (B) and internal (C) surfaces of ammonite of the genus *Craspedites*. К — calcite, Ф — phosphorite, С — wall and П — partition of ammonite

Собирают аммониты аналогичного качества и ниже по течению р. Волги в окрестностях п. Рудня. Сбор осуществляют на поле, в небольших оврагах и промоинах. Следовательно, слои с аммонитами коммерческого качества протягиваются на многие километры. В статье впервые приведены данные по минералогии аммонитов интерьерного и ювелирного качества, охарактеризованы их технологические характеристики.

Материалы и методы

Из основных мест сбора отобраны аммониты позднеюрского возраста (45 образцов). Аммониты препарировались, распиливались, полировались. По декоративным и технологическим характеристикам выделены характерные группы аммонитов, типичные образцы которых были детально изучены. Комплекс исследований аммонитов интерьерного и ювелирного качества проведен в лабораториях МГРИ, ФГБУ «ВИМС», ФГБУ «ИГЕМ» РАН. Он включал определение микротвердости (25 определений), плотности (12 определений), люминесценции (10 образцов), оптико-петрографический анализ (5 шлифов), количественное определение минерального и химического состава (3 пробы), электронно-зондовые исследования (2 образца).

Количественное определение химического состава аммонитов выполнено методом рентгеновского флуоресцентного анализа (РФА) на вакуумном спектрометре последовательного действия «Axios MAX Advanced». Оптико-петрографический анализ выполнен с использованием микроскопов «Полам Р-112» и «Leika DMRX». Микротвердость

определялась на микротвердомере «ПМТ-3» с нагрузкой массой 50 г и выдержкой 15 сек. Плотность образцов определялась гидростатическим методом на электронных весах «Sartorius Gem G 150D». Люминесценция изучалась под ультрафиолетовой лампой «Multispec System Eickhorst» с $\lambda = 254$ и 365 нм. Минеральный состав определялся рентгенографическим количественным фазовым анализом (РКФА) на дифрактометре «X'Pert PRO MPD». Электронно-зондовые исследования выполнены на микроанализаторе «Jeol JXA-8100», позволяющем получить химический состав по данным рентгеноспектрального микроанализа (РСМА), провести анализ образцов в обратнорассеянных электронах (ОРЭ). Содержание кислорода рассчитывалось по стехиометрии.

Результаты

По данным РКФА аммониты состоят (мас.%): апатит — 21—70, кальцит — 21—87, кварц — 1—5, присутствуют: гипс — до 1, пирит — до 2, фиксируются: цеолиты — <1, гидрослюда — <1 и калиевый полевой шпат (КПШ), гетит, рентгеноаморфная фаза (РАФ) — следы. Арагонит, выполняющий стенки и перегородки исходной раковины, не фиксируется (табл. 1). Различия в содержаниях минералов обусловлено характером минерализации камер. В одних раковинах аммонитов камеры выполнены преимущественно фосфоритом, в других кальцитом. Кварц, цеолиты, гидрослюда и КПШ связаны с исходным морским осадком. Апатит, кальцит, гипс, пирит, гетит — минералы, образованные в процессе диагенеза

аммонитов. По минеральному составу аммониты выделены в кальцит-апатитовый тип [3].

Химический состав аммонитов характеризуется высокими содержаниями P_2O_5 , CaO и SiO_2 , отражающими содержания апатита, кальцита и кварца. Содержания S связаны с пиритом и гипсом; Na_2O , Al_2O_3 , K_2O — с алюмосиликатами; MgO и MnO отражают элементы-примеси в кальците и апатите (табл. 2). Из элементов-примесей фиксируются повышенные содержания Sr — до 0,17 мас.% и Ba — до 0,011 мас.% (табл. 3).

Внешний перламутровый слой аммонитов преимущественно не сохраняется. На ядрах аммонитов иногда отчетливо видны лопастные линии. Сохранившийся перламутровый слой тонкий — менее 1 мм, с иризацией зеленого, желтовато-оранжевого цвета. Для изготовления кабошенов аммонита он не пригоден. Стенки и перегородки камер по толщине не превышают 0,8 мм, светло-серого и серого цвета, непрозрачные или слабо просвечивающие. Блеск стеклянный, матовый. Плотность 2,60—2,71 г/см³. Люминесценция слабая, зональная, зеленоватым цветом. Микротвердость стенок камер в среднем составляет 152 кг/мм².

Кальцит, выполняющий неразрушенные камеры раковин аммонитов, часто бесцветный прозрачный или полупрозрачный, а также непрозрачный белого цвета и просвечивающий серого цвета. Обычно все три разновидности встречаются в одной раковине и даже в одной камере (рис. 2С). Кальцит плотный, разламывается с трудом, излом раковистый. Плотность от 2,43 до 2,61 г/см³.

Люминесценция зональная, проявляется слабо-зеленоватым цветом. Микротвердость кальцита от 180 до 257 кг/мм². Кальцит хорошо полируется до стеклянного блеска.

Основная часть раковин, включающая жилые и разрушенные газовые камеры, выполнена фосфоритом. Фосфорит серого цвета, различных оттенков, редко черный в виде небольших локальных участков, разламывается с трудом, излом раковистый (рис. 2С). Плотность 2,32—2,40 г/см³. Люминесценция слабая, зональная, зеленоватым цветом. Микротвердость от 167 до 228 кг/мм². Фосфорит пористый, плохо полируется.

Пирит в аммонитах встречается в виде редкой мелкой вкрапленности. Редко встречаются

Таблица 1. Минеральный состав аммонитов по данным РКФА

Table 1. Mineral composition of ammonites according to RKFA data

Характеристика аммонитов	Минеральный состав	Содержание, мас. %
Камеры выполнены кальцитом и фосфоритом	Кальцит	21—87
	Апатит	12—70
	Кварц	1—5
	Гипс	Следы-1
	Пирит	Следы-2
	Цеолит	<1
	Гидролюда	<1
	КПШ	Следы
	РАФ	Следы
	Гетит	Следы

Таблица 2. Химический состав аммонитов по данным РФА
 Table 2. Chemical composition of ammonites according to RFA data

Содержание компонента, мас. %											
Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	TiO_2	MnO	Fe_2O_3	P_2O_5	S	ППП*
0,14	0,30	0,20	0,42	0,01	53,18	0,01	0,38	1,84	4,93	0,41	38,31
0,65	0,38	0,24	2,38	0,07	43,47	0,03	0,16	1,62	27,52	1,75	21,04
0,47	0,52	1,16	12,34	0,23	33,85	0,07	0,11	2,25	38,17	1,36	9,22

Примечание: * потери при прокаливании.

Note: * loss on ignition.

Таблица 3. Содержание элементов-примесей в аммонитах по данным РФА
 Table 3. The content of impurity elements in ammonites according to the RFA data

Содержание элемента, мг/кг ($\times 10^{-4}$ мас. %)												
Cr	V	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Ba	U	Th	Y	Pb	As
<10	<10	<10	<10	<10	<10	350	36	<10	<10	11	<10	<10
<10	<10	28	12	14	10	1696	63	11	<10	38	<10	<10
19	18	39	<10	38	12	1275	113	<10	<10	47	15	<10

хорошо видимые выделения пирита в фосфорите. В них пирит образует тонкие, 0,1—1,0 мм прожилки вдоль стенок и перегородок раковины, а также мономинеральные выделения до 1 см². Микро- твердость пирита 1310 кг/мм².

Декоративность аммонитов невысокая, значи- тельно уступает аммонитам Ярославской области [4], что ограничивает использование их в каче- стве интерьерных образцов и ювелирно-поделоч- ного материала. В ряде случаев изготавливают ка- бошоны в виде триплета с прокладкой из фольги, существенно повышающей их декоративность.

В прозрачных шлифах и ОРЭ отчетливо прояв- лены стенки, перегородки, камеры, выполненные кальцитом и фосфоритом (рис. 3А, В, 4А). Стен- ки аммонита толщиной 0,15—0,30 мм, перего- родки — 0,03—0,06 мм. Исходные арагонитовые слои раковины не сохранились и полностью заме- щены апатитом и кальцитом (рис. 3, 4D—F). Апатит преимущественно выполняет краевые зоны стенок и перегородок раковины, кальцит — центральные. Фрагментарно сохраняется структура арагонито- вых пластинчатых слоев, с которой связана ири- зация внешних стенок раковины. На отдельных участках стенок и перегородок раковины апатит выполняет их центральные зоны, замещая кальцит. В результате замещения образуются большое количество мелких пор и выделения пирита (рис. 4D, F). Многие центральные фрагменты стенок и пере- городок выполнены кальцитом, размер кристал- лов которых соответствует их толщине. Соседние кристаллы имеют как близкую, так и различную ориентировку (рис. 3В).

Неразрушенные камеры аммонита выполнены кальцитом. Кристаллы преимущественно изомет- ричной формы, плотно сросшиеся, разноориен- тированные, размером от 0,1 до 1,5 мм. Структу- ра гранобластовая (рис. 3В). Последовательного образования слоев с различной структурой, ха- рактерной для многих объектов, не наблюдает- ся [4]. В ОРЭ кальцит однородного серого цвета. Вдоль стенок и перегородок раковины кальцит содержит большое количество мелких, до 10 мкм, пор и минеральных включений (рис. 4А, D, F). Ко- личество включений и пор в кальците централь- ных частей камер незначительно.

Разрушенные камеры выполнены фосфоритом, состоящим из большого числа мелких минера- лизованных раковин фосфоритов, пеллет, а также включений кварца, алюмосиликатов, сцементи- рованных апатитом и в меньшей степени кальци- том (рис. 3С, 4А—С). Раковины фосфоритов пре- имущественно вытянутой призматической формы, размером до 1 мм по длине и до 0,06 мм по ши- рине. Присутствуют раковины овальной и округ- лой формы диаметром до 0,1 мм. Минерализова- ны раковины преимущественно апатитом, часть из них — кальцитом, который занимает внутрен- нее пространство. При подготовке образца цент- ральные части раковин часто не сохраняются, увеличивая пористость фосфорита.

Цемент фосфорита образован тонкозернистым апатитом и кальцитом, содержит большое ко- личество мелких пор и включений пирита (рис. 4А—С). Кальцит образует небольшие фрагменты в фосфорите с более крупным размером кристал- лов — до 0,2 мм. Кристаллы изометричной формы,

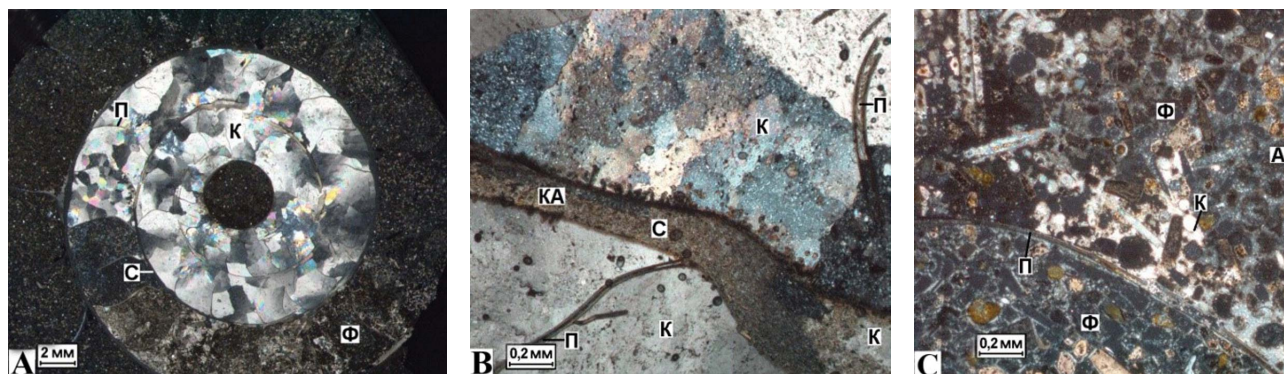


Рис. 3. Прозрачные шлифы аммонита. С анализатором. А — общий вид аммонита; В — стенка, перегородки, камеры, выполненные кальцитом; С — перегородка и камеры, выполненные фосфоритом. С — стенка и П — перегородка аммонита, Ф — фосфорит, К — кальцит, КА — смесь кальцита и апатита, А — апатит
Fig. 3. Transparent ammonite plumes. With an analyzer. А — a general view of ammonite; В — a wall, partitions, chambers made of calcite; С — a partition and chambers made of phosphorite. С — wall and П — partition of ammo- nite, Ф — phosphorite, К — calcite, КА — a mixture of calcite and apatite, А — apatite

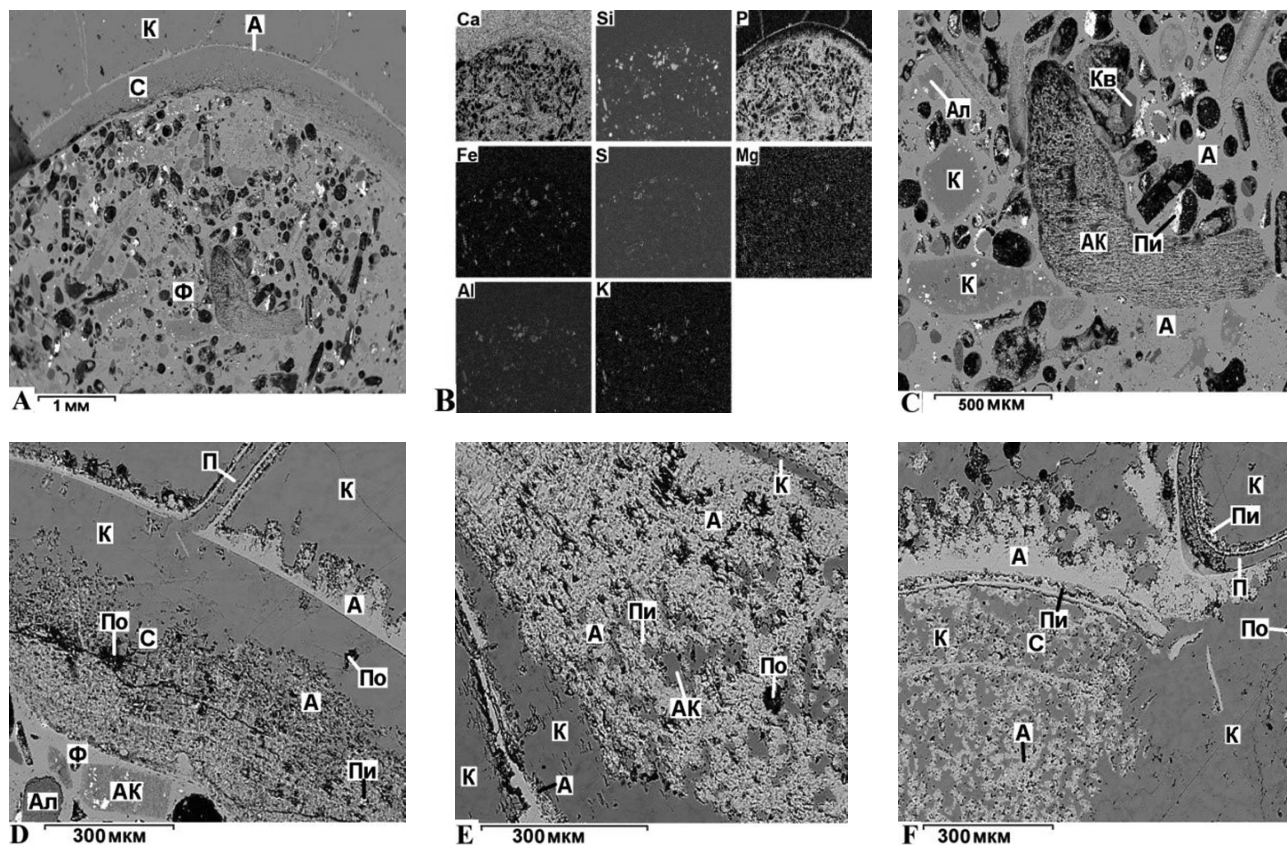


Рис. 4. Камеры, выполненные кальцитом и фосфоритом (А, В); фрагмент фосфорита (С); стенка, перегородка камеры, выполненные кальцитом и фосфоритом (D); фрагмент стенки (E); камера, выполненная кальцитом, с фрагментами стенки и перегородки (F). Микрозонд, ОРЭ (А, С-F) и ХРИ (В). С — стенки и П — перегородка аммонита, Ф — фосфорит, К — кальцит, А — апатит, АК — тонкозернистая смесь апатита и кальцита, Ал — алюмосиликат, Пи — пирит, Кв — кварц, По — поры

Fig. 4. Chambers made of calcite and phosphorite (A, B); phosphorite fragment (C); wall, partition of the chamber made of calcite and phosphorite (D); wall fragment (E); chamber made of calcite with wall and partition fragments (F). Microprobe, ORE (A, C-F) and XRI (B). C — walls and П — partition of ammonite, Ф — phosphorite, К — calcite, А — apatite, АК — fine-grained mixture of apatite and calcite, Ал — aluminosilicate, Пи — pyrite, Кв — quartz, По — Pores

разноориентированы. Такие фрагменты в фосфорите более светлого цвета.

Кальцит, выполняющий камеры, по данным РСМА, из элементов-примесей содержит в среднем (мас.%): Mg — 0,17, Mn — 0,17, Fe — 1,14,

Sr — 0,11, Y — 0,17 (табл. 4). Характерной особенностью кальцита в аммонитах Самарской области являются устойчивые содержания Y. Нахождение Y в кальците неясно и требует дальнейшего изучения. Кальцит, входящий в состав фосфорита,

Таблица 4. Химический состав кальцита в аммонитах по данным РСМА
Table 4. Chemical composition of calcite in ammonites according to RSMA data

Содержание элемента, мас.%						
Mg	Mn	Fe	Sr	Y	Ca	O
0,00—0,31*	0,00—0,33	0,00—1,92	0,00—0,27	0,00—0,41	34,99—37,34	14,54—16,09
0,17	0,17	1,14	0,11	0,17	36,11	15,35

Примечание: * над чертой минимальные и максимальные значения, под чертой — средние по 29 спектрам.

Note: * above the line are the minimum and maximum values, below the line are the averages over 29 spectra.

не содержит Y, Mn и Fe, что отличает его от кальцита, выполняющего стенки, перегородки и камеры раковины.

По данным РСМА, в апатите фиксируется большое количество элементов. По химическому составу апатит относится к фторгидроксиапатиту. Содержание F от 3,44 до 7,37 мас.%. Отметим устойчивые высокие содержания Na — в среднем 0,67 мас.% и эпизодические Mg — до 0,23 мас.% и Fe — до 0,73 мас.%. Содержание Fe связано с микровключениями пирита. Значимых отличий в химическом составе апатита различных частей раковины не наблюдается.

Включения алюмосиликатов имеют преимущественно микронную размерность. Более крупные включения достигают 60 мкм (рис. 4С). По данным РСМА, для них характерны высокие содержания (мас.%): Fe — до 14,24, K — до 5,80, Al — до 5,54, Mg — до 2,64 и низкие Na — до 0,31, P — до 0,72, Ca — до 1,00. В отдельных спектрах фиксируются также содержания (мас.%): Sr — до 0,61, Y — до 0,22 и Cl — до 0,15. Содержания Fe, Mg, P, Ca, Sr, Y и Cl могут быть связаны с попаданием в спектр кальцита, апатита, пирита, с которыми алюмосиликаты ассоциируют. Включения кварца изометричной угловатой формы размером около 40 мкм (рис. 4С).

Пирит присутствует в виде микронных глобулярных включений, образующих более крупные вытянутые, реже изометричные выделения размером до 20 мкм. Пирит присутствует в фосфорите, перегородках, стенках и значительно реже в камерах раковины, выполненных кальцитом (рис. 4С—F). В пирите элементы-примеси не фиксируются. Пирит является более поздним минералом, образующимся в процессе замещения арагонита, алюмосиликатов, и располагается преимущественно в порах. Пирит вторично замещается гетитом.

Аммониты интерьерно-ювелирного качества из верхнеюрских отложений собираются и в Ульяновской области в окрестностях д. Марьевка. Аммониты из верхнеюрских отложений у п. Кашпир

и д. Марьевка близки по внешнему виду, минеральному и химическому составу. Отметим ряд различий. В аммонитах Самарской области апатит содержит существенно более высокие содержания F, кальцит — повышенные содержания Sr и Y. Содержания Mg, Mn и Fe в кальците, выполняющем неразрушенные камеры аммонитов, близки. При этом эти элементы-примеси не фиксируются в кальците, выполняющем жилы и разрушенные камеры. Близок и химический состав алюмосиликатов, характеризующийся высокими содержаниями Fe.

Приведенные данные показывают, что минерализация аммонитов двух объектов, расположенных на расстоянии около 30 км, проходила при близких физико-химических условиях с аналогичным минеральным составом донных отложений. Ряд отмеченных особенностей химического состава кальцита и апатита позволяет отличить аммониты этих районов.

Заключение

Основными минералами, образующими раковины верхнеюрских аммонитов Самарской области, являются кальцит и апатит. Кальцит выполняет перегородки и стенки аммонита, неповрежденные камеры, является цементом в фосфорите. Апатит выполняет фосфатизированные камеры и вместе с кальцитом перегородки и стенки аммонита. В аммонитах установлены минеральные включения: кварц, плагиоклаз, гидрослюда, гипс, пирит, цеолиты, гетит. Исходный арагонит раковин аммонитов не сохранился. Установленные минеральный и химический состав аммонитов, включая микровключения и элементы-примеси, позволяют проводить их идентификацию.

Декоративность верхнеюрских аммонитов невысокая, что ограничивает использование их в качестве интерьерных образцов и ювелирно-поделочного материала. Аммониты могут собираться в береговых обрывах и зоне пляжа р. Волги, что не требует капитальных вложений и не нарушает экологию среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Буканов В.В. Цветные камни и коллекционные минералы. Энциклопедия. СПб., 2014. 464 с.
2. Морозов А.Ф. 400 миллионов лет геологической истории южной части Восточной Европы // Серия аналитических обзоров «Очерки по региональной геологии России». Вып. 1. М.: Геокарт, 2005. С. 201—258.
3. Петроченков Д.А., Быховский Л.З. Ювелирно-поделочные аммониты: проблемы оценки и перспективы добычи // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2018. № 4. С. 15—22.
4. Петроченков Д.А. Минеральный состав и геммологические характеристики интерьерно-ювелирных аммонитов Ярославской области // Вестник

- института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 2. С. 22—28.
5. *Петроченков Д.А., Барабошкин Е.Ю.* Коллекционные, интерьерные и ювелирные аммониты из отложений нижнего апта Ульяновской области // Отечественная геология. 2019. № 1. С. 79—88.
 6. *Рогов М.А.* Стратиграфия нижневолжских отложений Русской плиты // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2002. Т. 10. № 4. С. 35—51.
 7. *Рогов М.А., Барабошкин Е.Ю., Гужииков А.Ю. и др.* Границы юры и мела в Среднем Поволжье. Путеводитель экскурсии «Международная научная конференция по проблеме границы юрской и меловой системы». 7—13 сентября 2015 г. г. Самара (Россия). Самара: ФГБОУ Сам ГТУ, 2015. 130 с.
 8. *Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V.* Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco) // Fossil Record. 2013. Vol. 16 (1). P. 5—65.
 9. *Mitta V.V.* The Ryazanian (basal Lower Cretaceous) standard zonation: state of knowledge and potential for correlation with the Berriasian primary standard // NCUCS Jahrbuch for Geologic and Palaeontologic Abhandlugen. 2017. Vol. 286. P. 141—157.
 10. *Mikhalyuk K.* Updated information on the production of aircraft in Southern Alberta, Canada // Precious stones and gemology. 2009. Vol. 45. No. 3. P. 192—196.
 11. *Radko V.A., Ananyev S.A., Petrochenkov D.A., et al.* Iridessent Ammonite Fossil shell Material from Norilsk, Krasnoyarsk Krai, Russia // Journal of Gemmology. 2021. No. 37 (6). P. 608—617.
 12. *Rogov M.A.* Pseudoinversion of septal sutures in Middle Jurassic-Lower Cretaceous non-heteromorph ammonites // Swiss Journal of Palaeontology. 2019. Vol. 138. P. 163—176.
 13. *Zakharov Y.D., Tanabe K., Shigeta Y., et al.* Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data // Cretaceous Research. 2016. Vol. 58. P. 29—41.
 14. *Walaszczyk I., Kennedy W.J., Dembicz K., et al.* Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar // Journal of African Earth Sciences. 2014 Vol. 89. P. 79—132.

REFERENCES

1. *Bukanov V.V.* Colored stones and collectible minerals. Encyclopedia. St. Petersburg, 2014. 464 p.
2. *Morozov A.F.* 400 million years of geological history of the southern part of Eastern Europe // Series of analytical reviews "Essays on regional geology of Russia". Issue 1. Moscow: Geocart, 2005. P. 201—258.
3. *Petrochenkov D.A., Bykhovsky L.Z.* Jewelry and ornamental ammonites: problems of evaluation and prospects of extraction // Mineral resources of Russia. Economics and management. 2018. No. 4. P. 15—22.
4. *Petrochenkov D.A.* Mineral composition and gemmological characteristics of interior jewelry ammonites of the Yaroslavl region // Bulletin of the Institute of Geology of Komi NC UrO RAS. 2019. No. 2. P. 22—28.
5. *Petrochenkov D.A., Baraboshkin E.Yu.* Collectible, interior and jewelry ammonites from the deposits of the lower Aptian of the Ulyanovsk region // Domestic geology. 2019. No. 1. P. 79—88.
6. *Rogov M.A.* Stratigraphy of the Lower Volga deposits of the Russian Plate // Stratigraphy. Geological correlation. 2002. Vol. 10. No. 4. P. 35—51.
7. *Rogov M.A., Baraboshkin E.Yu., Guzhikov A.Yu., et al.* The boundaries of the Jurassic and Cretaceous in the Middle Volga region. The guide of the excursion "International scientific conference on the problem of the Jurassic and Cretaceous system boundary". Samara: FGOBU Sam GTU, 2015. 130 p.
8. *Bockwinkel J., Becker R.T., Ebbighausen V.* Late Givetian ammonoids from Hassi Nebech (Tafilalt Basin, Anti-Atlas, southern Morocco) // Fossil Record. 2013. Vol. 16 (1). P. 5—65.
9. *Mitta V.V.* The Ryazanian (basal Lower Cretaceous) standard zonation: state of knowledge and potential for correlation with the Berriasian primary standard // NCUCS Jahrbuch for Geologic and Palaeontologic Abhandlugen. 2017. Vol. 286. P. 141—157.
10. *Mychaluk K.* Update on Ammolite production from Southern Alberta, Canada // Gems & Gemology. 2009. Vol. 45. № 3. P. 192—196.
11. *Radko V.A., Ananyev S.A., Prtochenkov D.A., et al.* Iridescent Ammonite Fossil Shell Material from Norilsk, Krasnoyarsk Krai, Russia // Journal of Gemmology. London. 2021. No 37 (6). P. 608—617.
12. *Rogov M.A.* Pseudoinversion of septal sutures in Middle Jurassic-Lower Cretaceous nou-heteromorph ammonites // Swiss Journal of Palaeontology. 2019. Vol. 138. P. 163—176.
13. *Zakharov Y.D., Tanabe K., Shigeta Y., et al.* Early Albian marine environments in Madagascar: An integrated approach based on oxygen, carbon and strontium isotopic data // Cretaceous Research. 2016. Vol. 58. P. 29—41.
14. *Walaszczyk I., Kennedy W.J., Dembicz K., et al.* Ammonite and inoceramid biostratigraphy and biogeography of the Cenomanian through basal Middle Campanian (Upper Cretaceous) of the Morondava Basin, western Madagascar // Journal of African Earth Sciences. 2014 Vol. 89. P. 79—132.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHORS CONTRIBUTIONS

Петроченков Д.А. — внес вклад в разработку концепции статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Барабошкин Е.Ю. — внес вклад в палеонтологические и стратиграфические аспекты статьи, выполнил перевод на английский язык, утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Dmitry A. Petrochenkov — contributed to the development of the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to assume responsibility for all aspects of the work.

Evgeny Yu. Baraboshkin — contributed to the paleontology and stratigraphy aspects of the article, completed a translation into English, approved the published version of the article and agrees to assume responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Петроченков Дмитрий Александрович* — кандидат геолого-минералогических наук, доцент, заведующий кафедрой минералогии и геммологии ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе».

23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия

E-mail: p-d-a@mail.ru

Dmitry A. Petrochenkov* — Cand. of Sci. (Geol. and Mineral), Assoc. Director, of the Department Mineralogy and Gemology of the Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting.

23, Miklukho-Maklaya str., Moscow 117997, Russia

E-mail: p-d-a@mail.ru

Барабошкин Евгений Юрьевич — доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры региональной геологии и истории Земли геологического факультета ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова».

1, Ленинские горы, г. Москва 119991, Россия

E-mail: ejbaraboshkin@mail.ru

Evgeny Yu. Baraboshkin — Cand. of Sci. (Geol. and Mineral), Professor of the Department of Regional Geology and History Geological of the M.V. Lomonosov Moscow State University.

1, Leninskie Gory, Moscow 119991, Russia

E-mail: ejbaraboshkin@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



<https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-57-67>
УДК 551.21 (552.11)



ПЕТРОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ ПЕМЗЫ ВУЛКАНА ПИК САРЫЧЕВА, О. МАТУА, ЦЕНТРАЛЬНЫЕ КУРИЛЫ

В.М. ОКРУГИН, Е.Д. СКИЛЬСКАЯ*, С.В. МОСКАЛЕВА

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН
9, бульвар Пийпа, г. Петропавловск-Камчатский 683006, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. В статье изложены первые результаты минералого-петрографического изучения пемзы вулкана Пик Сарычева, о. Матуа, Центральные Курилы.

Цель: реконструировать составы магматических расплавов кальдерообразующего извержения вулкана пра-Матуа.

Материалы и методы. Основными методами исследования стали рентгенофазовый анализ на содержание петрогенных, редких и рассеянных элементов и электронно-зондовый микроанализ для изучения вариаций химических составов минералов — вкрапленников пемз.

Результаты и заключение. По содержанию SiO_2 и суммы щелочей состав пемзы меняется от андезибазальтов ($\text{SiO}_2 = 55,94$ мас.%) до дацитов ($\text{SiO}_2 = 67,70$ мас.%). По содержанию K_2O пемзы относятся к умеренно-калиевой серии пород. Минералы-вкрапленники, представленные плагиоклазом, амфиболом, апатитом и Fe-Ti оксидами, кристаллизовались близодновременно из водонасыщенного магматического расплава при давлении примерно 1,5—2,2 кбар. Магматический расплав был обогащен летучими компонентами H_2O , CO_2 , S, F и Cl.

Ключевые слова: пемза, амфибол, плагиоклаз, стекло, вулкан Пик Сарычева, Курилы

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследования проведены по теме НИР лаборатории вулканогенного рудообразования № 0282-2019-0007.

Благодарности: Авторы благодарят Русское географическое общество в лице И.В. Витер и Е.М. Верещаги за приглашение к участию в комплексных XXI и XXII Курило-Камчатской экспедиции в 2017 и 2018 гг. с возможностью проведения детальных геологических работ и отбора представительного каменного материала. Изготовление полированных аншлифов и шлифов было выполнено ст. инженером В.В. Куликовым и инженером А.А. Платоновым. За помощь в расчете кристаллохимических формул авторы благодарят В.В. Ананьева.

Для цитирования: Округин В.М., Скильская Е.Д., Москалева С.В. Петрохимия и минералогия пемзы вулкана Пик Сарычева, о. Матуа, Центральные Курилы. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(2):57—67. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-57-67>

Статья поступила в редакцию 26.10.2021

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

* Автор, ответственный за переписку

PETROCHEMISTRY AND MINERALOGY OF PUMICE FROM THE SARYCHEV PEAK VOLCANO, MATUA ISLAND, CENTRAL KURIL ISLAND

VIKTOR M. OKRUGIN, ELENA D. SKILSKAIA*, SVETLANA V. MOSKALEVA

*Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch, RAS
9, Boulevard Piip, Petropavlovsk-Kamchatsky 683006, Russia*

ABSTRACT

Background. The article presents the first results of a mineralogical and petrographic study of the pumice of the Sarychev Peak volcano, Matua island, the Central Kuril islands.

Aim. To reconstruct the compositions of magmatic melts of a caldera-forming eruption of the proto-Matua volcano.

Materials and methods. The main research methods included an X-ray fluorescence spectral analysis to determine the content of petrogenic, rare and trace elements, as well as an electron-probe microanalysis to study variations in the chemical composition of mineral inclusions of pumice.

Results and conclusion. According to the content of SiO_2 and the sum of alkalis, the composition of pumice varies from andesibasalts ($\text{SiO}_2 = 55.94$ wt.%) to dacites ($\text{SiO}_2 = 67.70$ wt.%). According to the content of K_2O , pumice can be classified as a moderate-potassium series of rocks. The inclusion minerals represented by plagioclase, amphibole, apatite and Fe-Ti oxides were crystallized at the same time from a water-saturated magmatic melt at a pressure of about 1.5–2.2 kbar. The igneous melt was enriched with volatile components of H_2O , CO_2 , S, F and Cl.

Keywords: pumice, amphibole, plagioclase, glass, Sarychev Peak volcano, Kuril islands

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: research was carried out on the subject of the State Assignment of the IVIS FEB RAS No. 0282-2019-0007.

Acknowledgments: The authors thank the Russian Geographic Society represented by I.M. Viter and E.M. Vereshchaga for the invitation to participate in XXI and XXII Kurile-Kamchatka expeditions in 2017 and 2018. Authors thank V.V. Kulikov and A.A. Platonov for the preparation of the polish sections for detailed ingestions. The authors also thank Ananyev V.V. for a help in calculating the minerals formulas.

For citation: Okrugin V.M., Skilskia E.D., Moskaleva S.V. Petrochemistry and mineralogy of pumice from the Sarychev Peak Volcano, Matua Island, Central Kuril Island. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):57–67. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-57-67>

Manuscript received 26 October 2021

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

* Corresponding author

Пемзы относятся к высокопористым вулканическим породам — продуктам кислого вулканизма, широко проявленного в островных дугах Тихого океана. Образование огромных толщ пемзового вулканического материала связывают с катастрофическими вулканическими извержениями плинийского типа, при которых часто образуются гигантские кальдеры или воронки взрыва типа Курильского озера на Камчатке и озеро Тоя

на о. Хоккайдо (Япония). Наиболее масштабно кислый вулканизм Курило-Камчатской островной дуги проявился в четвертичное время, где основными центрами его проявления стали кольцевая структура Курильское озеро, вулканы Ксудач, Семячинский и Карымский (Восточно-Камчатский вулканический фронт), кальдеры перешейка Ветровой, Тао-Русыр и Львиная пасть (Курильские острова). По подсчетам Э.Н. Эрлих

и И.В. Мелекесцева, суммарный объем выброшенного кислого пирокластического материала на Курильских островах составил примерно 250—300 км³, при этом более половины было произведено при извержениях кальдер Тао-Русыр и Львиная пасть [12].

Остров-вулкан Матуа площадью 52 км² располагается в самом центре Большой Курильской гряды по соседству с такими же небольшими вулканическими островами — Райкоке на севере и Расшуа на юге (рис. 1). В километре к востоку от острова Матуа расположен небольшой остров Топорковый, происхождение которого остается неизвестным. Большую часть острова Матуа занимает двух-

компонентная вулканическая постройка по типу сомма-везувий. Современный действующий вулкан Пик Сарычева (1446 м), известный мощными главным образом эксплозивными извержениями, находится в кальдере соммы вулкана Матуа. Среди десятка известных вулканических извержений четыре (~1760, 1930, 1946 и 2009 гг.) относятся к крупнейшим. Извержения преимущественно носили эксплозивный характер различной мощности и продолжались от нескольких часов до нескольких дней [2, 3]. Последнему сильному эксплозивно-эффузивному извержению вулкана в июне 2009 г. был присвоен эксплозивный индекс 4. Пепловые выбросы достигали 8—16 км

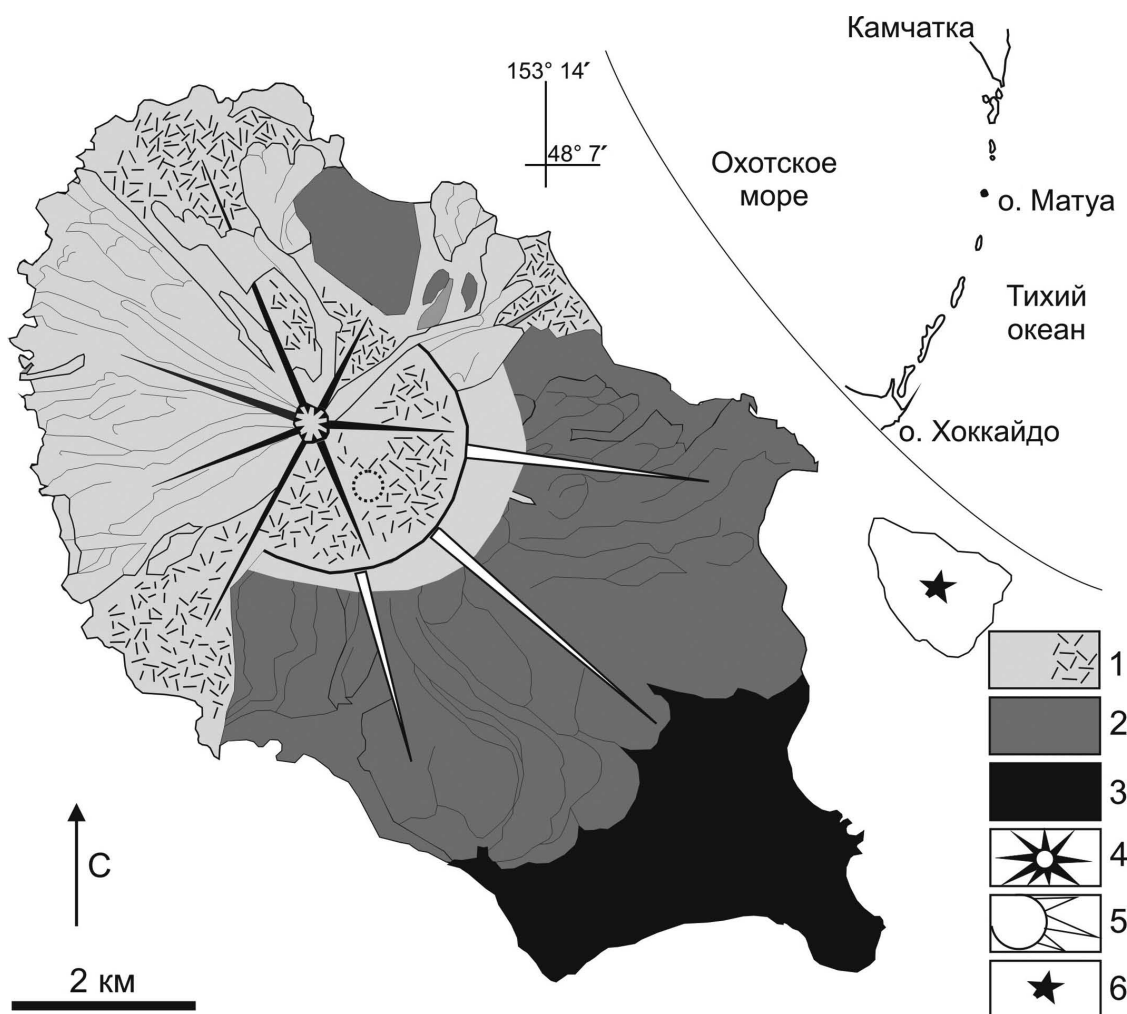


Рис. 1. Геологическая схема о. Матуа, заимствованная из [5], с авторскими правками. 1 — отложения пирокластических потоков, тефры и лавы вулкана Пик Сарычева; 2 — отложения, преимущественно лавы, вулкана Матуа; 3 — фундамент; 4 — позднеголоценовая постройка вулкана Пик Сарычева; 5 — кальдера вулкана Матуа; 6 — о. Топорковый

Fig. 1. Schematic geological map of the Matua Island, taken from [5] with authors remarks. 1 — lava and pyroclastic flow deposits of the Sarychev Peak volcano; 2 — lava deposits of the ancient Matua volcano; 3 — basement rocks; 4 — the Saruchev Peak volcano of Holocene age; 5 — outline of Matua caldera; 6 — Toporkovyi Island

в высоту, а шлейф вулканического пепла протянулся на расстояние до 3 тыс. км. Объем извергнутой пирокластики составил 400 млн м³, объем лавы — 10 млн м³ [2, 10]. Лавовые извержения в эруптивной истории вулкана имеют весьма подчиненное значение. Последние крупные лавовые потоки, достигающие берега моря, относятся к умеренному извержению 1976 г. [2].

Исследовательские работы на территории острова проводились в различные годы. Первые работы по изучению геологического строения вулкана, описанию морфологических характеристик, вещественного состава пород, а также восстановление хронологии вулканических событий проведены А.С. Горшковым, Е.К. Мархининым и другими в 70-х гг. прошлого столетия [3, 8]. Недавние исследования А.В. Рыбина, А.В. Дегтярева и Ю.А. Мартынова внесли значительный вклад в изучение пепловых горизонтов и позволили реконструировать основные этапы эруптивной истории вулкана Пик Сарычева в голоцене [4, 7]. Исследования современной и палеогидротермальной активности в районе вулкана были выполнены сотрудниками ИВиС ДВО РАН в 2017—2018 гг. Главным результатом исследований стали первые находки коренных выходов кварцевых жил, несущих сульфидную минерализацию, полнокристаллических включений амфиболитов [5, 9]. Вместе с тем вопросы изучения химизма и петрологии кислых продуктов вулкана остаются нерешенными. Цель данной работы: реконструировать составы магматических расплавов кальдерообразующего извержения вулкана пра-Матуа на основе изучения химического и минерального состава пемзы.

Геологическое строение вулкана Пик Сарычева

В строении вулкана участвуют остатки постройки, практически полностью разрушенного, предположительно плейстоценового, древнего вулкана Матуа и молодой голоценовый пирокластический конус Пик Сарычева с вершинным кратером диаметром 200—300 м [2, 3, 7]. Сомма сложена преимущественно лавовыми потоками, а центральный конус образован рыхлым пирокластическим материалом.

Остатки вулканической постройки древнего вулкана Матуа, представляющие собой полукальдеру диаметром 3,5—4 км, открытую на запад, отмечаются на южной и восточной стороне острова [3, 4]. Высота соммы составляет 700 м над уровнем моря. Большинство пирокластических отложений древнего вулкана смыто водами в океан. Лавами извержений вулкана пра-Матуа являются

порфировые неизменные пироксеновые андезиты. Они слагают мыс Ребристый в южной и Ключ в восточной части острова [3, 7].

Юный конус с правильной формой и крутыми склонами (45°) образован за счет многократных извержений рыхлого пирокластического материала, немногочисленных потоков лав и отложений палящих туч, каменных лавин и лахаров. Вершину конуса венчает кратер диаметром примерно 250 м. Значительная часть изверженного вулканического материала была также вынесена в море и переотложена селевыми потоками. Лавовые потоки молодого конуса отличаются более темной окраской от лавы древнего вулкана пра-Матуа и образуют мысы Башня и Лисий на северном и западном берегах острова [1, 3, 7]. По данным Мартынова и др., возраст вулкана Пик Сарычева составляет примерно 500 лет [7].

Пемзово-пирокластические отложения приурочены к кальдере древнего вулкана Матуа. В них отмечаются полнокристаллические оливин-пироксен-анортитовые и пироксен-анортитовые включения [1, 9].

Материалы и методы

Образцы пемзы были отобраны сотрудниками Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН во время проведения полевых геологических работ на острове Матуа совместно с Русским географическим обществом в июле—августе 2018 г. Химический состав пемзы был изучен методом рентген-флуоресцентного анализа в аналитическом центре ИВиС ДВО РАН (г. Петропавловск-Камчатский). Химические составы минералов — вкрапленников породы были изучены на сканирующем электронном микроскопе «Vega III Tescan», оснащенном энергодисперсионным спектрометром «Oxford Instruments X-max 80 mm²» в ИВиС ДВО РАН.

Минералогия

Макроскопически пемза — довольно плотная порфировая порода светло-желтого цвета с характерной волокнисто-поровой текстурой. Поры разнообразной формы и размеров с тонкими стенками-перегородками. По содержанию SiO₂ и суммы щелочей состав пемзы меняется от андезибазальтов (SiO₂ = 55,94 мас.%) до дацитов (SiO₂ = 67,70 мас.%). По содержанию K₂O пемзы относятся к умеренно-калиевой серии пород (рис. 2). Порфировые вкрапленники составляют порядка 30 % породы. Они представлены плагиоклазами и амфиболами. В данном исследовании пироксены найдены не были. Среди акцессорных минералов

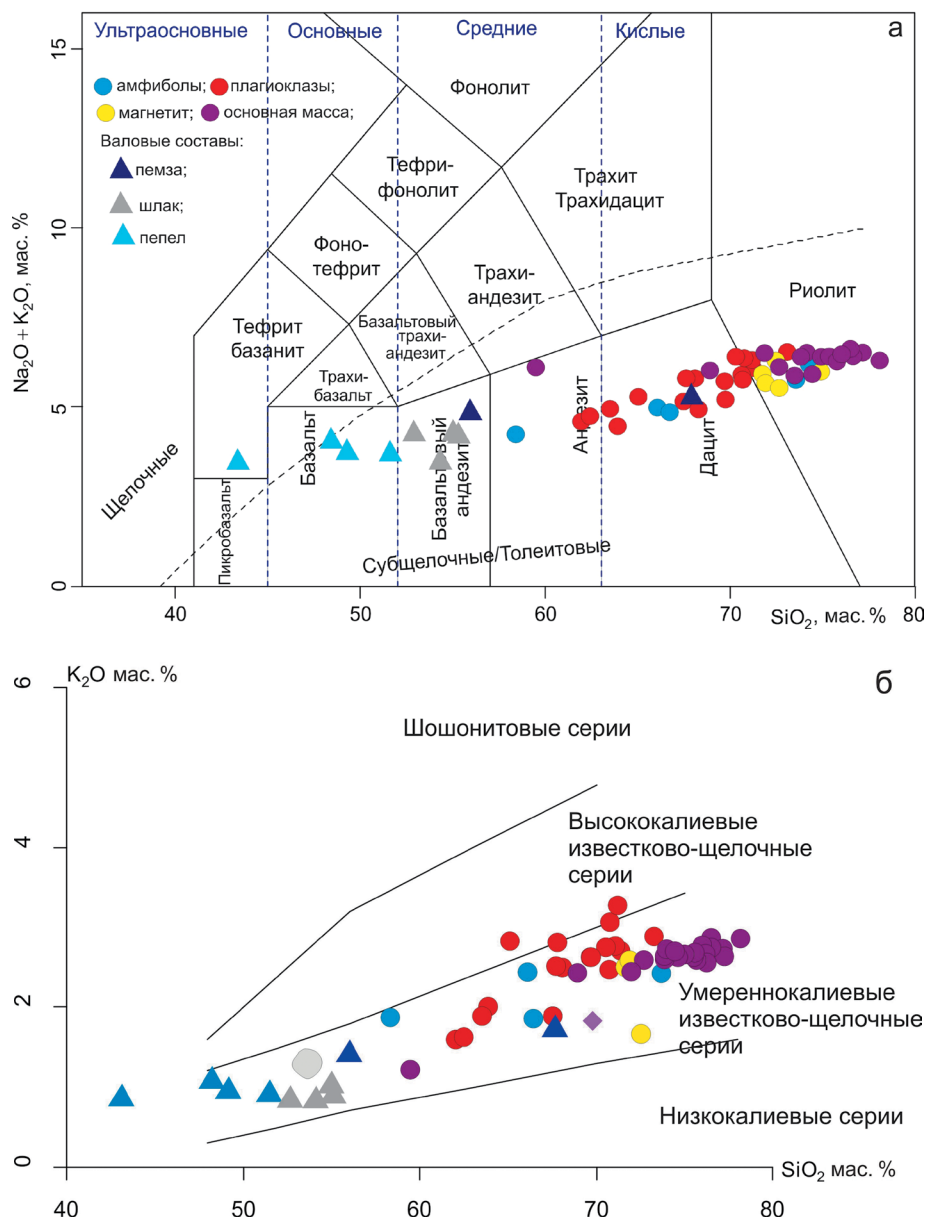


Рис. 2. Классификационные диаграммы, построенные для валовых составов пемзы и расплавных включений в амфиболах, плагиоклазах и магнетитах

Fig. 2. Classification diagrams build for the bulk compositions of pumice and melt inclusions in amphiboles, plagioclases and magnetites

установлены апатит и магнетит. В основной массе присутствуют редкие микролиты плагиоклаза, мелкие зерна Fe-Ti оксидов.

Плагиоклаз представлен крупными широкопластинчатыми зональными фенокристаллами и незональными субфенокристаллами, хаотично рассеянными в основной массе породы (рис. 3а, б). Отмечаются редкие сдвойникованные кристаллы. Большинство зерен плагиоклаза представлены лабрадором (табл. 1).

Крупные зональные вкрапленники плагиоклаза трещиноваты и интенсивно раздроблены до отдельных агрегатов. При отсутствии признаков резорбции отмечается незначительное оплавление граней кристаллов. Зональность фенокристаллов выражена в резкоконтрастном строении ядерных и краевых зон (рис. 3а). Внутреннее ядро таких плагиоклазов более основное по составу и относится к битовниту An_{71-75} , а внешняя широкая кайма сложена андезин-лабрадором

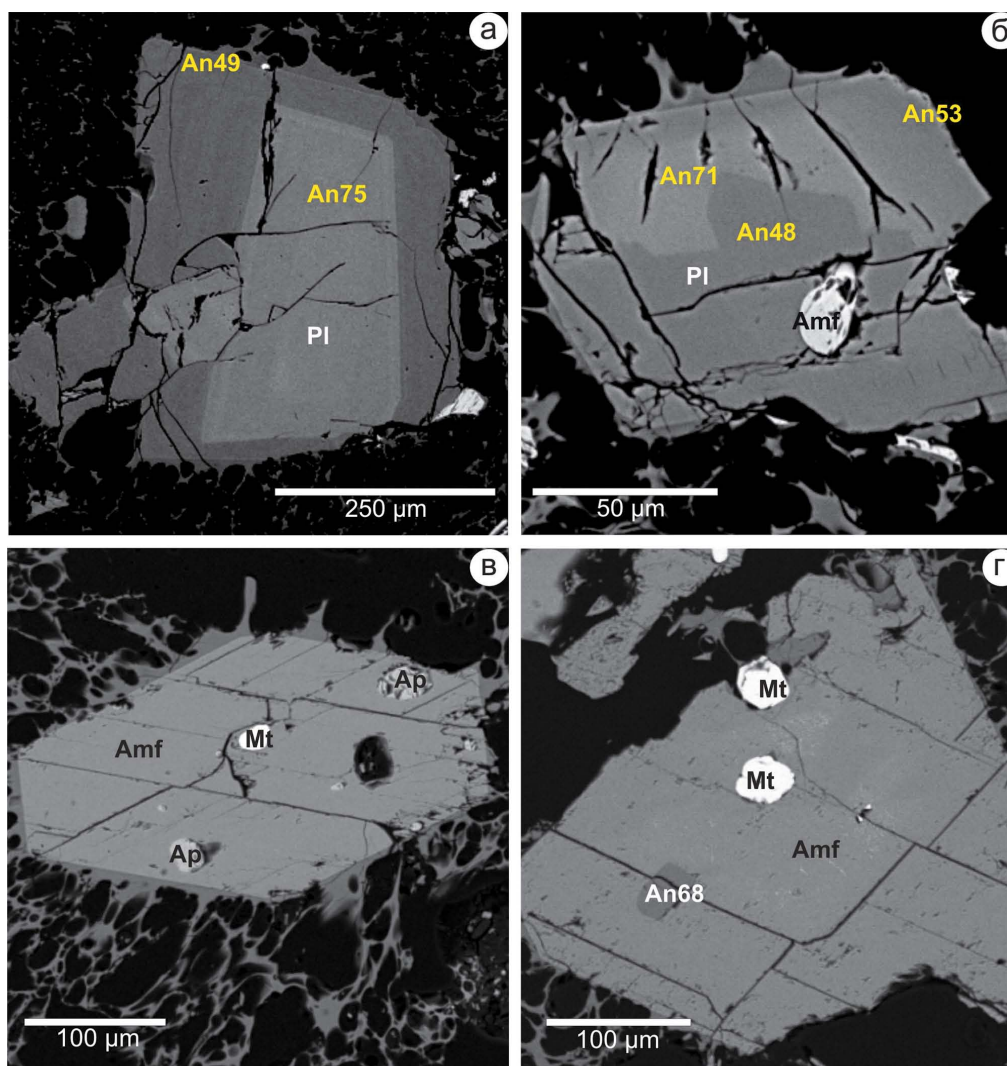


Рис. 3. Минералы — вкрапленники пемзы вулкана Пик Сарычева: а) фенокристалл плагиоклаза с анортитовым внутренним ядром и альбитовой краевой каймой; б) зональный кристалл плагиоклаза с включением амфибола; в) идиоморфный субфенокристалл амфибола с включениями апатита и магнетита; г) вкрапленник амфибола с включением основного плагиоклаза. Фотографии сделаны в режиме обратно рассеянных электронов на сканирующем электронном микроскопе «Vega III Tescan»

Fig. 3. BSE images of the plagioclase and amphibole crystals in pumice samples from the Sarychev Peak volcano: a) normal zoned plagioclase crystal showing outward progression towards more sodic plagioclase; б) normal zoned plagioclase crystal with inclusion of amphibole; в) idiomorphic crystal of amphibole carrying inclusions of apatite and magnetite; г) amphibole phenocryst with inclusions of calcic plagioclase

Ан₄₈₋₅₁. Для некоторых зерен плагиоклаза характерна слабопроявленная осцилляторная зональность, выраженная в незначительном колебании анортитовой молекулы в пределах состава лабрадора Ан₅₉₋₆₅. Кислый плагиоклаз состава Ан₄₈₋₅₁ содержит включения титаномегнетита и амфибола (рис. 3б).

Незональные мезовкрапленники плагиоклаза встречаются гораздо реже. По составу они относятся к лабрадору (Ан₅₁₋₅₃). Некоторые зерна содержат включения стекла и Fe-Ti оксидов.

Роговая обманка — единственный темноцветный минерал, диагностированный в настоящем исследовании. Встречается в виде незональных идиоморфных удлиненно-призматических и ромбических фено- и субфенокристаллов, зачастую сильно раздробленных (рис. 3в, г). В шлифе имеет густо-зеленую окраску и отчетливый плеохроизм. Амфибол содержит множество кристаллических включений плагиоклаза, магнетита и апатита (рис. 3в, г). Включения расплава отмечаются гораздо реже и часто раскристаллизованы.

Таблица 1. Состав плагиоклазов из пемз вулкана Пик Сарычева
Table 1. Selected EPMA data of plagioclase crystals from pumice of the Sarychev Peak volcano

	1 ц	2 кр	3 ц	4 кр	5 ц	6 кр	7*	8*	9*
SiO ₂	56,14	56,19	47,72	55,13	55,67	47,85	52,62	50,44	50,63
Al ₂ O ₃	27,83	28,10	32,28	28,52	27,97	32,29	29,04	31,36	30,98
FeO	0,40	0,29	0,29	-	-	0,65	0,55	0,59	0,64
CaO	10,47	10,79	15,86	10,99	10,59	15,72	12,23	14,61	14,10
Na ₂ O	5,36	5,23	2,36	5,09	5,69	2,77	4,49	3,28	3,46
K ₂ O	0,17	0,18	-	0,21	0,24	-	-	-	0,16
Сумма	100,37	100,78	98,51	99,94	100,16	99,28	98,93	100,28	99,97
An	51	53	79	54	50	76	60	71	69
Ab	48	46	21	45	49	24	40	29	30
Or	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0	0	0	0,1

Примечание: ц — центр зерна плагиоклаза; кр — край зерна плагиоклаза; * включение плагиоклаза в амфиболе.

Note: ц — core of the plagioclase crystal; кр — rim of the plagioclase crystal; * plagioclase inclusion in amphibole.

Таблица 2. Состав амфиболов из пемз вулкана Пик Сарычева
Table 2. Selected EPMA data of amphibole crystals from pumice of the Sarychev Peak volcano

	1	2	3	4	5	6	7	8*
SiO ₂	46,38	48,69	43,85	42,66	40,86	40,88	47,30	47,53
TiO ₂	1,32	1,13	1,58	2,12	2,00	2,10	0,93	1,05
Al ₂ O ₃	8,35	7,49	11,52	11,99	11,64	13,31	8,48	7,40
FeO	13,82	13,70	14,83	14,56	18,07	15,65	13,75	13,01
MnO	0,69	0,93	0,62	0,57	0,62	0,48	0,84	0,85
MgO	14,48	15,19	12,90	13,26	12,85	12,37	15,55	15,57
CaO	10,64	10,76	11,03	11,30	11,03	11,76	10,27	10,60
Na ₂ O	1,23	1,20	1,64	1,82	1,76	2,11	1,29	1,16
K ₂ O	0,26	0,26	0,43	0,39	0,38	0,38	0,29	0,23
Сумма	97,17	99,35	98,4	98,67	99,21	99,04	98,7	97,4

Примечание: * включение амфибола в плагиоклазе.

Note: * amphibole inclusion in plagioclase.

Результаты микрозондового изучения состава амфиболов показаны в таблице 2. В соответствии с классификацией по [14] все исследованные амфиболы относятся к магнезиальной роговой обманке и чермакиту. Значения $(Ca+Na)^B > 1$, Si 5,9—6,9, $(Na+K)^A$ — 0,2—0,5, $Mg\#$ — 0,6—0,9 и Al^{IV} 1—2. Значительных изменений в составе центральных и краевых частей кристаллов не обнаружено. В некоторых кристаллах выявлено незначительное понижение содержания Al_2O_3 от центра (11 мас.%) к краю (8 мас.%) при столь же незначительном возрастании значений MgO . В целом содержания выдержаны в пределах зерен и колеблются в пределах 1—2 мас.%. Включения плагиоклаза в амфиболе представлены лабрадором — An_{68} (рис. 3г).

Апатит встречается в виде включений в минералах-вкрапленниках, преимущественно в амфиболе и титаномagnetите. Размеры включений апатита меняются от едва различимых округлой формы вкраплений до крупных (50 мн) удлинённых образований с хорошо выраженными кристаллографическими очертаниями (рис. 3в). По химическому составу атипатитовые включения относятся к хлорапатитам с незначительной примесью серы (табл. 3). На фоне повышенных содержаний хлора (0,45—2,19 мас.%) концентрации фтора и серы составляют 0—1,99 и 0,19—1,36 мас.%,

Таблица 3. Состав включений апатита во вкрапленниках пемз вулкана Пик Сарычева
Table 3. Selected EPMA data of apatite inclusions in phenocrysts from pumice of the Sarychev Peak volcano

	Amph	Amph	Pl	Pl	Mgt	Mgt
SiO ₂	-	-	0,47	0,40	0,60	
TiO ₂	-	-	-	-	-	
FeO	0,58	0,72	0,39	0,39	2,29	1,24
MnO	0,29	-	-	0,40	0,31	
CaO	53,79	53,99	53,97	53,69	52,92	53,91
P ₂ O ₅	42,80	43,33	40,98	41,22	40,72	40,91
SO ₃	-	-	0,47	-	1,36	0,92
Cl	2,05	2,08	1,99	1,99	2,19	1,91
F	1,23	-	0,96	1,13	1,49	
Сумма	100,74	100,12	99,23	99,21	101,89	99,71

соответственно (табл. 3). В крупных апатитовых включениях наблюдается некоторое понижение концентраций фтора и хлора от центра к периферии зерна.

Fe-Ti оксиды представлены по степени распространённости титаномагнетитом, магнетитом и ильменитом. Они встречаются в виде крупных самостоятельных ксеноморфных зерен, включений в минералах-вкрапленниках, а также в сростаниях с ними. В качестве включений Fe-Ti оксиды содержат мелкие вкрапления Fe-Cu сульфидов, цирконов и достаточно крупные кристаллы апатита с четкими кристаллографическими очертаниями. По результатам микрозондового анализа примеси TiO₂ составляют 3—5 мас.%. Также характерны примеси, V, Mn и Mg. Структуры распада твердых растворов в Fe-Ti оксидах не были установлены.

Расплавные и флюидные включения

Расплавные и флюидные включения были найдены главным образом в кристаллах плагиоклаза. Расплавные включения в плагиоклазе, состоящие из стекла и усадочного пузырька при комнатной температуре, располагаются преимущественно в ядерных зонах кристаллов и по зонам роста. Частично раскристаллизованные расплавные включения найдены в амфиболах. На диаграмме зависимости кремнекислоты от суммы щелочей состава расплавных включений образуют вытянутое поле от андезитового до риолитового состава (рис. 2а). При этом большинство фигуративных точек укладывается в поле риолитов, относящихся к включениям стекла в магнетитах и основной массе породы. Стекловатые включения в плагиоклазах отличаются наиболее

широкими вариациями состава от андезитов до риолитов (рис. 2а). По соотношению Na₂O—K₂O стекла относятся к умеренно-калиевой известково-щелочной серии (рис. 2б).

Обсуждение результатов

Пемзы вулкана Пик Сарычева предположительно связывают с образованием вершинной кальдеры вулкана пра-Матуа [1]. По набору минералов-вкрапленников, установленных в настоящем исследовании, и их химического состава пемза вулкана Пик Сарычева сопоставима с пемзой залива Львиная Пасть [11].

Все минералы-вкрапленники в пемзе вулкана Пик Сарычева пространственно разобщены и представлены плагиоклазом, роговой обманкой и магнетитом. Апатит отмечается исключительно в виде включений в других минералах. Основная масса сложена преимущественно стекловатым базисом, что можно рассматривать как отсутствие кристаллизации при подъеме расплава в жерле вулкана. Кислый плагиоклаз An₄₈₋₅₁ содержит включения амфибола (рис. 3б). Вкрапленники и включения амфибола сопоставимы по составу и относятся к магнезиальной роговой обманке и чермакиту (рис. 4). Включения основного плагиоклаза An₆₈ отмечаются в самостоятельных зернах амфибола (рис. 3г). Согласно наблюдающимся структурным взаимоотношениям минералов в пемзах вулкана Пик Сарычева можно сделать заключение о близодновременной кристаллизации плагиоклаза, амфибола, магнетита и апатита.

Вкрапленники амфиболов пемзы Пик Сарычева отличаются широкими вариациями содержания глинозема (7—13 мас.%), постоянством химического состава и отсутствием внутренней

Таблица 4. Состав включений стекла во вкрапленниках и основной массе пемзы вулкана Пик Сарычева
Table 4. Selected EPMA data of glass inclusions in phenocrysts and ground mass from pumice of the Sarychev Peak volcano

Минерал хозяин	Amph	Amph	Pl	Pl	Mgt	Mgt	Осн. масса	Осн. масса
SiO ₂	74,43	73,56	70,66	73,22	72,47	74,7	74,72	76,07
TiO ₂	0	0	0	0	0,29	0,23	0	0
Al ₂ O ₃	12,74	12,32	13,91	12,43	12,30	12,94	13,48	12,23
FeO	1,28	1,30	1,16	1,07	1,39	1,53	1,07	1,46
MgO	0	0,23	0	0,35	0,31	0,24	0,25	0,31
CaO	1,74	1,68	3	1,74	1,68	1,67	2,13	1,82
Na ₂ O	3,48	3,25	3,39	3,57	3,70	3,38	3,64	3,71
K ₂ O	2,61	2,46	2,47	2,86	2,57	2,57	2,63	2,71
Сумма	96,28	94,80	94,59	95,24	94,71	97,26	97,92	98,31

зональности (табл. 2, рис. 3в, г). Постоянство химического состава амфиболов может свидетельствовать о неизменных параметрах температуры и давления магматического расплава. Абсолютное преобладание амфибола среди темноцветных минералов указывает на высокое содержание воды в расплаве (примерно 4—5 мас.%) и значительную степень эволюционирования магматической системы [7]. Большинство изученных зерен амфиболов показали содержание глинозема в пределах 7—8 мас.%, что согласно экспериментальным расчетам [13] соответствует давлению 1,5—2,2 кбар [6].

Плагиноклаз в отличие от амфибола характеризуется наличием ярко выраженной зональности и меньшим наличием кристаллических включений. При незначительных колебаниях концентраций железа анортитовая составляющая меняется от An₇₅ до An₄₉, что отражает общую эволюцию понижения температуры в очаге и начало кристаллизации амфибола.

Включения расплава пемзы вулкана Пик Сарычева обогащены относительно включений расплава вулкана Лавинная Пасть и прешейка Ветровой содержанием щелочей

и обеднены алюминием (рис. 2а). Большинство исследуемых расплавных включений являются риолитовыми по составу и отражают основной состав магмы перед извержением. Согласно данным микрозондового анализа включения стекла не содержат примесей серы. Постоянная примесь серы установлена в апатитах в количестве 0,44—0,92 мас.% (табл. 4). Присутствие SO₃ в магматическом расплаве подтверждается и наличием включений сульфидов в магнетите. Ассоциации флюидных и расплавных включений в кристаллах плагиноклазов указывают на процессы дегазации, происходившие в магматическом очаге перед извержением.

Заключение

Андезит-дацитовая пемза вулкана Пик Сарычева относится к типичным островодужным образованиям известково-щелочной серии пород. По своим текстурно-структурным и геохимическим характеристикам близка к пемзе вулкана Лавинная Пасть, о. Итуруп. Минералы — вкрапленники пемзы кристаллизовались практически одновременно из водонасыщенного магматического расплава (4—5 мас.%) при давлении 1,5—2,2 кбар.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В.Н., Шанцер А.Н., Хренов А.П., Округин В.М., Нечаев В.Н. Извержение вулкана Пик Сарычева в 1976 г. // Бюллетень вулканологических станций. 1978. № 55. С. 35—40.
2. Гришин С.Ю., Мелекесцев И.В. Лавовые потоки (извержение 2009 г.) вулкана Пик Сарычева (Центральные Курилы) // Вестник Краунц. Науки о Земле. 2010. Вып. 15. № 1. С. 232—239.
3. Горшков Г.С. Вулкан Пик Сарычева // Бюллетень вулканологической станции. 1948. № 15. С. 3—7.
4. Дегтерев А.В., Рыбин А.В., Мелекесцев И.В., Разжигаяева Н.Г. Эксплозивные извержения вулкана Пик Сарычева в голоцене (о. Матуа, Центральные Курилы): геохимия тефры // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31. № 6. С. 16—26.

5. Витер И.В., Верещага Е.М., Округин В.М., Кудяева Ш.С., Плутахина Е.Ю., Зобенько О.А. О вулканогенной рудной минерализации о. Матуа (Курильские острова) // Материалы XXI Всероссийской научной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2018. С. 165—168.
6. Леонов В.Л., Гриб Е.Н. Структурные позиции и вулканизм четвертичных кальдер Камчатки. Владивосток: Дальнаука, 2004. 189 с.
7. Мартынов Ю.А., Рыбин А.В., Дегтерев А.В., Остапенко Д.С., Мартынов А.Ю. Геохимическая эволюция вулканизма о. Матуа (Центральные Курилы) // Тихоокеанская геология. 2015. Т. 34. № 1. С. 13—33.
8. Мархинин Е.К. Вулкан Сарычева // Бюллетень вулканологической станции. 1964. № 35. С. 44—58.
9. Округин В.М., Скильская Е.Д., Кудяева Ш.С., Плутахина Е.Ю., Философова Т.М. Включения гранитоидов в эффузивно-пирокластических породах вулкана Пик Сарычева, о. Матуа, Центральные Курилы // Материалы XXIII конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2020. С. 49—51.
10. Рыбин А.В., Чибисова М.В., Дегтерев А.В., Гурьянов В.Б. Вулканическая активность на Курильских островах в XXI в. // Вестник ДВО РАН. 2017. № 1. С. 51—61.
11. Смирнов С.З., Рыбин А.В., Соколова Е.Н., Кузьмин Д.В., Дегтерев А.В., Тимина Т.В. Кислые магмы кальдерных извержений острова Итуруп: первые результаты исследования расплавных включений во вкрапленниках пемз кальдеры Львиная пасть и перешейка Ветровой // Тихоокеанская геология. 2017. Т. 36. № 1. С. 52—69.
12. Эрлих Э.Н., Мелекесцев И.В. Четвертичный кислый вулканизм западной части Тихоокеанского кольца // Кислый вулканизм / Под ред. К.Н. Рудич. Новосибирск: Наука, 1973. С. 4—39.
13. Jonson M.C., Rutherford M. Experimental calibration of the aluminum in hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks // Geology. 1989. V. 17. No. 9. P. 837—841.
14. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., et al. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on amphiboles of the Mineralogical association // Mineralogical Magazine. 1997. Vol. 61. No. 3. P. 295—321.

REFERENCES

1. Andreev V.N., Shancer A.N., Khrenov A.P., Okrugin V.M., Nechaev V.N. Eruption of Peak Sarychevo volcano in 1976 // Volcanol. Stations Bulletin. 1978. No. 55. P. 35—40 (In Russian).
2. Grishin S.Yu., Melekestsev I.V. Lava flows at the Peak Sarychevo volcano (Central Kurile) Vestnik Kraunc // Earth Science. 2010. Vol. 15. No. 1. P. 232—239 (In Russian).
3. Gorshkov G.S. The Peak Sarychevo volcano // Volcanol. Stations Bulletin. 1948. No. 15. P. 3—7 (In Russian).
4. Degterev A.V., Rybin A.V., Melekestsev I.V., Razzhigayeva N.G. Explosive eruptions of the Sarychev Peak volcano in the Holocene on Matua island, the Central Kuriles: the tephra geochemistry // Rus. J. Pacific Geol. 2012. Vol. 31. No. 6. P. 16—26.
5. Viter I.V., Vereshchaga E.M., Okrugin V.M., Kudaeva Sh.S., Plutakhina E.Yu., Zobenko O.A. About volcanic ore mineralization at the Matua Island (Kurile Islands) // Extended abstracts of the XXIII conference “Volcanism and related processes”. Petropavlovsk-Kamchatsky: IViS, 2018. P. 165—168 (In Russian).
6. Leonov V.L., Grib E.N. Structural positions and caldera eruptions of Quaternary volcanoes in Kamchatka. Vladivostok: Dalnauka, 2004. 189 p. (In Russian).
7. Martynov Yu.A., Rybin A.V., Gerterev A.V., Ostapenko D.S., Martynov A.Yu. Geochemical evolution of volcanism of the Matua island (Central Kuril islands) // Rus. J. Pacific Geol. 2015. Vol. 34. No. 1. P. 13—33 (In Russian).
8. Markchinin E.K. The Sarychevo volcano // Volcanol. Stations Bulletin. 1964. No. 35. P. 44—58 (In Russian).
9. Okrugin V.M., Skilskaya E.D., Kudaeva Sh.S., Plutakhina Ye.Yu., Philosophova T.M. Inclusions of granitoids in effusive-pyroclastic rocks of the Sarychev Peak volcano, Matua Island, Central Kuriles // Extended abstracts of the XXIII conference “Volcanism and related processes”. Petropavlovsk-Kamchatsky: IViS, 2020. P. 49—51.
10. Rybin A.V., Chibisova M.V., Degterev A.V., Guryanov V.B. Volcanic activity at Kurile Islands // Vestnik DVO RAS. 2017. № 1. P. 51—61.
11. Smirnov S.Z., Rybin A.V., Sokolova E.N., Kuzmin D.V., Degterev A.V., Timina T.V. Felsic magmas of the caldera-forming eruptions on the Iturup Island: the first results of studies of the melt inclusions in phenocrysts from pumices of the Lvinaya Past and Vetrovoy Issthmus calderas // Rus. J. Pacific Geol. 2017. Vol. 11. No. 1. P. 52—69.
12. Erlich E.N., Melekestsev I.V. Quaternary acid volcanism in western area of the Pacific rim. Acid volcanism. Eds. K.N. Rudich. Novosibirsk: Nauka, 1973. P. 4—39 (In Russian).
13. Jonson M.C., Rutherford M. Experimental calibration of the aluminum in hornblende geobarometer with application to Long Valley caldera (California) volcanic rocks // Geology. 1989. V. 17. No. 9. P. 837—841.
14. Leake B.E., Woolley A.R., Arps C.E.S., et al. Nomenclature of amphiboles: Report of the Subcommittee on amphiboles of the Mineralogical association // Mineral. Magazine. 1997. Vol. 61. No. 3. P. 295—321.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Округин В.М. — определил цели, задачи и методы исследования, провел полевые работы с отбором каменного материала. Утвердил окончательный текст статьи. Согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Скильская Е.Д. — обработала каменный материал и подготовила для выполнения детальных минералого-геохимических исследований, провела интерпретацию результатов физико-химических анализов, подготовила текст статьи и графический материал. Согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Москалева С.В. — выполнила электронно-микроскопические исследования пемзового материала вулкана Пик Сарычева, о. Матуа. Согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Victor M. Okrugin — stated the aim of the research, methods, and managed a field works with collecting pumice samples. Approved the manuscript. Okrugin V.M and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Elena D. Skilskaya — carried out the mineralogical and geochemical studies, wrote the paper, prepared the illustrations and tables for the paper, interpreted results of the EPMA and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

Svetlana V. Moskaleva — performed electron microscopic studies of the pumices from the Sarychev Peak volcano and agrees to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Округин Виктор Михайлович — кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией вулканогенного рудообразования Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

9, Бульвар Пийпа, г. Петропавловск-Камчатский 683006, Россия

E-mail: okrugin74@gmail.com

SPIN-код: 7131-5358

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7038-2970>

Victor M. Okrugin — Cand. Sci. (Geol.-Min.), head of the laboratory the volcanic ore genesis, Institute of volcanology and seismology of FEB RAS.

9, Boulevard Piip, Petropavlovsk-Kamchatsky 683006, Russia

E-mail: okrugin74@gmail.com

SPIN-code: 7131-5358

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7038-2970>

Скильская Елена Демьяновна* — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории вулканогенного рудообразования Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

9, Бульвар Пийпа, г. Петропавловск-Камчатский 683006, Россия

e-mail: wideworldscience@gmail.com

SPIN-код: 1277-9244

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3506-4181>

Elena D. Skilskaya* — Cand. Sci. (Geol.-Min.), senior researcher, the volcanic ore genesis laboratory, Institute of volcanology and seismology of FEB RAS.

9, Boulevard Piip, Petropavlovsk-Kamchatsky 683006, Russia

e-mail: wideworldscience@gmail.com

SPIN-code: 1277-9244

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3506-4181>

Москалева Светлана Васильевна — научный сотрудник лаборатории вулканогенного рудообразования Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН.

9, Бульвар Пийпа, г. Петропавловск-Камчатский 683006, Россия

E-mail: zond@kscnet.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1508-5599>

Svetlana V. Moskaleva — researcher, the volcanic ore genesis laboratory, Institute of volcanology and seismology of FEB RAS.

9, Boulevard Piip, Petropavlovsk-Kamchatsky 683006, Russia

E-mail: zond@kscnet.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1508-5599>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ И ПРОДУКТОВ ИХ РАЗЛОМНЫХ ЗОН (АЛБАЗИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ, СЕВЕР ХАБАРОВСКОГО КРАЯ)

Т.Г. РЯЩЕНКО*, Е.А. МАСЛОВ, Е.В. БРЫЖАК, С.И. ШТЕЛЬМАХ

*Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия
128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассматриваются результаты инженерно-геологического изучения скальных грунтов и продуктов их разломных зон на примере коллекции образцов, отобранных в бортах карьера Албазинского золотоносного месторождения, расположенного на севере Хабаровского края.

Цель. Разработка и реализация методической схемы, которая включает лабораторные определения в образце скального грунта скорости распространения продольных сейсмических волн («сейсмической скорости») с помощью прибора «Пульсар-2.2» (методы сплошного и сквозного прозвучивания), плотности, пористости и водопоглощения, а также информацию о типах микроструктуры и микротекстуры, минеральном составе и признаках изменений при воздействии метаморфизма (петрографические шлифы).

Материалы и методы. Для образцов коллекции скальных грунтов выполняется оценка взаимосвязи «сейсмической скорости» с показателями физических свойств (программа кластерного анализа R-типа). Продукты разломных зон изучались в лаборатории по специальной методической схеме — расширенной (черная глина) и сокращенной (щебенисто-дресвяные образования); впервые определялся микроэлементный состав глины и дресвы аргиллитов, оценивался уровень их загрязнения токсичными микроэлементами (показатель Zc).

Результаты. На основании количественной оценки взаимосвязи показателей различных свойств скальных грунтов, выявленной с помощью программы кластерного анализа, получен «аномальный» вывод об отсутствии влияния плотности скального грунта на сейсмические свойства, что можно объяснить текстурно-структурными особенностями, минеральным составом и последствиями метаморфизма — признаками катаклаза и бластогенеза (фиксируются на микроуровне — в шлифе).

Заключение. Предложенные методические схемы можно рекомендовать для дальнейших исследований сейсмических, прочностных и физических свойств скальных грунтов при сейсмологических и инженерно-сейсмологических исследованиях различных территорий.

Ключевые слова: скальный грунт, сейсмические и физические свойства, шлиф, кластерный анализ, глина, щебенисто-дресвяный грунт

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: в работе задействовано оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН в рамках гранта № 075-15-2021-682.

Для цитирования: Рященко Т.Г., Маслов Е.А., Брыжак Е.В., Штельмах С.И. Инженерно-геологическое изучение скальных грунтов и продуктов их разломных зон (Албазинское месторождение, север Хабаровского края). *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(2):68—79. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-68-79>

Статья поступила в редакцию 23.06.2021

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

* Автор, ответственный за переписку

Proceedings of higher educational establishments
Geology and Exploration
2022;64(2):68—79

AN ENGINEERING-GEOLOGICAL STUDY OF ROCK SOILS AND THE PRODUCTS OF THEIR FRACTURE ZONES (ALBAZINSKOE DEPOSIT, NORTH KHABAROVSK KRAI)

TAMARA G. RYASHCHENKO*, EGOR A. MASLOV, EVGENY V. BRYZHAK, SVETLANA I. SHTEL'MAKH

*Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia
128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia*

ABSTRACT

Background. The results of an engineering-geological study of rock soils and the products of their fault zones are considered on the example of samples selected in the sides of the Albazinskoe gold-bearing deposit located in the north of the Khabarovsk Krai.

Aim. To develop and implement a methodological approach, which includes laboratory determinations of the velocity of propagation of longitudinal seismic waves ("seismic speed") using a "Pulsar-2.2" unit (methods of continuous and through sounding), as well as density, porosity and water absorption determinations along with obtaining information about the types of microstructure and microtexture, the mineral composition and mineral alteration features under the influence of metamorphism (using petrographical thin sections).

Materials and methods. For the collected rock soil samples the relationship between seismic velocity and physical properties indicators was evaluated (*R*-type cluster analysis programme). The products of fractural zones were studied in a laboratory according to a specially-developed methodological approach: extended (black clay) and reduced (crushed stone formations with debris). The microelement composition of the clay and gravel of argillites was determined for the first time, and the level of their pollution by toxic microelements (*Zc* index) was evaluated.

Results. On the basis of quantitative assessment of the relationship between indicators of rocky soils various properties identified using the cluster analysis program, an "anomalous" conclusion is obtained about the absence of the rock soil density effect on seismic properties, which can be explained by the textural and structural features, as well as by mineral composition and the consequences of metamorphism (cataclastic and blastogenetic features recorded on the microscale in thin sections).

Conclusion. The proposed methodological approach can be recommended for further studies of seismic, strength and physical properties of rocky soils during seismological and engineering-seismological studies of various territories.

Keywords: rock soil, seismic and physical properties, thin section, cluster analysis, clay, crushed stone soil with debris

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: The equipment of the Center for Collective Use "Geodynamics and Geochronology" of the Institute of the Earth's Crust of the SB RAS was used in this work within the framework of the grant No. 075-15-2021-682.

For citation: Ryashchenko T.G., Maslov E.A., Bryzhak E.V., Shtel'makh S.I. An engineering-geological study of rock soils and the products of their fracture zones (Albazinskoe deposit, north Khabarovsk Krai). *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):68—79. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-68-79>

Manuscript received 23 June 2021

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

* Corresponding author

«Инженерная геология для общества и территорий» — главная идея XII Конгресса МАИГ (IAEG), который состоялся в сентябре 2014 года в Италии, Турин. В рамках проблемы «Скальные грунты» в программе конгресса выделены следующие научные направления: анализ

природы физико-механических свойств, трещиноватости и механизма разрушения; вопросы оценки свойств скальных массивов, для которых были предложены специальные индексы [1, 14]. Рекомендуется изучать зависимость физико-механических свойств грунтов от их структурно-минералогических особенностей, которые определяются на микроуровне (петрографические шлифы, РЭМ), а также количественные корреляционные взаимосвязи между различными показателями физико-механических свойств [13].

Следуя этим рекомендациям, на примере коллекции образцов скальных грунтов (дациты и метаморфизованные песчаники), отобранных из бортов карьера Албазинского месторождения на севере Хабаровского края и доставленных в Институт земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН), выполнены лабораторные работы по предложенной методической схеме и представлены в сокращенном варианте в трудах конференции «Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии» [11]. В настоящее время коллекция дополнена образцами двух типов, также отобранных в карьере Албазинского месторождения и представленных продуктами разломных зон, для которых использована специальная методическая схема лабораторных исследований дисперсных грунтов — расширенная для так называемой «глинки трения» (милониты) в виде черной глины (обр. № 1-а) и сокращенная для щебенисто-дресвяных образований (обр. № 2-а). В результате появилась «комбинированная» статья, посвященная инженерно-геологическому изучению скальных грунтов и продуктов их разломных зон. Кратко рассматриваются фондовые материалы по месторождению, затем выполняется описание объектов исследований — образцов коллекции скальных и дисперсных грунтов, представляются методические схемы их лабораторного изучения, приводятся результаты исследований и их обсуждение.

Албазинское месторождение расположено в пределах Ульбанской структурно-формационной зоны Сихотэ-Алинской складчатой области,

в которой выделяются три структурных этажа. Нижний представлен юрскими осадочными породами со следами метаморфизма (метапесчаники), средний — эффузивами порфировой формации (дациты, андезиты) средне мелового возраста, верхний — четвертичными отложениями. Рельеф территории низогорный (абс. отм. 400—600 м), сильно расчлененный; подземные воды залегают на глубине от 5 до 44 м, выделяются временный водоносный горизонт (верховодка) и воды трещиноватой зоны юрско-меловых пород. Из фондовых материалов использованы данные по прочности (на одноосное сжатие — R_c , МПа) и показателям качества (RQD , %) скальных грунтов месторождения, выделены две группы: первая — $R_c 18—51$, $RQD < 25—50$ (качество массива очень плохое); вторая — $R_c 53—153$, $RQD > 50—75$ (качество массива среднее и хорошее). Кроме того, для метапесчаников и дацитов двух участков были обнаружены обобщенные значения прочности на одноосное сжатие (R_c , МПа) и растяжение (R_z , МПа), а также природной плотности (P_{np} , г/см³). На основе этих значений авторы статьи составили матрицу ($n = 6$, $m = 3$) и по программе кластерного анализа R -типа [2, 10] построили график-дендрограмму: горизонтальная ось — коэффициенты корреляции, вертикальная — признаки (рис. 1). При коэффициенте $> 0,7$ связи между признаками и их группами считаются существенными, $< 0,4$ — слабыми; значения коэффициента в пределах 0,4—0,7 свидетельствуют о средней степени связей (их можно назвать «заметными»).

Установлено, что природная плотность скальных грунтов (метапесчаников и дацитов) не влияет существенно на их прочность, поскольку коэффициент корреляции менее 0,40 (0,27). Аналогичная «аномалия» была выявлена ранее при изучении протерозойских песчаников Удокана, для которых ведущими факторами оказались особенности их микроструктуры и микротекстуры и различные признаки метаморфизма, установленные при изучении петрографических шлифов [13].

Кластер R

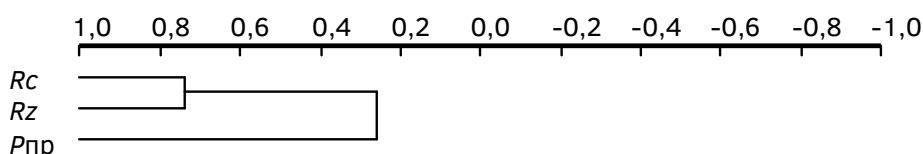


Рис. 1. Взаимосвязи прочности (R_c , R_z) и природной плотности (P_{np}) скальных грунтов

Fig. 1. Relationships between the strength (R_c , R_z) and the natural density (P_{np}) of the rocky soils

Объекты исследований

Скальные грунты. Коллекция включает образцы, отобранные в бортах карьера на горизонтах с абс. отметкой 330—340 м: № 1 — дацит (эффузив кислого состава), образец неправильной формы, светло-серого (почти белого) цвета, длина по плоской грани 6 см; в образце № 2 — «зона контакта» темно-серого метапесчаника (метаморфизованного песчаника) и светло-серого дацита, образец неправильной формы, длина по плоской грани 7 см; № 3 — метапесчаник темно-серого (почти черного) цвета, образец имеет неправильную форму и небольшие размеры (длина по плоской грани 4 см); № 4 — контакт темно-серого (почти черного) метапесчаника с дацитом светло-серого цвета, образец прямоугольной формы небольшого размера (длина 4 см); № 5 — метапесчаник черного цвета; образец неправильной формы и значительных размеров (длина по плоской грани 12 см), видны раковистые углубления, заметна слоистость; № 6 — метапесчаник темно-серого (почти черного) цвета; образец прямоугольной формы (длина 9 см, ширина 5 см), на верхней плоскости видна тонкая слоистость; № 7 — метапесчаник серого цвета; образец прямоугольной формы (длина 10 см, ширина 5 см), на боковых гранях имеются раковистые углубления, видна «веерообразная» слоистость в виде белесых пунктирных линий; № 8 — дацит светло-серого цвета; образец неправильной формы и значительных размеров (длина до 12 см), по боковой грани видны раковистые углубления, белые жилки и вкрапленники.

Дисперсные грунты. Коллекция представлена двумя образцами: № 1-а — черная глина (так называемая «глинка трения»); № 2-а — дресва и щебень светло-серых аргиллитов. Эти образования являются продуктами разломных зон, зафиксированных в бортах карьера.

Методические схемы лабораторного изучения скальных и дисперсных грунтов

Скальные грунты. Методическая схема лабораторного изучения образцов коллекции включала три «кластера» результатов: 1) измерение скорости распространения продольных сейсмических волн в образце — V_p , м/с, в сокращенном варианте — «сейсмическая скорость»; 2) определение показателей физических свойств — природной плотности ($R_{пр}$, г/см³), пористости (n , %), степени водопоглощения ($W_{вп}$, %), плотности минеральной части (P_s , г/см³); 3) изготовление и описание петрографических шлифов с указанием названия

породы, типов микроструктуры и микротекстуры, минералогического состава и признаков метаморфических воздействий. Прочность дацитов и метапесчаников на одноосное сжатие и растяжение не определялась по причине отсутствия образцов правильной геометрической формы, поэтому косвенная оценка уровня прочностных свойств проводилась через величину «сейсмической скорости». Согласно стандартному правилу повышенной прочности скальных грунтов соответствует высокая скорость распространения продольных сейсмических волн. Тем не менее часто в проявление этой закономерности вмешиваются «петрографические признаки».

Измерение «сейсмической скорости» выполнено для образцов коллекции в лабораторных условиях на приборе «Пульсар-2.2: измерение времени и скорости распространения ультразвука». Использовались два способа — поверхностное и сквозное прозвучивание образца, при этом определялись время прохождения ультразвука в микросекундах (T) и база (L) — расстояние между датчиками в миллиметрах. Затем проводился расчет скорости распространения продольных сейсмических волн:

$$V_p \text{ (м/с)} = L / T.$$

В крупных образцах скорость измерялась дважды — при поверхностном и сквозном прозвучивании с целью уточнения результата, в небольших кусочках — только методом сквозного прозвучивания.

Показатели природной плотности, водопоглощения и плотности минеральной части грунтов определялись в лаборатории по стандартным методикам, значения пористости получены расчетным путем [7]. Для оценки взаимосвязи «сейсмической скорости» скальных грунтов с их физическими параметрами применялась программа кластерного анализа R-типа [2, 10].

Каждый образец коллекции сопровождался «петрографической информацией» — приводилось уточненное название породы, типы ее микроструктуры и микротекстуры, минеральный состав (содержание главных, второстепенных, акцессорных минералов и вторичных образований), наличие метagenетических изменений в виде серицитизации, кальцитизации, катагенеза (процессы катаклаза) и бластогенеза (перекристаллизация в твердом состоянии).

Дисперсные грунты (продукты разломных зон). Наибольший интерес представляет черная глина — глина трения (образец № 1-а).

Методическая схема лабораторного изучения этого образца включает определение микроструктурных параметров (метод «Микроструктура»); изучение фазового минерального состава и оценку глинистых минералов; определение микроэлементного состава. Кроме того, установлены некоторые физико-химические показатели: плотность минеральной части глины, предел текучести, число пластичности, степень водоустойчивости [7], а также емкость катионного обмена, которая определялась по методу Л.И. Кульчицкого, опубликованному в качестве методических рекомендаций еще в 1977 г., но только в 2017 г. этот метод получил собственное название по фамилии автора [5].

Метод «Микроструктура» [6, 10] предполагает выполнение гранулометрического анализа (метод пипетки) с тремя способами подготовки образца и последующим расчетом общего содержания агрегатов и их разновидностей, содержания в агрегатах частиц различных размеров; далее устанавливаются реальная глинистость и тип микроструктуры.

При изучении минерального состава глины применяется метод порошковой дифракции, объединяющий качественный (фазовый) и полуколичественный анализы. Съемка проводится на дифрактометре D8 Advance (Bruker AXS, Германия). Фазовый состав проб расшифровывается с помощью программы EVA (Diffraction PDF-2, 2007), а также Американской картотеки ASTM PDF, полуколичественное соотношение компонентов рассчитывается по корундовым числам методом RIR [15]. Для идентификации глинистых минералов выполняется съемка ориентированного образца на дифрактометре «Дрон-3,0»; рентгенограммы идентифицируются с помощью программы поиска фаз.

Микроэлементный состав определяется рентгенофлуоресцентным методом с применением спектрометра S8 TIGER [9]. Для группы токсичных элементов (V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, F) рассчитывается специальный показатель (Z_c), который характеризует степень загрязнения отложений: $Z_c = \sum [Kd - (n - 1)]$, где Kd — коэффициент концентрации i -го элемента в образце, равный для Co, Ni, Cu, Zn отношению концентрации токсичного элемента к фоновому содержанию, для Pb, As — отношению их содержаний к предельно допустимым концентрациям (ПДК); n — число учитываемых элементов ($n = 6$) [8].

Этот показатель характеризует удовлетворительную (<16), критическую (16—32), чрезвычайную (32—128) или катастрофическую (>128)

ситуацию по степени загрязнения отложений [4]. Кроме того, определяется коэффициент концентрации K_c , который показывает отношение конкретного содержания компонента (среднего или максимального) к величине кларка по А.П. Виноградову.

Для аргиллитов (обр. № 2-а — дресва и щебень из зоны дробления) методическая схема включала только выполнение гранулометрического анализа ситовым методом, определение микроэлементного состава и оценку водоустойчивости дресвы аргиллитов.

Результаты исследований и их обсуждение

Скальные грунты. Рассматриваются результаты определения скорости распространения продольных сейсмических волн (V_p , м/с) в каждом образце коллекции за исключением одного (№ 4), слишком небольшого размера (прибор в этом случае не работает). Одновременно получено описание петрографических шлифов.

Для образца № 1 (дацит) проведено сквозное прозвучивание в двух вариантах: а) $T = 13,8$; $L = 52$ мм; $V_p = 3768$ м/с; б) $T = 10,8$; $L = 45$ мм; $V_p = 4166$ м/с. При уменьшении базы L снижается время T , поэтому незначительно увеличивается «сейсмическая скорость». Далее получаем среднее значение показателя: $V_p = 4070$ м/с.

В шлифе порода определена как дацитовый порфир; структура порфиристая; текстура пятнистая; размеры зерен 0,10—0,25 мм, порфиры достигают 0,60—4,00 мм; главные минералы: плагиоклаз (39%), калишпаты (19%), кварц (18%); второстепенные: кальцит (11%), серицит (10%), рудные (3%); акцессорные (единичные зерна): апатит, сфен, лейкоксен; вторичные образования: кальцит, серицит, гидроокислы железа. Основная масса породы скрытокристаллической фельзитовидной структуры, порфиристые включения представлены полевыми шпатами и кварцем, отмечаются участки аллотриоморфной структуры (минералы не имеют четких кристаллических очертаний); полевые шпаты интенсивно кальцитизированы и серицитизированы; неравномерно распределены кварц-полевошпатовые фельзитовые агрегаты, в пределах которых отмечаются мелкие зерна реликтового рудного минерала, замещенного лейкоксом. Влияние дислокационного метаморфизма проявлено в виде катаклаза (микротрещиноватость).

Для образца № 5 (метапесчаник) в трех вариантах проведено поверхностное прозвучивание: а) $T = 19,6$; $L = 120$ мм; $V_p = 6122$ м/с; б) $T = 21,1$;

$L = 120$ мм; $V_p = 5970$ м/с; в) $T = 19,7$; $L = 120$ мм; $V_p = 6091$ м/с; среднее значение: $V_p = 6061$ м/сек. При сквозном прозвучивании «сейсмическая скорость» оказалась меньше (в среднем 4900 м/с), возможно, по причине визуально замеченной трещинки.

В шлифе порода определена как метапесчаник; микроструктура псаммитовая, размер зерен 0,1—0,3—0,7 мм, редко 1,2 мм, текстура не ясно ориентированная; главные минералы: полевые шпаты (38%), кварц (18%), кроме того, много обломков пород (29%); второстепенные (2—5%): кальцит, биотит, рудные, серицит; акцессорные (единичные зерна): циркон, лейкоксен; вторичные минералы: кварц, кальцит. Зерна в песчанике угловатые, цемент — базально-поровый и поровый (до 16%), глинистый. Зерна полевых шпатов (плагиоклазы серицитизированы, калишпаты пелитизированы) и кварца имеют корродированные контуры, края разъедены глинистым цементом. Кроме того, для кварца отмечено волнистое погасание. Обломки пород представлены алевролитами, аргиллитами, эффузивами среднего состава, редко встречаются кремни и гранитоиды. Между полевыми шпатами и кварцем отмечаются деформированные (изогнутые) зерна биотита, частично хлоритизированные и гидратированные. Ксеноморфные (не имеют кристаллографических очертаний) зерна рудного минерала заполняют межзерновые пространства. По микротрещинам наблюдаются ксеноморфные зерна кальцита. Метагенетические изменения в песчанике проявлены в виде окварцевания и кальцитизации; влияние высокого давления подтверждается присутствием сдавленных зерен кварца с волнистым погасанием.

Таким образом, скорость распространения продольных сейсмических волн («сейсмическая скорость») в метапесчанике (обр. № 5) оказалась выше (6061 м/с) по сравнению с дацитом (4070 м/с — обр. № 1). Причина этих различий, вероятнее всего, заключается в особенностях микроструктуры и микротекстуры, составе главных минералов и признаках изменений, связанных с метаморфизмом.

Дациит имеет порфировую (разнородную) микроструктуру и пятнистую микротекстуру, среди главных минералов преобладают плагиоклазы и калишпаты (в сумме 58%), присутствуют неравномерно распределенные кварц-полевошпатовые фельзитовые агрегаты; признаки метаморфизма — катаклаз, серицитизация и кальцитизация.

Метапесчаник имеет псаммитовую (однородную) микроструктуру, среди главных минералов — серицитизированные плагиоклазы и пелитизированные калишпаты (38%), кварц (18%), отмечено много обломков пород (29%) — алевролитов, аргиллитов, эффузивов; имеются сдавленные зерна кварца (волнистое погасание), деформированные зерна биотита, что связано с влиянием высокого давления при метаморфизме; проявлено окварцевание и кальцитизация.

В других образцах метапесчаника (№ 3, 6) отмечена пониженная «сейсмическая скорость» (4159—4133 м/сек). Почему? В шлифе видно, что они интенсивно катаклазированы, при этом в зоне катаклаза наблюдается перекристаллизация обломочного кварца в гранобластовый агрегат и его обособление в отдельные линзы и гнезда. Для образца № 7 «сейсмическая скорость» повышается до 5074 м/сек; калишпаты пелитизированы каолинитом, плагиоклазы — серицитизированы; кварц — трещиноватый, имеет волнистое погасание (признак катаклаза). Для метапесчаников характерно высокое содержание обломков пород.

В «комбинированном» образце № 2, где наблюдается контакт светлого дацита и темно-серого метапесчаника, проведено сквозное прозвучивание в трех вариантах: а) $T = 12,3$; $L = 58$ мм; $V_p = 3700$ м/сек; б) $T = 16,0$; $L = 74$ мм; $V_p = 4600$ м/сек; в) $T = 15,0$; $L = 66$ мм; $V_p = 4400$ м/сек; среднее значение: $V_p = 4233$ м/сек. «Сейсмическая скорость» оказалась в пределах 3700—4600 м/сек.

Для образца № 2 отдельно были изготовлены шлифы для дацита и метапесчаника. В даците определена фельзитовая микроструктура, кроме того, установлено, что кристаллы плагиоклаза подвержены интенсивному бластогенезу — они перекристаллизованы в субгранобластовую массу с сохранением реликтовой формы отдельных кристаллов; на контакте с метапесчаником видны скопления перекристаллизованного гранобластового кварца. Кроме того, метапесчаник и дацитовый порфир катаклазированы (микротрещины) и интенсивно кальцитизированы. В песчанике окварцевание обломочного материала (плагиоклазов) развито в меньшей степени по сравнению с серицитизацией.

Таким образом, признаки катаклаза (кластогенеза) и бластогенеза наблюдаются как в даците, так и метапесчанике, поэтому для «комбинированного» образца № 2 происходит снижение «сейсмической скорости» до 3700 м/сек.

О взаимосвязи скорости распространения продольных сейсмических волн в образцах скальных грунтов с показателями их физических свойств

Для образцов коллекции скальных грунтов составлена матрица, которая включает значения «сейсмической скорости» (V_p) для дацита и песчаника и показатели их физических свойств (табл. 1).

На основе этих данных в Excel по программе кластерного анализа R -типа выполнялась количественная оценка взаимосвязей между wybranными параметрами — признаками. Для этой цели получены две дендрограммы.

Первый график-дендрограмма построен при участии всех признаков для семи образцов (исключен № 4, для которого измерения скорости не проводились) (рис. 2). По горизонтальной оси указан коэффициент корреляции (от 0 до ± 1), по вертикальной расположены признаки.

Водопоглощение связано с пористостью на максимальном уровне — коэффициент корреляции равен единице (это первая группа признаков), также значительны взаимосвязи между двумя видами плотности — коэффициент корреляции 0,85 (вторая группа), при этом связь между указанными группами отсутствует (коэффициент корреляции равен нулю); «сейсмическая скорость» (V_p) обнаруживает обратную зависимость от показателей первой группы — пористости и водопоглощения (коэффициент

корреляции $-0,45$). Значит, чем выше эти показатели, тем ниже скорость распространения в скальном грунте продольных сейсмических волн. Плотности (природная и минеральной части), которые не связаны с пористостью и водопоглощением, также не попадают в сферу влияния «сейсмической скорости» (V_p). Почему? Видимо, пористость, а значит, и водопоглощение определяются особенностями микроструктуры — микротекстуры и признаками метаморфизма, которые можно зафиксировать только на микроуровне (в шлифе).

Максимальная скорость распространения продольных сейсмических волн в образце № 5 (6061 м/сек) определяется минимальными значениями пористости (0,20%) и водопоглощения (0,08%) (табл. 1). Природная плотность дацита и метапесчаника находится в пределах 2,65—2,72 г/см³ (среднее значение 2,69). Для сравнения можно привести данные по гранитам, габбро, пироксенитам, кварцитам, сланцам и гнейсам: для гранита среднее значение плотности (11 217 образцов) 2,57 г/см³, диорита — 2,81 (3683 образца), габбро — 2,95 (1990 образцов), пироксенита — 3,20 (2895 образцов), кварцита — 2,61, сланцев — 2,72, гнейса — 2,70—3,10 [3, с. 51—59]. Метапесчаники и дациты коллекции по природной плотности близки к сланцам и кварцитам.

Второй график построен для семи образцов коллекции с тремя признаками ($P_{пр}$, n , V_p) (рис. 3).

Таблица 1. Матрица данных для построения графика-дендрограммы (программа кластерного анализа R -типа)
Table 1. Data matrix for plotting the dendrogramme (R -type cluster analysis software)

Номер образца коллекции / Sample number of the collection	Петрографический тип / Petrographic type	V_p , м/с V_p , m/s	$P_{пр}$, г/см ³ $P_{пр}$, g/cm ³	P_s г/см ³ P_s , g/cm ³	n , %	$W_{вп}$, %
1	Дацит / Dacite	4070	2,65	2,69	1,4	0,53
2	«Комбинированный» образец (дацит-метапесчаник) / “Combination” sample (dacite-metasandstone)	4233	2,68	2,71	1,0	0,37
3	Метапесчаник / Metasandstone	4159	2,65	2,71	2,2	0,82
5	Метапесчаник / Metasandstone	6061	2,67	2,68	0,2	0,08
6	Метапесчаник / Metasandstone	4133	2,72	2,75	1,2	0,43
7	Метапесчаник / Metasandstone	5074	2,69	2,73	1,3	0,50
8	Дацит / Dacite	5105	2,65	2,69	1,4	0,54

Примечание: Показатели свойств: V_p — скорость распространения продольной сейсмической волны в образце («сейсмическая скорость»), $P_{пр}$ — природная плотность, P_s — плотность минеральной части грунта, n — пористость, $W_{вп}$ — водопоглощение.

Note: Properties metrics: V_p is the velocity of propagation of dilatational seismic wave in the sample (“seismic speed”), $P_{пр}$ is the natural density, P_s is the soil mineral part density, n is the porosity, $W_{вп}$ is the water adsorption.

Кластер R



Рис. 2. Взаимосвязи «сейсмической скорости», плотности (природной и минеральной части), пористости и водопоглощения скальных грунтов ($n = 7$, $m = 5$); горизонтальная ось — коэффициент корреляции между признаками (от 0 до +1,0; от 0 до -1,0)

Fig. 2. Relationships between the «seismic speed», the natural density and the density of mineral part, the porosity and the water adsorption of the rocky soils ($n = 7$, $m = 5$); horizontal axis is the correlation coefficient between the attributes (from 0 to +1.0; from 0 to -1.0)

Кластер R

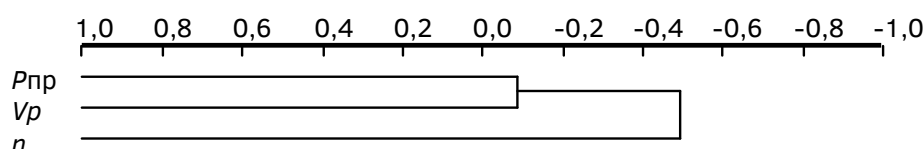


Рис. 3. Взаимосвязи «сейсмической скорости» (V_p), пористости (n), природной плотности (P_{np}) в скальных грунтах ($n = 7$, $m = 3$); горизонтальная ось — коэффициент корреляции между признаками (от 0 до +1,0; от 0 до -1,0)

Fig. 3. Relationships between the «seismic speed» (V_p), the porosity (n), the natural density (P_{np}) in the rocky soils ($n = 7$, $m = 3$); horizontal axis is the correlation coefficient between the attributes (from 0 to +1.0; from 0 to -1.0)

Установлено, что «сейсмическая скорость» (V_p) также имеет заметную, но обратную взаимосвязь с пористостью (коэффициент корреляции составляет -0,45); природная плотность почти не влияет на этот показатель (коэффициент корреляции близок к нулю).

Следовательно, в метапесчанике (обр. № 5) меньше пористость, выше скорость распространения продольных сейсмических волн и больше прочность, в дацитах — выше пористость, ниже скорость продольных сейсмических волн и меньше прочность.

О факте отсутствия влияния плотности на скорость распространения продольных сейсмических волн в скальных грунтах (а значит, и на прочность) приведены данные в начале статьи [13]. Представленные зависимости подтверждают роль петрографической информации для оценки сейсмических и прочностных свойств скальных грунтов.

Дисперсные грунты (продукты разломных зон)

Черная глина — обр. № 1-а. Микроструктура. Используется специальный метод «Микроструктура», разработанный в лаборатории инженерной геологии и геоэкологии ИЗК СО РАН [6, 10].

Выполняется гранулометрический анализ образца методом пипетки с различными способами подготовки и рассчитываются коэффициенты микроагрегатности для каждой фракции ($K_{ма}^*$) (табл. 2).

С помощью специальных расчетов определяется общее содержание агрегатов (34,1% — сумма коэффициентов микроагрегатности с отрицательным знаком), что согласно разработанной классификации соответствует скелетно-агрегированному типу структуры глины; среди первичных (свободных) частиц выявлено преобладание песчаных (1,00—0,05 мм — 38,6%), крупнопылеватых (0,05—0,01 мм — 19,9%) и отсутствие глинистых (<0,002 мм); реальная глинистость (общее содержание фракции <0,002 мм в агрегатах и свободном состоянии) составляет 19,4% (определяется при дисперсном способе подготовки образца к гранулометрическому анализу) (табл. 2). При стандартной подготовке образца содержание фракции <0,002 мм составляет всего 0,5% (см. табл. 2), поэтому этот образец следует относить к песку, что не соответствует действительности. На самом деле — это пылевато-песчаная глина со скелетно-агрегированной микроструктурой, в которой первичных песчаных частиц 38,6%, пылеватых 27,2%, агрегатов

Таблица 2. Гранулометрический анализ глины с различными способами подготовки образца
Table 2. Granulometric analysis of clay with different sample preparation procedures

Способ подготовки образца / Preparation procedure of the sample	Содержание фракций, % / Fractions content (%)					
	1,00—0,25 мм / 1.00—0.25 mm	0,25—0,05	0,05—0,01	0,01—0,002	0,002—0,001	<0,001
I	Мпс1 / Mps1	Мпс2 / Mps2	Мп1 / Mp1	Мп2 / Mp2	Мгл1 / Mgl1	Мгл2 / Mgl2
II	35,7	37,0	19,9	7,3	0,1	0,0
III	29,5	33,7	30,4	3,2	0,3	0,2
III	18,6	20,0	22,9	19,9	3,8	15,6
Кма* / Kma*	–17,1	–17,0	+ 3,0	+12,6	+ 3,7	+15,6

Примечание: I, II, III — агрегатный, полудисперсный-стандартный, дисперсный способы подготовки; Мпс1 — средне-крупно-песчаная фракция, мм, Мпс2 — тонко-мелкопесчаная, Мп1 — крупнопылеватая, Мп2 — мелкопылеватая, Мгл1 — грубоглинистая, Мгл2 — тонкоглинистая; Кма* — коэффициент микроагрегатности для каждой фракции с положительным или отрицательным знаком.

Note: I, II, III are aggregate, semi-dispersed-standard, dispersed preparation procedures; Mps1 is medium-gritty fraction, mm, Mps2 is fine sandy fraction, Mp1 is coarse pulverescent fraction, Mp2 is fine pulverescent fraction, Mgl1 is coarse clay fraction, Mgl2 is fine clay fraction; Kma* is microaggregation factor for each fraction with positive or negative sign.

Таблица 3. Гранулометрический состав крупнообломочного грунта разломной зоны
Table 3. Granulometric composition of the coarse clastic soil of the fault zone

Номер образца / Sample number	Размеры (мм) и содержание фракций, % / Sizes (mm) and fractions content (%)									
	>10	10—7	7—5	5—3	3—2	2—1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,10	<0,10
2-а	28,7	15,5	11,9	14,6	8,7	8,3	3,3	4,0	2,8	2,2

34,1%; глинистые фракции полностью мобилизованы в агрегаты (в свободном состоянии их нет).

Минеральный состав. В исследованном образце установлен следующий фазовый состав: кварц составляет $65 \pm 5\%$, доломит $10 \pm 5\%$. Глинистые минералы представлены смектитом ($10 \pm 5\%$) и гидрослюдой ($10 \pm 5\%$), возможны смешаннослойные минералы типа гидрослюда-смектит, отмечены следы хлорита и каолинита.

Физико-химические свойства. Определены следующие показатели: плотность минеральной части $2,69 \text{ г/см}^3$, предел текучести $24,4\%$, время размокания воздушно-сухого образца ненарушенной структуры — 10 минут 38 секунд. Число пластичности рассчитано по прогнозным формулам с применением предела текучести: $Ip1 = 7,3$; $Ip2 = 5,5$; $Ip = 6,7\%$ [12]. На основании представленных данных можно заключить, что пылеватая (27,2%) — песчаная (38,6%) глина, имеющая скелетно-агрегированную микроструктуру (А34,1%) и реальную глинистость 19,4%, является слабо пластичной (5,5—6,7%) и водонеустойчивой (очень быстро размокает — менее 30 минут).

Смектит, гидрослюда и смешаннослойные минералы в глинистой фракции определили проявление физико-химической активности

образца — емкость катионного обмена составляет 21 мг-экв на 100 г вещества.

Щебенисто-дресвяный грунт — обр. № 2-а.

Ситовым методом получены результаты гранулометрического состава образца (табл. 3). Преобладают крупные щебенистые обломки размером более 10 мм (28,7%); дресва (размер 10—2 мм) составляет 50,7%; песчаные фракции (2,0—0,1 мм) — 18,4%, тонкие песчаные частицы (<0,10 мм) только 2,2%. Таким образом, исследованный продукт разломной зоны в скальных породах месторождения (образец отобран в карьере при полевом обследовании его стенок) представлен щебенисто-дресвяным материалом (это светло-серый аргиллит) с небольшой примесью песчаных фракций.

Для обломков воздушно-сухого аргиллита ненарушенной структуры на специальном приборе ПРГ-1 определялось время размокания для оценки их водостойчивости. Установлено, что обломки являются водостойчивыми — они не разрушались в течение суток и более.

Микроэлементный состав (образцы № 1-а, № 2-а). Определялось содержание 25 элементов (ppm = 0,0001%): V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb, As, Sn, Ba, Sr, Zr, Ce, Rb, S, F, La, Nd, Y, Nb, Ga, W, Mo, U, Th. Для токсичных компонентов черной глины (№ 1-а) и дресвы аргиллита (№ 2-а) рассчитаны

Таблица 4. Содержание токсичных микроэлементов (ppm), коэффициенты загрязнения и концентрации
Table 4. Toxic microelements content (ppm), pollution factors and concentration coefficients

Образцы / Samples	Микроэлементы / Microelements									Zc
	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Pb	As	F	
C-1-a	104	48	11	16	26	75	17	11	274	14
Ckl	90	83	18	58	47	83	16	1,7	660	
Kc	1,16	0,58	0,61	0,28	0,55	0,90	1,10	6,47	0,42	
C-2-a	72	39	10	16	18	47	15	8	324	11
Ckl	90	83	18	58	47	83	16	1,7	660	
Kc	0,80	0,47	0,56	0,28	0,38	0,57	0,94	4,71	0,49	

Примечание: C — содержание микроэлемента в образце; Ckl — кларк по А.П. Виноградову (ppm); Kc — коэффициент концентрации (C/Ckl); Zc — коэффициент загрязнения.

Note: C is the microelement content in the sample; Ckl is the clark according to A.P. Vinogradov (ppm); Kc is the concentration coefficient (C/Ckl); Zc is the pollution factor.

коэффициенты загрязнения (Zc) и концентрации (Kc) (табл. 4).

Установлено, что исследованные продукты имеют удовлетворительный уровень по степени загрязнения ($Zc < 16$); коэффициенты концентрации $< 1,0$, исключением является мышьяк ($Kc = 4,71—6,47$); радиоактивный торий присутствует в количестве 9—11 ppm. Из числа других элементов первое место занимает барий (496—549 ppm), второе — стронций (238—253), далее — цирконий (160—169). Кроме того, образцы обогащены серой, особенно черная глина — 3214 ppm (в аргиллитах 696).

Выводы

Представлены и реализованы методические схемы лабораторного изучения скальных грунтов и продуктов их разломных зон по образцам коллекции, образцы которой были отобраны при полевом обследовании карьера Албазинского золоторудного месторождения на севере Хабаровского края; использованы: фондовые материалы инженерно-геологического характера по району месторождения. Предметом изучения является коллекция образцов, которая не претендует на значительное количество объектов, необходимых для представительных обобщений, тем не менее предложенные методические схемы можно рекомендовать для дальнейших исследований.

Для скальных грунтов коллекции, представленных темно-серыми (почти черными) метапесчаниками и светло-серыми дацитами, выполнены комплексные исследования, которые включали измерения в образце скорости распространения продольных сейсмических волн с помощью спе-

циального прибора «Пульсар-2.2: измерение времени и скорости распространения ультразвука» (сквозное и поверхностное прозвучивание), определение основных показателей физических свойств и петрографическую информацию.

При использовании программы кластерного анализа R-типа получен «аномальный» вывод об отсутствии влияния плотности грунта на сейсмические свойства. Установленная обратная зависимость «сейсмической скорости» от показателей физических свойств метапесчаника и дацита (коэффициент корреляции $-0,45$) можно объяснить, вероятнее всего, текстурно-структурными признаками, минеральным составом пород и последствиями метаморфизма — признаками катаклаза и бластогенеза.

Продукты разломных зон в скальных грунтах месторождения представлены, с одной стороны, пластичными черными глинами, которые размокают за 10 минут, с другой — дресвой и щебнем водоустойчивых аргиллитов; по содержанию токсичных микроэлементов они имеют удовлетворительный уровень загрязнения ($Zc < 16$). В то же время наибольшую опасность представляет черная пластичная водонеустойчивая пылевато-песчаная глина со скелетно-агрегированной микроструктурой и реальной глинистостью 19,4%, которая при водонасыщении может создавать опасные зоны для нарушения устойчивости бортов карьера (играет роль плоскостей скольжения).

В работе задействовалось оборудование ЦКП «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН в рамках гранта № 075-15-2021-682.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абатурова И.В.* Оценка и прогноз инженерно-геологических условий месторождений твердых полезных ископаемых горно-складчатых областей. Екатеринбург: ФГБОУ «Уральский государственный горный университет», 2011. 226 с.
2. *Данилов Б.С.* Кластерный анализ в EXCEL // Структура литосферы и геодинамика. Иркутск, Институт земной коры СО РАН. 2001. С. 18—19.
3. Инженерная геология России. Грунты России / Под ред. В.Т. Трофимова, Е.А. Вознесенского, В.А. Королева. — М.: КДУ, 2011. Т. 1. 672 с.
4. Критерии оценки экологической обстановки территории для выявления зон экологической ситуации и зон экологического бедствия. М.: Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов Российской Федерации, 1992.
5. Лабораторные работы по грунтоведению: Учебное пособие / Под ред. В.Т. Трофимова и В.А. Королева. 3-е изд. М.: КДУ, Университетская книга, 2017. 634 с.
6. Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2014. 241 с.
7. *Ломтадзе В.Д.* Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 327 с.
8. *Порядин А.Ф., Хованский А.Д.* Оценка и регулирование качества окружающей природной среды. М.: Издательский дом «Прибой», 1996. 350 с.
9. *Ревенко А.Г.* Физические и химические методы исследования горных пород и минералов в Аналитическом центре ИЗК СО РАН // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5 (1). С. 101—114.
10. *Рященко Т.Г.* Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2010. 287 с.
11. *Рященко Т.Г., Маслов Е.А.* Опыт инженерно-геологической оценки скальных грунтов (Албазинское месторождение на севере Хабаровского края) // Новые идеи и теоретические аспекты инженерной геологии. Труды Международной научной конференции. М.: МГУ, 2021. С. 268—272.
12. *Рященко Т.Г., Тирских С.А.* Определение пластичности глинистых и лессовых грунтов: оценка расчетного метода и рекомендации // Инженерные изыскания. 2016. № 8. С. 15—19.
13. *Рященко Т.Г., Тирских С.А., Корнилова Т.А., Брызжак Е.В.* Комплексная инженерно-геологическая оценка протерозойских песчаников (строительная площадка в районе Удокана) // Известия ВУЗов. Геология и разведка. 2015. № 3. С. 51—58.
14. *Фролова Ю.В.* Современные подходы к изучению скальных грунтов и их массивов (Обзор по материалам XII Конгресса МАИГ — 2014) // Геоэкология. 2015. № 6. С. 553—560.
15. *Hubbard C.R., Snuder R.I.* RIR. Measurement and Use in Quantitative XRD // Powder Diffraction. 1988. V. 3. P. 74—77.

REFERENCES

1. *Abaturova I.V.* Evaluation and forecast of engineering-geological conditions of solid minerals deposits in mountain-folded areas. Ekaterinburg: Ural State Mining University, 2011. 226 p. (In Russian).
2. *Danilov B.S.* Cluster analysis in EXCEL // Structure of the lithosphere and geodynamics. Irkutsk, Institute of the Earth's Crust, SB RAS. 2001. P. 18—19 (In Russian).
3. Engineering Geology of Russia. Soils of Russia / Ed. Trofimov V.T., Voznesenskiy E.A., Korolev V.A. Moscow: UBH, 2011. V. 1. 672 p. (In Russian).
4. Criteria for assessing the ecological situation of the territory to identify zones of the ecological situation and zones of ecological disaster. Moscow: Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of the Russian Federation, 1992 (In Russian).
5. Laboratory work on soil science. Textbook / Ed. Trofimov V.T. and Korolev V.A. 3rd ed. Moscow: UBH, University book, 2017. 634 p. (In Russian).
6. Loess soils of the Mongolian-Siberian region. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, SB RAS, 2014. 241 p. (In Russian).
7. *Lomtadze V.D.* Physical and mechanical properties of rocks. Methods of laboratory research. Leningrad.: Nedra. 1990. 327 p. (In Russian).
8. *Poryadin A.F., Khovanskiy A.D.* Assessment and regulation of environmental quality. Moscow: Priboy, 1996. 350 p. (In Russian).
9. *Revenko A.G.* Physical and chemical methods for the study of rocks and minerals in the Analytical Center of the IEC, SB RAS. Geodynamics and Tectonophysics. 2014. T. 5 (1). P. 101—114 (In Russian).
10. *Ryashchenko T.G.* Regional soil science (Eastern Siberia). Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, SB RAS. 2010. 287 p. (In Russian).
11. *Ryashchenko T.G., Maslov E.A.* Experience of engineering-geological assessment of rocky soils (Albazinskoye field in the north of the Khabarovsk Territory). New ideas and theoretical aspects of engineering geology. Proceedings of the International Scientific Conference. Moscow: MGU, 2021. P. 268—272 (In Russian).
12. *Ryashchenko T.G., Tirsikh S.A.* Determination of the plasticity of clay and loess soils: assessment of the calculation method and recommendations // Engineering surveys. 2016. No. 8. P. 15—19 (In Russian).
13. *Ryashchenko T.G., Tirsikh S.A., Kornilova T.A., Bryzhak E.V.* Comprehensive engineering-geological assessment of Proterozoic sandstones (construction site in the Udokan area) // News of Higher Educational Institutions. Geology and exploration. 2015. No. 3. P. 51—58 (In Russian).
14. *Frolova Yu.V.* Modern approaches to the study of rocky soils and their massifs (Review based on the materials of the XII Congress of IAIG — 2014) // Geoecology. 2015. No. 6. P. 553—560 (In Russian).
15. *Hubbard C.R., Snuder R.I.* RIR. Measurement and Use in Quantitative XRD // Powder Diffraction. 1988. V. 3. P. 74—77.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Рященко Т.Г. — провела большую часть инженерно-геологических и минералогических исследований грунтов, разработала концепцию статьи, подготовила текст статьи и окончательно утвердила публикуемую версию статьи, вклад составляет 50%.

Маслов Е.А. — собрал для исследования образцы скальных грунтов в карьере, оказал помощь в подготовке текста статьи, вклад составляет 15%.

Брыжак Е.В. — выполнил измерение «сейсмической скорости» в образцах исследуемых грунтов, провел анализ полученных данных, вклад составляет 10%.

Штельмах С.И. — провела определение концентраций химических элементов в образцах исследуемых грунтов, рассчитала коэффициент загрязнения, выполнила перевод на английский язык, вклад составляет 25%.

Tamara G. Ryashchenko — carried out most of the engineering-geological studies and mineralogical research of the soils, developed the concept of the article, prepared the article text and finally approved the published version of the article, the contribution is 50%.

Egor A. Maslov — collected rock soils samples for research in quarry, assisted in the preparation of the article text, the contribution is 15%.

Evgeny V. Bryzhak — performed the measurement of “seismic speed” in the samples of the studied soils, analyzed the obtained data, the contribution is 10%.

Svetlana I. Shtel'makh — carried out the determination of the chemical elements concentrations in the samples of the studied soils, calculated the pollution factor, translated into English, the contribution is 25%.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рященко Тамара Гурьевна* — доктор геолого-минералогических наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН.
128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия
e-mail: ryashenk@crust.irk.ru
тел.: +7 (914) 885-43-75
SPIN-код: 8791-2620
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5839-3471>

Маслов Егор Александрович — аспирант Института земной коры СО РАН.
128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия
e-mail: MaslovEA@polymetall.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1602-1557>

Брыжак Евгений Вадимович — кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией инженерной сейсмологии и сейсмогеологии Института земной коры СО РАН.
128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия
e-mail: bryzhak@crust.irk.ru
тел.: +7 (902) 569-87-25
SPIN-код: 3053-8213
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7550-4447>

Штельмах Светлана Ивановна — кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» Института земной коры СО РАН.
128, ул. Лермонтова, г. Иркутск 664033, Россия
e-mail: fotina78@gmail.com
тел.: +7 (914) 890-88-30
SPIN-код: 3418-6738
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0138-841X>

Tamara G. Ryashchenko* — Dr. of Sci. (Geol.-Min.), Prof., Leading Researcher of the Laboratory of Engineering Geology and Geoecology of the Institute of the Earth's Crust, SB RAS.
128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia
e-mail: ryashenk@crust.irk.ru
tel.: +7 (914) 885-43-75
SPIN-code: 8791-2620
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5839-3471>

Egor A. Maslov — Post-graduate researcher of the Institute of the Earth's Crust, SB RAS.
128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia
e-mail: MaslovEA@polymetall.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1602-1557>

Evgeny V. Bryzhak — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Head of the Laboratory of Engineering Seismology and Seismogeology of the Institute of the Earth's Crust, SB RAS.
128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia
e-mail: bryzhak@crust.irk.ru
tel.: +7 (902) 569-87-25
SPIN-code: 3053-8213
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7550-4447>

Svetlana I. Shtel'makh — Cand. of Sci. (Geol.-Min.), Researcher of the Center for Collective Use “Geodynamics and geochronology” of the Institute of the Earth's Crust, SB RAS.
128, Lermontov str., Irkutsk 664033, Russia
e-mail: fotina78@gmail.com
tel.: +7 (914) 890-88-30
SPIN-code: 3418-6738
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0138-841X>

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author



ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ИНФИЛЬТРАЦИОННОГО ПИТАНИЯ ПО ДАННЫМ МЕЖЕННОГО СТОКА ТЕРРИТОРИИ ХВОСТОХРАНИЛИЩА

И.А. ЛЯМИН

ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
15, ул. Букирева, г. Пермь 614068, Россия

АННОТАЦИЯ

Актуальность исследования заключается в необходимости прогнозирования гидрогеологического режима в процессе строительства и эксплуатации хвостохранилищ. Комплексное изучение строения зоны аэрации и условий формирования инфильтрационного питания впоследствии позволит минимизировать техногенную нагрузку на гидросферу и запроектировать необходимые мероприятия для снижения негативной нагрузки на территорию при антропогенном воздействии.

Цель: определить величину инфильтрационного питания на территории проектируемого хвостохранилища.

Объекты: инфильтрация, слабопроницаемые отложения, речная сеть.

Материалы и методы: изучаемая территория — южная часть Талицкого участка Верхнекамского месторождения солей (Российская Федерация). Инфильтрация, слабопроницаемые отложения, речная сеть. Методы исследования: математическое моделирование, картографирование, гидрометрические работы.

Результаты. Проведенные работы отражают закономерности, характерные для стока малых рек исследуемого региона. Ведущую роль в питании поверхностных водотоков играют талые снеговые воды. Наиболее интенсивное поступление дождевых вод, соответствующее периодам летних и осенних дождевых паводков, на реках исследуемой территории происходило в июле 2017 г. и в октябре—ноябре 2017 г. Некоторые отличия в годовом объеме распределения стока этого водотока, вероятно, определяются изменением характеристик водосборной площади, произошедшем вследствие вырубki лесов и подготовки территории к строительству объектов ГОКа.

Ключевые слова: модуль подземного стока, меженный сток, инфильтрационное питание, норма стока, хвостохранилище

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работы выполнялись по договору ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

Для цитирования: Лямин И.А. Определение величины инфильтрационного питания по данным меженного стока территории хвостохранилища. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(2):80—91. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-80-91>

Статья поступила в редакцию 30.06.2021

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

DETERMINATION OF THE AMOUNT OF INFILTRATION SUPPLY ACCORDING TO THE DATA OF LOW-WATER RUNOFF IN A TAILING STORAGE AREA

ILYA A. LYAMIN

Perm State National Research University
15, Bukireva str., Perm 614068, Russia

ABSTRACT

Background. The relevance of the study lies in predicting the hydrogeological regime in the process of construction and operation of tailing storage areas. A complex study of the aeration zone and formation conditions of infiltration supply will make it possible to minimize the anthropogenic load on the hydrosphere and to develop measures for a reduction in the negative load on territories imposed to anthropogenic impact.

Aim. To determine the amount of infiltration supply in a designed tailing storage area.

Materials and methods. The studied territory is the southern part of the Talitsky section of the Verkhnekamsk salt deposit (Russian Federation). The studied objects included infiltration processes, weakly-permeable deposits, and drainage network. The applied methods involved mathematical modelling, mapping, and hydrometric works.

Results. The conducted works reflect the regularities characteristic of the drain of small rivers in the region under study. Melted snow waters play a leading role in feeding surface watercourses. The most intensive inflow of rainwater, corresponding to the periods of summer and autumn rain floods, on the rivers of the study area occurred in July 2017 and in October–November 2017. Some differences in the annual volume of the run-off distribution of this water flow are likely to be determined by a change in the characteristics of the water-collecting area occurring as a result of cutting down forests and preparing the territory for construction of a mining and processing plant.

Keywords: underground run-off modulus, low-water run-off, infiltration supply, normal run-off, tailing storage area

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: The work was carried out under the contract Perm State National Research University.

For citation: Lyamin I.A. Determination of the amount of infiltration supply according to the data of low-water runoff in a tailing storage area. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):80—91. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-80-91>

Manuscript received 30 June 2021

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

Введение

Одной из составляющих естественных ресурсов подземных вод в зоне активного водообмена является инфильтрационное питание. Для проектирования хвостохранилищ инфильтрационное питание является важной компонентой для определения водного баланса территории. Оценка инфильтрационного питания является одной из важных составляющих прогнозных гидрогеологических задач. В работе решалась обратная задача путем измерения гидрологического режима речной сети в месте проектируемого сооружения.

Формирование инфильтрационного питания происходит под действием природных факторов, которые на конкретной территории определяют интенсивность атмосферных осадков и питание поверхностных водотоков и водоемов. Главные природные факторы, представлены на рисунке 1.

Разнообразие природных условий определяет неоднородность величины инфильтрационного питания, что указывает на необходимость комплексной оценки условий.

Вопросы оценки инфильтрационного питания подземных вод рассматривались также в работах



Рис. 1. Основные факторы формирования инфильтрационного питания (Гринеvский, 2010, с дополнениями автора)

Fig. 1. The main factors of the formation of infiltration nutrition (Grinevsky, 2010, with additions by the author)

Н.Н. Биндемана, И.К. Гавича, Г.Н. Каменского, Н.Н. Веригина, С.О. Гринеvского, П.А. Киселева, М.М. Крылова, А.В. Лебедева, В.А. Мироненко, И.С. Пашковского, С.М. Семенова, В.Г. Ткачука, В.М. Шестакова и др.

Методика проведения работ

Для определения инфильтрационного питания был выбран метод меженного стока, предложенный Н.С. Ратнером (1977). Измеренные меженные расходы в створах эпизодических наблюдений умножаются на поправочный коэффициент. Модуль стока M (л/с км²) — количество воды, стекающей с единицы площади водосбора в единицу времени, определяется по формуле:

$$M = Q \times 1000/F, \quad (1)$$

где Q — расход измеренный (м³/сек),

F — площадь водосбора (км²),

1000 — переводной коэффициент.

Годовой объем стока рассчитывается по формуле:

$$W_{\text{год}} = M \times F \times 31,54 \times 10^3, \quad (2)$$

где $W_{\text{год}}$ — годовой объем стока, выраженный в тыс. м³,

M — модуль подземного питания (л/с км²),

F — площадь водосбора (км²).

Для получения данных меженного стока была разработана система мониторинга поверхностных водотоков с учетом гидрологических условий, гидрогеологических особенностей, определяющих места разгрузки подземных вод в долинах рек, существующей и планируемой техногенной нагрузки, которые могут повлиять на качественные и количественные характеристики поверхностных вод в процессе строительства и эксплуатации проектируемого сооружения. Учитывая эти факторы, на исследуемой территории были проведены режимные гидрометрические наблюдения в 15 точках на постоянных водотоках (см. рис. 2).

Водосборные бассейны изученных водотоков расположены в пределах границ проектируемого предприятия, а также в непосредственной близости от них. Схема водосборных бассейнов представлена на рисунке 2.

Сток поверхностных вод в пределах изучаемой территории южной части Талицкого участка Верхнекамского месторождения солей (ВКМС) приурочен к бассейну реки Большая Уньва. Водоток образуется при слиянии рр. Царевой Уньвы и Устинковой Уньвы, ниже по течению принимает левые притоки — руч. Крутик (южная граница промплощадки) и р. Малая Уньва (в 7 км южнее

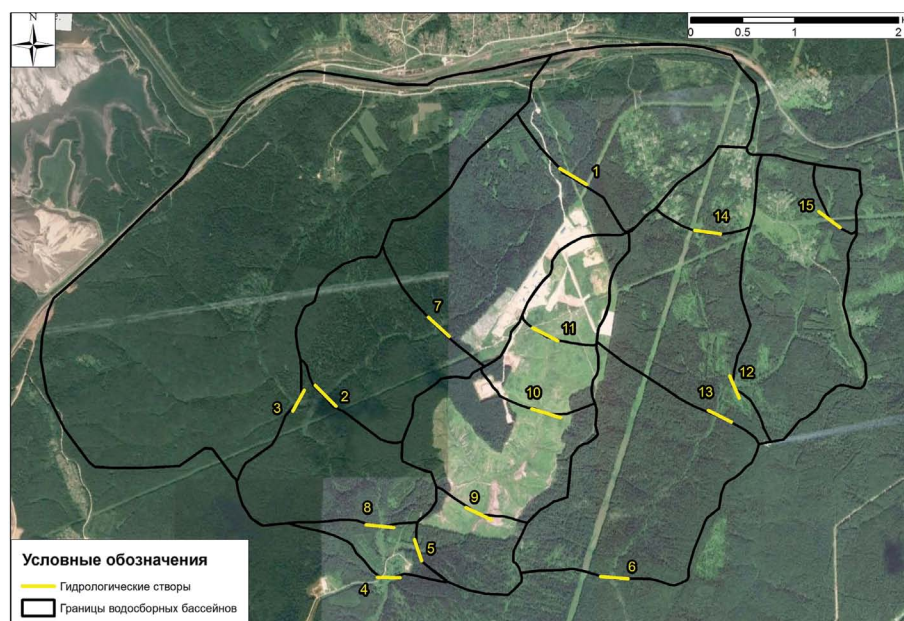


Рис. 2. Схема расположения гидрометрических створов и водосборных бассейнов в пределах территории исследования

Fig. 2. Layout of hydrometric lines and catchment basins within the study area

промплощадки). Все изученные водотоки формируются южнее железной дороги Березники–Яйва. Всего на исследуемых водотоках разбито 15 створов. Гидрометрические створы № 1, 7, 2 относятся к р. Царевна Уньва, № 3 — р. Устиновка Уньва, № 11, 10, 9, 5 — руч. Крутик, № 8, 4 — Большая Уньва, № 12, 13, 6 — р. Малая Уньва (рис. 2).

В соответствии с требованиями нормативных документов, где указывается необходимость проведения наблюдений в наименее благоприятные периоды (межень, паводки и др.), а также с учетом особенностей водного режима малых рек исследуемой территории, характеризующегося слабой изученностью (Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик, 1984; Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973), гидрометрические работы проводились ежемесячно (с июня 2017 по май 2018 г.), в период весеннего половодья — еженедельно (апрель — май 2018 г.). Всего на каждом промерном створе произведено 18 измерений расхода воды, которые включали в себя значения ширины и средней глубины водотоков, площадь живого сечения, среднюю скорость и расход воды по каждому створу.

Гидрометрические работы включали в себя выбор, разбивку, закрепление гидростворов; водомерные наблюдения (наблюдения за изменениями уровней воды); измерения скоростей течения и вычисление расходов воды;

измерения поверхностных скоростей и направлений течения поплавками; промеры глубин (с составлением профиля поперечного сечения дна). Измерения скоростей течения на скоростных вертикалях производились гидрометрической вертушкой ГР-21М основным способом. Измерения глубин, скоростей течения и вычисление расхода воды производились в соответствии с требованиями основного руководящего документа Росгидромета (Наставления гидрометеорологическим станциям, 1975, 1978).

Результаты годового цикла измерений расхода воды в р. Царева Уньва представлены на рисунке 3.

Ширина водотока в створе № 1 в течение года варьировала в пределах 0,65—2,00 м, средняя глубина — в пределах 0,04—0,22 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для февраля (11 л/с), максимальные — для конца апреля — начала мая (87—92 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 30,5 л/с.

Результаты наблюдений в створе № 7 показали, что ширина р. Царевой Уньвы в этом пункте в течение года составляет 0,85—2,15 м, средняя глубина — 0,14—0,47 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для февраля (14 л/с), максимальные — для конца апреля — начала мая (235—264 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 69,7 л/с.

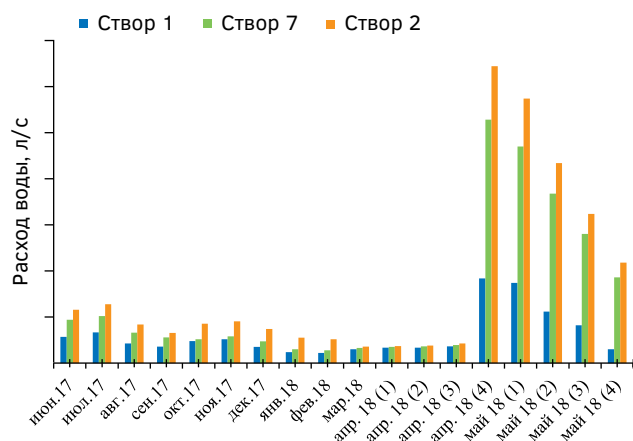


Рис. 3. Измеренные расходы воды р. Царева Уньва
Fig. 3. Measured water flow rates of the Tsareva Unva River



Рис. 4. Измеренные расходы воды р. Устинкова Уньва
Fig. 4. Measured water flow of the Ustynovka, Unva rivers

Ширина р. Царевой Уньвы в ее устье, у слияния с р. Устинковой Уньвой, в периоды наблюдений изменялась от 0,70 до 1,60 м при средней глубине в пределах 0,09—0,45 м. Расход воды варьировал от 18,1 л/с (март 2018 г.) до 322 л/с (последняя неделя апреля 2018 г.) при среднегодовом значении 86,1 л/с.

Результаты годового цикла измерений расхода воды в р. Устинкова Уньва представлены на рисунке 4.

Результаты наблюдений в створе № 3, разбитом вблизи устья р. Устинковой Уньвы, показали, что ширина водотока в этом пункте в течение года составляет 1,30—2,20 м, средняя глубина — 0,07—0,53 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений зафиксированы в начале апреля (26 л/с), максимальные — в конце апреля — начале мая (415—472 л/с). Среднегодовая величина расхода в этом створе составила 147,8 л/с.

Результаты наблюдений за стоком руч. Крутик, проводимых с июня 2017 по май 2018 г., представлены на рисунке 5.

Ширина водотока в створе № 11 в течение года варьировала в пределах 0,35—1,00 м, средняя глубина — в пределах от 0,03 до 0,18 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для марта (1,9 л/с), максимальные — для конца апреля (93 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 15,3 л/с.

Результаты наблюдений в створе № 10 показали, что ширина руч. Крутик в этом пункте в течение года составляет 0,47—1,10 м, средняя глубина — 0,03—0,22 м. Минимальный расход воды зафиксирован в первой половине апреля (6 л/с),

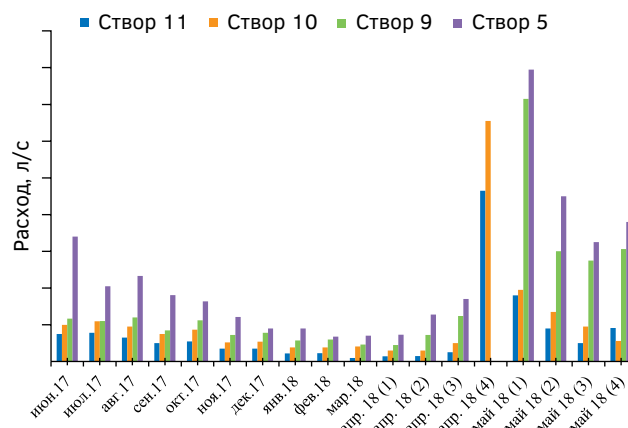


Рис. 5. Измеренные расходы воды руч. Крутик
Fig. 5. Measured water flow in the Krutik creek

максимальный — в конце апреля (131 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 21,5 л/с.

Ширина руч. Крутик в створе № 9 в течение года изменялась в пределах 0,60—1,55 м, средняя глубина — в пределах 0,07—0,28 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для начала апреля (9 л/с), максимальные — для конца апреля — начала мая (свыше 143 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 31,7 л/с.

Результаты наблюдений в створе № 5, разбитом вблизи устья руч. Крутик, показали, что ширина водотока в этом пункте в течение года составляет 0,40—1,10 м, средняя глубина — 0,13—0,46 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений зафиксированы в начале апреля (13,6 л/с), максимальные — в конце апреля — начале мая (свыше 159 л/с).

Среднегодовая величина расхода в этом створе составила 147,8 л/с.

Необходимо отметить, что для нижнего течения руч. Крутик в период весеннего половодья характерно наличие широкого разлива воды и выход из берегов. В течение периода наблюдений разлив руч. Крутик наблюдался в последнюю неделю апреля, в связи с чем гидрометрические наблюдения в этот период на створах № 9 и 5 провести не удалось.

Дополнительные гидрологические исследования в долине руч. Крутик были проведены 1 августа 2018 г. Произведены промеры русла и измерение скорости водного потока на створах № 11, 10, 9.

Результаты наблюдений в створе 11 следующие: ширина — 0,8 м, средняя глубина водотока — 0,06 м, расход — 5,3 л/с.

Гидрометрические наблюдения в створе 10 показали следующие результаты: ширина водотока — 1,1 м, средняя глубина — 0,08 м, расход воды составил 10,8 л/с.

Ширина руч. Крутик в створе № 9 составила 1 м, средняя глубина — 0,12 м. Расход воды в створе — 22 л/с.

Результаты наблюдений за стоком р. Большая Уньва, проводимых с июня 2017 по май 2018 г. в створах № 8 и 4, представлены на рисунке 6.

Результаты наблюдений в створе № 8 показали, что ширина р. Большая Уньва в этом пункте в течение года составляет 1,60—4,00 м, средняя глубина — 0,14—0,81 м. Минимальный расход воды зафиксирован в начале апреля (56 л/с), максимальный — в конце апреля (1117 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 310,6 л/с.

Гидрометрические наблюдения, проведенные на р. Большая Уньва в створе № 4, являющемся замыкающим для центральной и западной части территории исследования, зафиксировали следующие результаты. Ширина водотока в этом пункте изменяется в пределах 2,00—3,80 м, средняя глубина варьировала в пределах 0,14—0,73 м. Минимальный расход воды зафиксирован в марте (72 л/с), максимальный расход в конце апреля достигал 1652 л/с. Среднегодовая величина расхода составила 440 л/с.

Гидрометрические характеристики верховьев р. Малая Уньва изучались в створах № 14 и 15, на ручьях, при слиянии образующих реку М. Уньву. В указанных точках водотоки характеризуются низкими расходами. В створе № 15 сток зафиксирован только в период половодья (май 2018 г.), в створе № 14 р. М. Уньва полностью перемерзала в период с ноября 2017 по середину апреля 2018 г. Постоянный сток в течение года зафиксирован в створах № 12, 13, 6. Результаты наблюдений за стоком р. Малой Уньвы в этих точках представлены на рисунке 7.

Ширина водотока в створе № 12 в течение года варьировала в пределах 0,40—1,40 м, средняя глубина — в пределах 0,04—0,42 м. Минимальные значения расхода воды по данным измерений характерны для февраля (4,0 л/с), максимальные — для конца апреля (161 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 32,6 л/с.

Результаты наблюдений в створе № 13 показали, что ширина р. М. Уньвы в этом пункте в течение года составляет 0,50—35 м, средняя глубина — 0,06—0,45 м. Минимальный расход воды

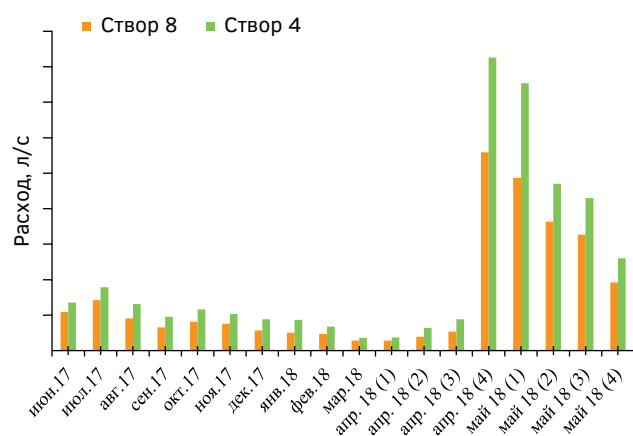


Рис. 6. Измеренные расходы воды р. Большая Уньва

Fig. 6. Measured water flow rates of the Bolshaya Unva river

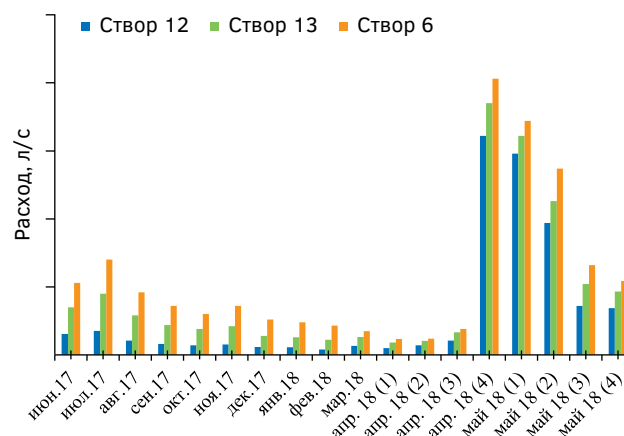


Рис. 7. Измеренные расходы воды р. Малая Уньва

Fig. 7. Measured water flow rates of the Malaya Unva river

зафиксирован в начале апреля (9 л/с), максимальный — в конце апреля (185 л/с). Среднегодовая величина расхода составила 45,3 л/с.

Гидрометрические наблюдения, проведенные на р. Малая Уньва в створе № 6, являющемся замыкающим для восточной части территории исследования, зафиксировали следующие результаты. Ширина водотока в этом пункте изменяется в пределах 0,60—1,60 м, средняя глубина варьировала в пределах 0,10—0,30 м. Минимальный расход воды зафиксирован в первой половине апреля (12 л/с), максимальный расход в конце апреля достигал 203 л/с. Среднегодовая величина расхода составила 57,5 л/с.

Сводная таблица среднегодовых расходов по водотокам представлена в таблице 1.

Расчет гидрологических характеристик исследуемых рек выполнен для естественных условий формирования стока. Расчеты выполнены методами расчетов для неизученных рек (Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик, 1984; Ресурсы поверхностных вод, СССР, 1973, СП 33-101-2003).

В качестве основного метода расчета нормы стока неизученных малых рек использовалась карта нормы стока, построенная по данным о стоке рек с водосборной площадью менее 30 000 км² (Ресурсы поверхностных вод, СССР, 1973, СП 33-101-2003).

Расчет нормы стока для выбранных створов осуществлялся по формуле (3.1):

$$\overline{Q}_{\text{ср}} = q \times A / 1000, \quad (3)$$

$\overline{Q}_{\text{ср}}$ — средний многолетний сток (норма годового стока), м³/с;

q — модуль годового стока, л/с км², определяемый по карте среднего годового стока рек;

A — площадь водосбора, км².

Расчетные значения нормы стока для поверхностных водотоков изучаемой площади приведены в таблице 2. По данным (Ресурсы поверхностных вод, СССР, 1973, СП 33-101-2003) ошибки определения нормы стока приведенным методом для исследуемой территории не превышают 10%.

Параметры кривых обеспеченности определены в соответствии с рекомендациями (Ресурсы поверхностных вод, СССР, 1973, СП 33-101-2003) при отсутствии надежных аналогов: значение коэффициента вариации годового стока определено по карте и составляет для исследуемой территории 0,25; $C_s = 2C_v$.

Далее по результатам гидрологического мониторинга был произведен расчет модуля подземного стока (л/сек/км²), который в последующем был пересчитан в величину инфильтрации (мм/год). Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Из рисунка 8 видно, что модуль подземного стока изменяется от 1,98 до 9,51 л/сек/км². Гидрометрический пост № 13 ввиду минимальной площади водосбора в последующем суммируется со створом № 15. Среднее значение по исследуемому участку составило 4,4 л/сек/км².

На рисунке 9 представлена диаграмма, из которой видно, что величина инфильтрационного питания исследуемой территории изменяется в диапазоне 62,50—299,43 мм/год. Минимальные

Таблица 1. Расчетные значения среднегодового расхода
Table 1. Calculated values of the average annual consumption

Наименование водотока	Номер гидрометрического створа	Среднегодовой расход (л/с)
Р. Царева Уньва	1	30,5
	7	69,7
	2	86,1
Р. Устиновка Уньва	3	147,8
руч. Крутик	11	15,3
	10	21,5
	9	31,7
	5	147,8
Р. Большая Уньва	8	310,7
	4	440,0
Р. Малая Уньва	12	32,6
	13	45,3
	6	57,5

Таблица 2. Расчетные значения нормы стока поверхностных водотоков
Table 2. Calculated values of the flow rate of surface watercourses

№ створа	Наименование створа	A, км ²	Q _{ср} , м ³ /с
1	р. Царева Уньва, верховье	2,69	0,026
2	р. Царева Уньва, устье	7,14	0,068
3	р. Устинкова Уньва, устье	9,26	0,088
4	р. Большая Уньва, южная граница	18,41	0,175
5	руч. Крутик, устье	3,77	0,036
6	р. Малая Уньва, южная граница	8,05	0,076
7	р. Царева Уньва, среднее течение	5,35	0,025
8	р. Большая Уньва, выше впадения руч. Крутик	18,04	0,171
9	руч. Крутик, среднее течение	3,06	0,029
10	руч. Крутик, верховья	1,34	0,013
11	руч. Крутик, верховья	0,68	0,006
12	р. Малая Уньва, верховья	2,52	0,024
13	р. Малая Уньва, верховья	5,17	0,049
14	р. Малая Уньва, верховья	0,57	0,005
15	р. Малая Уньва, верховья	0,21	0,002

Таблица 3. Расчет величины инфильтрационного питания по данным меженного стока бассейна речной сети
Table 3. Calculation of the value of the infiltration supply according to the data of the low-water runoff of the river network basin

Номер створа	Наименование гидрометрического створа	Расход воды, м ³ /сек	Расход воды, л/сек	Площадь водосбора, км ²	Модуль подземного стока, л/сек/км ²	Величина инфильтрации, мм/год
1с	р. Царева Уньва, верховье	0,014	14,00	2,69	5,20	163,94
2с	р. Царева Уньва, устье	0,027	27,00	7,14	3,78	119,12
3с	р. Устинкова Уньва, устье	0,044	44,00	9,26	4,75	149,68
4с	р. Большая Уньва, южная граница	0,175	175,00	18,41	9,51	299,43
5с	руч. Крутик, устье	0,017	17,00	3,77	4,51	142,04
6с	р. Малая Уньва, южная граница	0,024	24,00	8,05	2,98	93,91
7с	р. Царева Уньва, среднее течение	0,015	15,00	5,35	2,80	88,32
8с	р. Большая Уньва, выше впадения руч. Крутик	0,098	98,00	18,04	5,43	171,12
9с	руч. Крутик, среднее течение	0,012	12,00	3,06	3,92	123,53
10с	руч. Крутик, верховья	0,009	9,00	1,34	6,72	211,57
11с	руч. Крутик, верховья	0,005	5,00	0,68	7,35	231,62
12с	р. Малая Уньва, верховья	0,005	5,00	2,52	1,98	62,50
13с	р. Малая Уньва, верховья	0,012	12,00	5,17	2,32	73,11
14с	р. Малая Уньва, верховья	0,000	1,00	0,57	4,76	150,00

значения отмечены на створе № 11, наибольшая величина инфильтрации зафиксирована на створе № 3.

Карты модуля подземного стока (рис. 10) и величины инфильтрации (рис. 11) были созданы

автором на основе данных расходов в гидрометрических постах и расчетом модуля подземного стока при помощи специализированного программного обеспечения ArcGIS. Данные карты позволяют наглядно продемонстрировать,

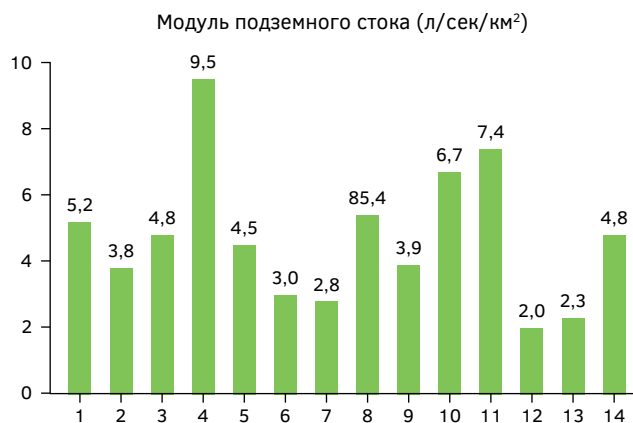


Рис. 8. Диаграмма распределения модуля подземного стока по гидрометрическим створам

Fig. 8. Diagram of the distribution of the underground flow module by hydrometric wells

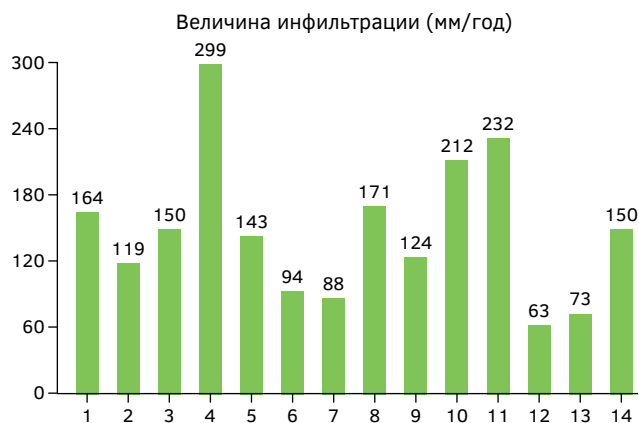


Рис. 9. Диаграмма распределения величины инфильтрации по гидрометрическим створам

Fig. 9. Diagram of the distribution of the infiltration value over hydrometric wells

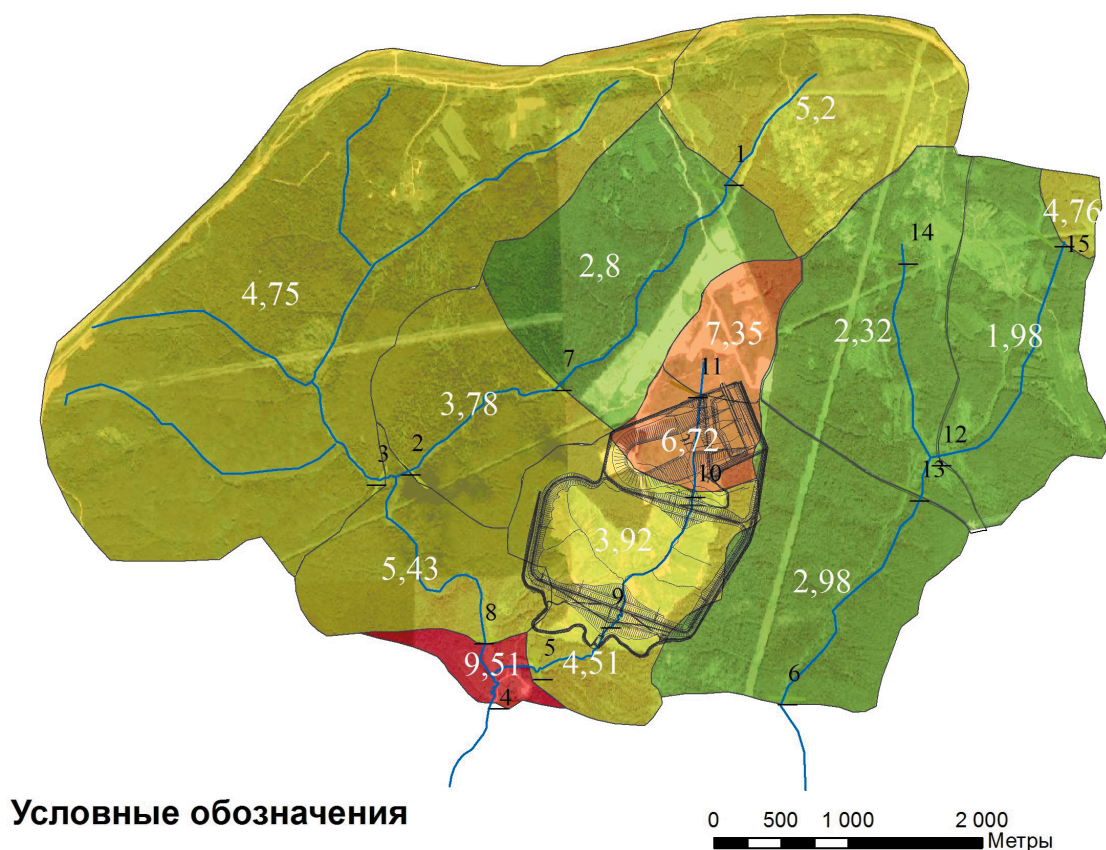


Рис. 10. Карта модуля подземного стока (Масштаб 1:45 000)

Fig. 10. Map of the underground flow module (1: 45 000)

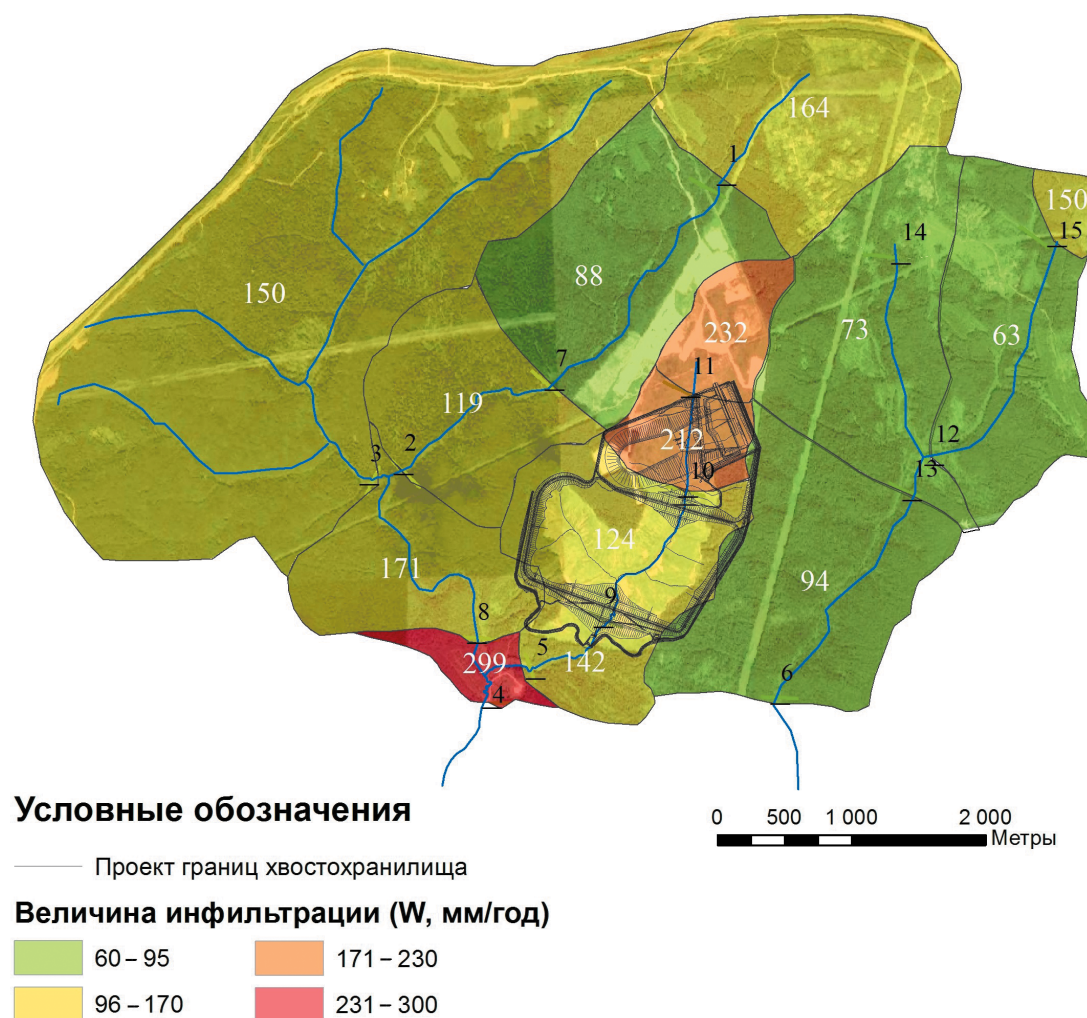


Рис. 11. Карта величины инфильтрации (1:45 000)
Fig. 11. Map of the infiltration rate (1:45 000)

как происходит формирование режима речной сети. С юга, где расположен створ № 4, отмечаются наибольшие значения. Также наибольшие значения отмечаются в районе расположенной территории ГОКа. Вероятнее всего это связано с трансформацией подземного стока ввиду освоения территории.

Выводы

Результаты гидрометрических работ отражают закономерности, характерные для стока малых рек исследуемого региона. Ведущую роль в питании поверхностных водотоков играют талые снеговые воды. Период весеннего половодья по данным наблюдений 2017—2018 гг. продолжался с последней декады апреля до начала третьей декады мая. При этом пиковые значения расхода воды в этот

период характерны для последней недели апреля — первой недели мая.

Наиболее интенсивное поступление дождевых вод, соответствующее периодам летних и осенних дождевых паводков, на реках исследуемой территории происходило в июле 2017 и в октябре — ноябре 2017 г. Эти закономерности характерны для рек Царевой Уньвы, Устинковой Уньвы, Большой Уньвы, Малой Уньвы. Результаты измерений расхода руч. Крутик несколько выбиваются из этого ряда — пик летнего паводка здесь приходится на июнь и август 2017 г. Некоторые отличия в годовом объеме распределения стока этого водотока, вероятно, определяются изменением характеристик водосборной площади, произошедшими вследствие вырубки лесов и подготовки территории к строительству объектов ГОКа.

Наибольшие значения модуля подземного стока (рис. 10) наблюдаются в створах южной части (створы № 4 и 8), где значения составляют 18,04 и 18,41 л/сек/км² соответственно. В северной и центральной частях их значения находятся в интервалах 5,2—9,51 л/сек/км². На флангах значение модуля подземного стока характеризуется средними и низкими показателями. Максимальное значение модуля подземного стока в западной части — 4,75, в восточной — 4,76 л/сек/км².

Значения величины инфильтрации (рис. 11) в южной, северной и центральной частях

отмечаются наибольшие в интервале 123,5—299,4 мм/год, а в западной части преобладают значения инфильтрации 88,3—149,7 мм/год. В восточной части значения величины инфильтрации самые низкие и составляют 62,5—150 мм/год.

Проведенные работы отражают закономерности, характерные для стока малых рек исследуемого региона. Некоторые отличия в годовом объеме распределения стока этого водотока, вероятно, определяются изменением характеристик водосборной площади, произошедшими вследствие вырубки лесов и подготовки территории к строительству объектов ГОКа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гринеvский С.О., Иванова Я.В., Сафонов А.О.* Оценка естественных ресурсов подземных вод на основе геогидрологического моделирования инфильтрационного питания. Известия вузов, Геология и разведка 2016. № 5. С. 45—52.
2. *Гринеvский С.О.* Оценка инфильтрационного питания и ресурсов подземных вод на основе гидрогеологических моделей: дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2012. 383 с.
3. *Зекцер И.С.* Подземный сток и ресурсы пресных подземных вод. Современное состояние и перспективы использования в России. М.: Научный мир, 2012. 372 с.
4. *Кудряшов А.И.* Верхнекамское месторождение солей. Пермь: ГИ УРО РАН, 2001.
5. *Лямин И.А.* Подходы к оценке инфильтрационного питания подземных вод // Геология в развивающемся мире: сб. научн. тр. (по материалам X Междунар. научн.-практ. конф. студ., асп. и молодых ученых): в 2 т. / отв. ред. Р.Р. Гильмутдинов; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2017. Т. 2. С. 214.
6. *Лямин И.А.* Оценка фильтрационных свойств и мощности слабопроницаемых отложений ложа хвосто- и шламохранилищ горнодобывающих предприятий // Использование и охрана природных ресурсов в России, 2019. № 3(159). С. 10.
7. Отчет о научно-исследовательской работе «Гидрологические и гидрогеологические исследования с выполнением математической геофильтрационной модели территории промышленной площадки Талицкого ГОКа». Пермь: ПГНИУ. 2018.
8. *Пашковский К.С.* Методы определения инфильтрационного питания по расчетам влагопереноса в зоне аэрации. М.: Изд-во МГУ, 1973. 118 с.
9. *Фетисова Н.Ф.* Оценка уязвимости подземных вод к загрязнению на территории Верхнекамского месторождения солей: дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Nehby, 2012.
10. *Shackelford C.D., Seivick G.W., Eykholt G.R.* Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners to tailings impoundment solutions // Geotextiles and Geomembranes. 2010. No. 28. P. 149—162.
11. *Genuchten M. Th. van.* A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1980. Vol. 44. P. 892—898.
12. *Grinevskii S.O., Pozdnyakov S.P.* Principles of regional estimation of infiltration groundwater recharge based on geohydrological models // Maik Nauka/Interperiodica Publishing. 2010. Vol. 37, No. 5. P. 543—557.
13. *Bear K., Cheng A. N.-D.* Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport, Springer Science+Business Media B.V. 2010. P. 68—69.
14. *Jones J.P., Sudicky E.A., McLaren R.G.* Application of a Fully-Integrated Surface-Subsurface Flow Model at the Watershed-Scale: A Case Study, Water Res. Research. 2008. Vol. 44. P. W03407. <https://doi.org/10.1029/2006WR005603>
15. *Wada Y.* Modeling Groundwater Depletion at Regional and Global Scales: Present State and Future Prospects. Surv Geophys. 2016. Vol. 37. P. 419—451. <https://doi.org/10.1007/s10712-015-9347-x>
16. *Fortuna J., Waterhouse J., Chapman, P., et al.* Applying Practical Hydrogeology to Tailings Storage Facility Design and Management. Mine Water Environ. 2021. No. 40. P. 50—62.

REFERENCES

1. Grinevsky S.O., Ivanova Ya.V., Safonov A.O. Assessment of natural groundwater resources based on geohydrological modeling of infiltration nutrition. Izvestiya VUZov, Geology and Exploration. 2016. No. 5. P. 45—52.
2. Grinevsky S.O. Assessment of infiltration nutrition and groundwater resources based on hydrogeological models: Diss. ... Dr. Geological and Mineralogical Sciences. Moscow, 2012. 383 p.
3. Zektser I.S. Underground runoff and fresh ground-

- water resources. The current state and prospects of use in Russia. Moscow: Scientific world, 2012. 372 p.
4. Kudryashov A.I. Verkhnekamskoye salt deposit. Perm: GI UrO RAS, 2001.
 5. Lyamin I.A. Approaches to the assessment of infiltration supply of groundwater // Geology in the developing world: collection of scientific tr. (based on the materials of the X International Scientific Journal. practical conf. of students, asp. and young scientists): in 2 vols. / ed. by R.R. Gilmudinov; Perm State National Research. Un-t. Perm, 2017. Vol. 2. P. 214.
 6. Lyamin I.A. Assessment of filtration properties and capacity of weakly permeable sediments of the bed of tailings and sludge storages of mining enterprises // Use and protection of natural resources in Russia. 2019. No. 3 (159). P. 10.
 7. Report on the research work "Hydrological and hydrogeological studies with the implementation of a mathematical geofiltration model of the territory of the Talitsky GOK industrial site". Perm: PGNIU, 2018.
 8. Pashkovsky K.S. Methods for determining infiltration nutrition by calculations of moisture transfer in the aeration zone. Moscow: Publishing House of Moscow State University, 1973. 118 p.
 9. Fetisova N.F. Assessment of the vulnerability of groundwater to pollution on the territory of the Verkhnekamsk salt deposit: PhD thesis. Nizhny, 2012.
 10. Shackelford C.D., Seville G.W., Eykholt G.R. Hydraulic conductivity of geosynthetic clay liners to tailings impoundment solutions // Geotextiles and Geomembranes. 2010. No. 28. P. 149—162.
 11. Genuchten M. Th. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils // Soil Sci. Soc. Amer. J. 1980. Vol. 44. P. 892—898.
 12. Grinevskii S.O., Pozdnyakov S.P. Principles of regional estimation of infiltration groundwater recharge based on geohydrological models // Maik Nauka/Interperiodica Publishing. 2010. Vol. 37, No. 5. P. 543—557.
 13. Bear K., Cheng A. N.-D. Modeling Groundwater Flow and Contaminant Transport, Springer Science+Business Media B.V. 2010. P. 68—69.
 14. Jones J.P., Sudicky E.A., McLaren R.G. Application of a Fully-Integrated Surface-Subsurface Flow Model at the Watershed-Scale: A Case Study, Water Res. Research. 2008. Vol. 44. P. W03407. <https://doi.org/10.1029/2006WR005603>
 15. Wada Y. Modeling Groundwater Depletion at Regional and Global Scales: Present State and Future Prospects. Surv Geophys. 2016. Vol. 37. P. 419—451. <https://doi.org/10.1007/s10712-015-9347-x>
 16. Fortuna J., Waterhouse J., Chapman, P., et al. Applying Practical Hydrogeology to Tailings Storage Facility Design and Management. Mine Water Environ. 2021. No. 40. P. 50—62.

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Лямин И.А. — под руководством доцента к.г.-м.н В.В. Фетисова выполнил полевые работы в составе бригады, выполнил обработку данных и составил графический материал, разработал концепцию статьи, подготовил текст статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Ilya A. Lyamin — under the guidance of Associate Professor V.V. Fetisov, performed field work as part of a team, performed data processing and compiled graphic material, developed the concept of the article, prepared the text of the article, finally approved the published version of the article and agreed to accept take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Лямин Илья Андреевич — ассистент кафедры динамической геологии и гидрогеологии геологического факультета ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет».

15, ул. Букирева, г. Пермь 614068, Россия

e-mail: lyaminilya@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3236-0118>

Ilya A. Lyamin — Assistant of the Department of Dynamic Geology and Hydrogeology of the Geological Faculty, Perm State National Research University.

15, Bukireva str., Perm 614068, Russia

e-mail: lyaminilya@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3236-0118>



ГИДРОГЕОЛОГИЯ АРТЕЗИАНСКИХ БАССЕЙНОВ ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ И ЯМАЛО-ГЫДАНСКОЙ МЕГАСЕДЛОВИНЫ

С.С. ВЛАСЕНКО

*Северо-Западный филиал ООО «Русская Буровая Компания»
12, корп. 2, лит. А, ул. Кораблестроителей, Санкт-Петербург 199226, Россия*

АННОТАЦИЯ

Введение. В гидрогеологическом отношении территория Баренцево-Карского шельфа изучена недостаточно подробно и данные о гидрогеологическом районировании основываются в основном на результатах исследований 1970-х гг., когда были предприняты попытки выделения артезианских бассейнов шельфа по комплексу гидрогеологических показателей нефтегазоносности. В настоящее время положение границ бассейнов может быть скорректировано на основании актуальных данных нефтегазогеологического районирования и гидрогеологического опробования скважин.

Цель. Проведение гидрогеологического районирования территории южной части Карского моря и севера Западно-Сибирской геосинеклизы, включающих нефтегазоперспективные структуры: Южно-Карскую синеклизу и Ямало-Гыданскую мегаседловину, а также химический анализ подземных вод водоносных комплексов юрско-мелового возраста, слагающих отложения осадочного чехла Западно-Сибирского осадочного бассейна.

Материалы и методы. В исследовании использовался главным образом картографический метод для анализа более ранних карт и схем гидрогеологического и нефтегазогеологического районирования российского сектора континентального склона Северного Ледовитого океана и для определения границ выделяемых артезианских бассейнов. Для химического анализа подземных вод использовались результаты гидрогеологического опробования скважин, пробуренных на Заполярном нефтегазоконденсатном месторождении.

Результаты. Определены границы двух артезианских бассейнов — Южно-Карского субмаринного и Ямало-Гыданского семимаринного, соответствующих одноименными нефтегазоперспективным структурам и обладающих одинаковым геологическим строением. Для обоих бассейнов характерно наличие основных водоносных комплексов мезозойского гидрогеологического этажа Западной Сибири. При изучении состава подземных вод Заполярного месторождения установлено, что с глубиной закономерно сменяются типы вод с увеличением содержания гидрокарбонат-иона вследствие возможной миграции флюидов, обогащенных углекислотой, из пород фундамента.

Закключение. Выделенные бассейны отличаются широким распространением нефтегазонасыщенных структур, детальной изученностью осадочного чехла. Для обоих артезианских бассейнов характерно распространение подземных вод единого состава и генезиса.

Ключевые слова: Баренцево-Карский шельф, гидрогеологическое районирование, артезианские бассейны, подземные воды, водоносные комплексы, нефтегазонасыщенные структуры

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Власенко С.С. Гидрогеология артезианских бассейнов южной части Карского моря и Ямало-Гыданской мегаседловины. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2022;64(2):92—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-92-99>

Статья поступила в редакцию 01.07.2022

Принята к публикации 05.09.2022

Опубликована 15.09.2022

HYDROGEOLOGY OF THE ARTESIAN BASINS OF THE SOUTHERN PART OF THE KARA SEA AND YAMAL-GYDANSK MEGASADDLE

SERGEY S. VLASENKO

*North-Western branch of "Russian Drilling Company"
12 bld. 2, lit. A, Korablestroiteley str., Saint-Petersburg 199226, Russia*

ABSTRACT

Background. In hydrogeological terms, the territory of the Barents-Kara shelf has not been studied in sufficient detail. The data on its hydrogeological zoning are based mainly on the results of research undertaken in the 1970s, when attempts were made to isolate artesian shelf basins according to a set of hydrogeological indicators of oil and gas content. Currently, the position of the basin boundaries can be adjusted using current data from oil and gas and geological zoning and the hydrogeological testing of wells.

Aim. To conduct the hydrogeological zoning of the territory of the southern part of the Kara Sea and the north of the West Siberian geosyncline, including oil and gas structures — the South Kara syncline and the Yamal-Gydan megasaddle, as well as to carry out a chemical analysis of groundwater of the Jurassic-Cretaceous aquifer complexes composing the sediments of the sedimentary cover of the West Siberian sedimentary basin.

Materials and methods. A cartographic method was used to analyze earlier maps and schemes of hydrogeological and oil and gas geological zoning of the Russian sector of the continental slope of the Arctic Ocean, and then to determine the boundaries of the identified artesian basins. For a chemical analysis of groundwater, the results of hydrogeological testing of wells drilled at the Zapolyarnoye oil and gas condensate field were used.

Results. The boundaries of two artesian basins — the South Kara submarine and the Yamal-Gydan semi-marine, corresponding to the same-name oil and gas prospective structures and having the same geological structure, were determined. Both basins are characterised by the presence of the main aquifer complexes of the Mesozoic hydrogeological floor of Western Siberia. When studying the composition of groundwater of the Zapolyarnoye deposit, it was found that the types of water change regularly with depth and an increase in the content of the hydrocarbonate ion due to the possible migration of fluids enriched with carbonic acid dioxide from the rocks of the foundation.

Conclusion. The determined basins are characterised by a wide distribution of oil and gas-bearing structures and the exploration maturity of the sedimentary cover. Both artesian basins are characterized by the distribution of groundwater of a unified composition and genesis.

Keywords: Barents-Kara shelf, hydrogeological division into districts, artesian basins, underground waters, water-bearing complexes, the oil and gas-bearing structures

Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

For citation: Vlasenko S.S. Hydrogeology of the artesian basins of the southern part of the Kara sea and Yamal-Gydansk megasaddle. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2022;64(2):92—99. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2022-64-2-92-99>

Manuscript received 01 July 2022

Accepted 5 September 2022

Published 15 September 2022

В связи с интенсивным промышленным освоением месторождений нефти и газа основное внимание сегодня уделяется изучению территории российской Арктики, в состав которой входят высокоперспективные и перспективные на наличие углеводородов осадочные бассейны, расположенные в пределах континентальной окраины и шельфа. Формирование осадочного бассейна происходит в определенном геодинамическом режиме, где важную роль играют прежде всего тектонические процессы, определяющие форму и строение залежей нефти и газа [15]. Режимы нефтегазообразования различаются в бассейнах, расположенных в пределах материков, океанов и переходных зон [18].

Особый промышленный интерес представляют месторождения нефти и газа, расположенные в западной части российской Арктики — на шельфе Баренцева и Карского морей. Стоит подчеркнуть, что последние гидрогеологические обобщения исследований Баренцево-Карского шельфа проводились лишь в 1970-е годы. Тем не менее для всесторонней оценки локализации и геологического развития нефтегазоносных структур на шельфе необходим учет гидрогеологических особенностей исследуемых структур. В настоящее время роль гидрогеологических исследований важна также при решении задач по защите окружающей среды, а именно учета геоэкологических опасностей и выделения зон со сложной геоэкологической обстановкой в том числе в пределах нефтегазоперспективных объектов [21].

Результаты

Гидрогеологическое районирование. На начальном этапе исследований было произведено выделение Баренцево-Карской шельфовой гидрогеологической области (ШГО), разделенной на западную часть, включающую шельфовые артезианские бассейны Восточно-Баренцевского мегапрогиба [3], и восточную часть, включающую Южно-Карский шельфовый субмаринный артезианский бассейн с прилегающим Ямало-Гыданским семимаринным артезианским бассейном, частично расположенным на шельфе Карского моря [4]. Выделение артезианских бассейнов в восточной части Баренцево-Карской ШГО произведено также с учетом нефтегазогеологического районирования бассейнов континентального склона Северного Ледовитого океана и границы артезианских бассейнов южной части Карского моря, которые соответствуют границам крупных нефтегазоперспективных структур [6, 16].

Указанные бассейны расположены в южной части Карского моря и в северной части Западной Сибири на территории Ямальского и Гыданского полуостровов (рис.).

Южно-Карский артезианский бассейн соответствует Южно-Карской синеклизе, включающей Западно-Карскую структурную зону, Русановско-Скуратовскую зону поднятий, в пределах которой открыты два уникальных газоконденсатных месторождения — Русановское и Ленинградское, а также Восточно-Карскую структурную зону. Бассейн является субмаринным как погруженная в Карское море часть Западно-Сибирской геосинеклизы. Южно-Карская синеклиза представлена в основном месторождениями газа и газоконденсата, связанными с апт-альб-сеноманским комплексом пород [6].

Ямало-Гыданский артезианский бассейн соответствует северной части Западно-Сибирской низменности — Ямало-Гыданской мегаседловине, включающей Северо-Ямальскую зону поднятий и Северо-Гыданскую региональную ступень. Бассейн является семимаринным, поскольку частично расположен на суше и характеризуется инфильтрационным режимом для верхних водоносных горизонтов. Северная часть Западно-Сибирской низменности перспективна преимущественно в отношении залежей нефти.

Гидрогеохимическая характеристика водоносных комплексов южной части Карского моря.

Установлено единство геологического строения и стратиграфической приуроченности мезозойско-кайнозойских отложений Южно-Карской синеклизы и Ямало-Гыданской мегаседловины как краевой (погружающейся) части Западно-Сибирской геосинеклизы [5, 6, 16]. Дно южной части Карского моря характеризуется непосредственным продолжением нефтегазоносных структур суши на шельф. Отложения мезозойско-кайнозойского осадочного чехла севера Западной Сибири и южной части Карского моря, залегающие на палеозойском основании, разделены на осадочные сейсмогеологические мегакомплексы [7]. В этом отношении справедлива закономерная гидрогеохимическая зональность в рассматриваемых структурах на основании времени взаимодействия подземных вод с вмещающими породами [11].

Наиболее общий гидрогеологический разрез ряда месторождений Западной Сибири представлен шестью водоносными комплексами: олигоцен-четвертичным, турон-олигоценным, апт-альб-сеноманским, неокомским, юрским и триас-палеозойским [9].

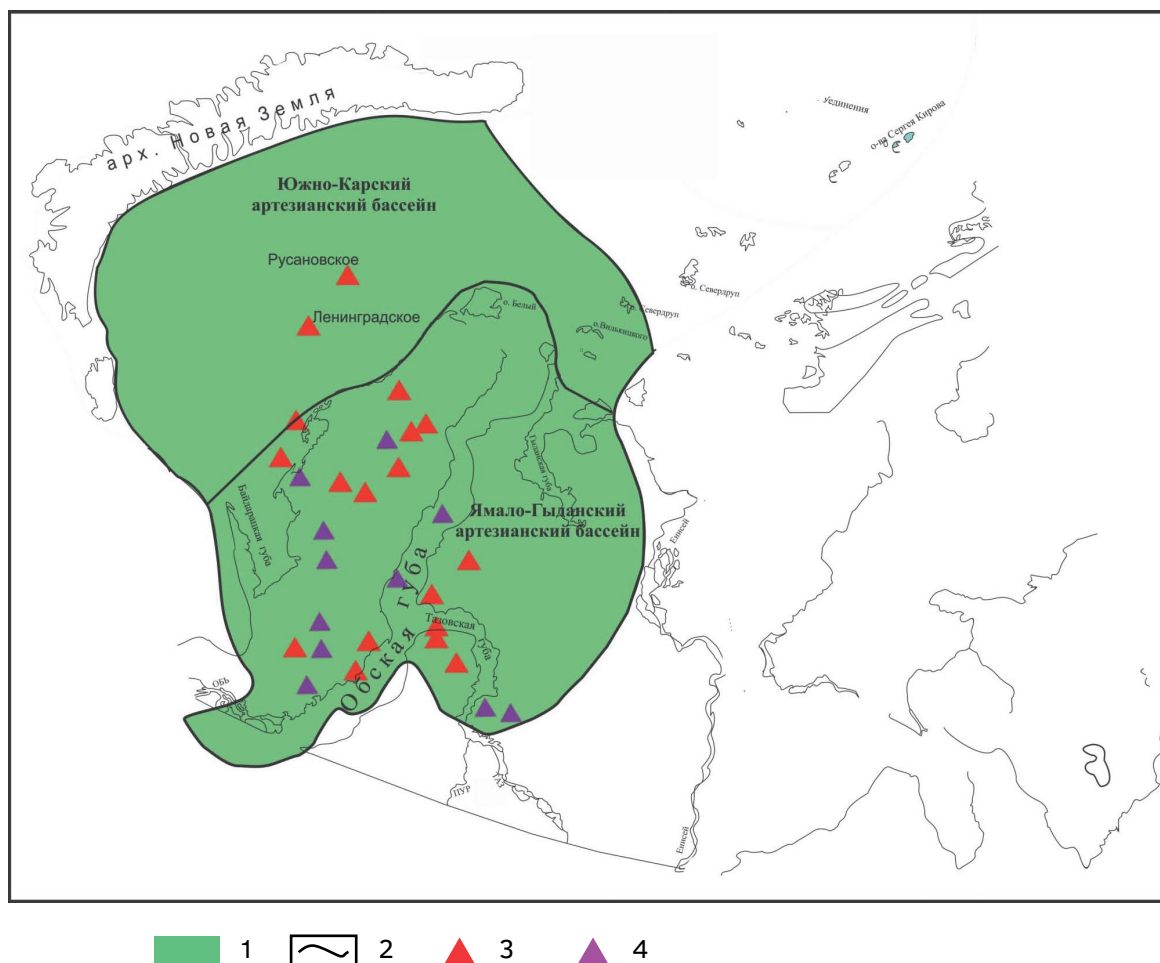


Рис. Артезианские бассейны южной части Карского моря.

Цифрами на карте обозначены: 1 — площади артезианских бассейнов, 2 — границы геологических структур, 3 — крупные и уникальные месторождения газа, 4 — крупные и уникальные месторождения нефти, газа и конденсата

Fig. Artesian basins of the southern part of the Kara sea.

The numbers on the map are indicated by: 1 — the areas of artesian basins, 2 — the boundaries of geological structures, 3 — large and unique gas fields, 4 — large and unique oil, gas and condensate fields

Одним из главных факторов гидрогеологических исследований при решении задач нефтегазопромысловой геологии является применение различных гидрогеологических показателей продуктивности недр, что связано с важным значением водных растворов в процессах нефтегазообразования и нефтегазонакопления. Данная методика в последние годы приобретает международный формат и способствует решению широкого круга проблем: оценки продуктивности недр из залежей сланцевых пород [17, 19, 20], определению зоны контакта продуктивных пластов [12], учету долевого участия конденсационных вод в смесях маломинерализованных технических и пластовых вод [1].

В качестве объекта исследования выбраны водоносные комплексы Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения (НГМ), расположенного в пределах Пур-Тазовской нефтегазоносной области (НГО), структурно примыкающей к Ямало-Гыданской мегаседловине.

Гидрогеологическая изученность определялась по отбору проб воды из 18 скважин Заполярного НГМ, вскрывших следующие комплексы нижнего гидрогеологического этажа: **туронский, сеноманский, неокомский, верхнеюрский, ниже-среднеюрский**. Верхний гидрогеологический этаж включает отложения **олигоцен-четвертичного** возраста и пробами не был представлен.

Результаты гидрогеохимических исследований отражены в таблице гидрогеохимической характеристики водоносных комплексов Заполярного месторождения (табл.). В пределах исследуемых водоносных комплексов преобладающим генетическим типом по классификации В.А. Сулина является хлоридно-кальциевый тип.

Вниз по разрезу происходит смена генетических типов подземных вод по классификации В.А. Сулина с хлоридно-кальциевого на гидрокарбонатно-натриевый. Одним из факторов наличия гидрокарбоната натрия в водах верхнеюрских отложений может быть результат миграции

обогащенных углекислотой подземных вод из пород доюрского фундамента, формирующих разломно-блоковый характер строения неокомских и верхнеюрских продуктивных отложений Западной Сибири, что нашло отражение в исследованиях подземных вод Усть-Тегусского и Урненского месторождений из южных нефтегазоносных районов Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции (НГП) [8, 14].

Заключение

По результатам исследований выделены гидрогеологические структуры нового типа — Южно-

Таблица. Гидрогеохимическая характеристика водоносных комплексов Заполярного нефтегазоконденсатного месторождения

Table. Hydrogeochemical characteristics of water-bearing complexes of the Zapolyarnoe oil and gas condensate field

Показатели	Ед. измерения	Водоносные комплексы				
		Турон-олигоценый	Апт-альб-сеноманский	Неокомский	Верхне-юрский	Нижне-средне-юрский
HCO_3^-	мг/дм ³	24,0	201,3—268,0 (234,6)	16,0—1244,0 (594,8)	146,0	61,0
CO_3^-		84,0	н/об	12,0—108,0 (11,1)	-	-
SO_4^{2-}		н/об	5,0—52,0 (28,5)	1,6—683,0 (71,5)	3,0	-
Cl^-		4397,0	7092,0—10283,4 (8687,7)	186,0—5502,9 (1151,7)	6,0	20,0
Br^-		5,9	27,0	0,5—11,8 (4,7)	-	-
I^-		4,2	12,7—15,4 (14,1)	0,4—10,4 (2,5)	-	-
Na^+		2730,0	4300,0—6373,8 (5336,9)	281,0—3195,4 (866,2)	25,0	10,0
K^+			0,8—1 (0,9)	1,0—35,0 (7,8)	6,0	1,0
Ca^{2+}			216,0—240,0 (228,0)	2,0—419,0 (115,4)	24,0	14,0
Mg^{2+}		6	66,8—68,0 (67,4)	1,0—12,9 (5,2)	6,0	7,0
NH_4^+		18,00	15,0—20,0 (17,5)	0,2—16,5 (3,1)	13,6	0,3
B^-		3,9	6,2	2,1—19,8 (8,8)	2,3	0,8
Общая минерализация	г/дм ³	7,4	12,1—17,1 (14,6)	0,9—9,2 (2,8)	0,2	0,1
Нафеновые кислоты	-	0,7	0,7	0,1—0,8 (0,5)	1,4	0,2
Газосодержание	л/л	1,3	0,3	1,88	2,1	0
rNa/rCl	-	0,96	0,94—0,96 (0,95)	0,81—503,77 (31,31)	6,41	0,77
Cl/Br	-	-	262,27	4,90—528,30 (194,71)	-	-
Ca/Cl	-	0,04	0,02—0,03 (0,03)	0,01—0,22 (0,09)	4,00	0,70
B/Br	-	-	0,2	0,22—21,15 (3,46)	-	-
Тип вод по В.А. Сулину	-	Хлоридно-кальциевый		Хлоридно-кальциевый в 2 верхних пластах и сульфатно-натриевый — в остальных	Гидрокарбонатно-натриевый	Хлоридно-кальциевый

Карский шельфовый субмаринный и Ямало-Гыданский семимаринный артезианские бассейны, отличающиеся от ранее выделенных в работах Я.В. Неизвестнова [10] широким распространением нефтегазоносных структур и более детальной изученностью гидрогеологического разреза. Установлено закономерное распространение подземных вод общего состава и генезиса в рассматриваемых бассейнах, поскольку геологическое строение Южно-Карского бассейна аналогично строению Ямало-Гыданского. Общей характеристикой большинства месторождений Западно-Сибирской НГП

является единая стратификация водоносных комплексов нижнего (мезозойского) гидрогеологического этажа, в которой происходит смена генетических типов с хлоридно-кальциевого на гидрокарбонатно-натриевый при переходе от меловых отложений к юрским с увеличением содержания гидрокарбонат-иона [13]. Особенности данной гидрогеохимической зональности были представлены на примере гидрогеологического разреза Заполярного НГМ и используются в настоящее время как критерий регионального прогноза нефтегазоносности [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Абукова Л.А., Абрамова О.П. и др. Гидрогеохимический мониторинг разработки месторождений углеводородов // Георесурсы, Геоэнергетика, Геополитика. 2015. № 2(12). С. 2—3.
2. Бешенцев В.А., Сальникова Ю.И. и др. Гидрогеохимические условия нефтегазовых областей Ямало-Ненецкого нефтегазодобывающего региона (часть 2) // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2019. № 6. С. 19—30. DOI: 10.31660/0445-0108-2019-6-19-30
3. Власенко С.С., Сударииков С.М. Гидрогеологическое районирование нефтегазоперспективных структур Восточно-Баренцевского мегапрогиба // Геология, география и глобальная энергия. 2022. № 1. С. 64—73. DOI: 10.54398/2077-6322_2022_1_64
4. Власенко С.С., Сударииков С.М. Гидрогеологические структуры и нефтегазоносность южной части Карского моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. № 7. С. 38—43. DOI: 10.24411/2687-1092-2020-10705
5. Власенко С.С., Сударииков С.М. Особенности гидрогеохимии подземных вод Пур-Тазовской нефтегазоносной области на примере нефтегазоконденсатного месторождения «Заполярное» // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2021. № 8. С. 44—51. DOI: 10.24412/2687-1092-2021-8-44-51
6. Конторович В.А., Конторович А.Э. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности шельфа Карского моря // Доклады Академии наук. 2019. Т. 489. № 3. С. 272—276. DOI: 10.31857/S0869-56524893272-276
7. Конторович В.А. Нефтегазоносность Карского моря // Деловой журнал Neftgaz. RU. 2018. № 11. С. 34—43.
8. Курчиков А.Р., Плавник А.Г. и др. Геодинамические и гидродинамические условия Урненского и Усть-Тегусского нефтяных месторождений // Геодинамика и тектонофизика. 2019. Т. 10. № 4. С. 1011—1027. DOI: 10.5800/GT-2019-10-4-0455
9. Матусевич В.М., Рыльков А.В. Геолого-геохимические условия нефтегазообразования и формирование нефтегазоносности осадочных бассейнов // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2014. № 1. С. 28—36.
10. Неизвестнов Я.В., Бро Е.Г. и др. Типизация морских артезианских бассейнов Арктики по комплексу гидрогеологических показателей нефтегазоносности. Ленинград: Северное морское научно-производственное геолого-геофизическое объединение «СЕВМОРГЕО», Научно-исследовательский институт геологии Арктики, 1977. Том I. 258 с.
11. Новиков Д.А. Основные черты гидрогеохимии Арктики // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. 2015. Т. 2. № 1. С. 125—129.
12. Садыкова Я.В., Фомин М.А. и др. Прогноз нефтегазоносности юрских и палеозойских отложений южных районов Западно-Сибирского бассейна // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 9. С. 114—127. DOI: 10.18799/24131830/2019/9/2260
13. Сальникова Ю.И., Бешенцев В.А. Природные условия и результаты подсчета запасов подземных вод для обеспечения системы ППД на Западно-Мессояхском и Восточно-Мессояхском НГМ // Горные Ведомости. 2016. Т. 7. № 146. С. 32—41.
14. Севастьянов А.А., Коровин К.В. и др. Особенности строения и оценка потенциала ачимовских отложений на территории ХМАО-Югры // Успехи современного естествознания. 2016. № 8. С. 195—199.
15. Севастьянова Р.Ф., Ситников В.С. Развитие представлений о строении и нефтегазоносности территории Непско-Ботубинской антеклизы и прилегающей части Предпатомского прогиба // Записки Горного института. 2018. Т. 234. С. 599—603. DOI: 10.31897/PMI.2018.6.599
16. Супруненко О.И., Устрицкий В.И. и др. Геолого-геофизическое районирование севера Баренцево-Карского шельфа по данным сейсморазведки // Геология нефти и газа. 2009. № 4. С. 17—25.

17. Barry P.H., Kulongoski J.T., et al. Tracing enhanced oil recovery signatures in casing gases from the Lost Hills oil field using noble gases // *Earth and Planetary Science Letters*. 2018. Vol. 496. P. 57—67.
18. Litvinenko V.S., Kozlov A.V., et al. Hydrocarbon potential of the Ural–African transcontinental oil and gas belt // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2017. Vol. 7(1). P. 1—9. DOI: 10.1007/s13202-016-0248-4
19. Liu K., Ostadhasan M., et al. Nanoscale pore structure characterization of the Bakken shale in the USA // *Fuel*. 2017. Vol. 209. P. 567—578. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.08.034
20. Lu S., Li J., et al. Classification of microscopic pore-throats and the grading evaluation on shale oil reservoirs // *Petroleum Exploration and Development*. 2018. Vol. 45. Iss. 3. P. 452—460.
21. Vlasenko S.S., Sudarikov S.M. Ecological and hydrogeological state of oil and gas bearing areas of the Barents and Kara seas shelf // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2021. Vol. 19, Iss. 3. P. 589—595. DOI: https://cjes.guilan.ac.ir/article_4954.html

REFERENCES

1. Abukova L.A., Abramova O.P., et al. Gidrogeohimicheskiy monitoring razrabotki mestorozhdeniy uglevodorodov [Hydrogeochemical monitoring of the development of hydrocarbon deposits]. *Georesursy, Geoenergetika, Geopolitika* [Geo-resources, Geo-energy, Geopolitics]. 2015. No. 2(12). P. 2—3 (In Russian).
2. Beshentsev V.A., Salnikova Yu.I., et al. Gidrogeohimicheskie usloviya neftegazovykh oblastei Yamalo-Nenetskogo neftegazodobyvayushchego regiona (chast 2) [Hydrogeochemical conditions of oil and gas regions of the Yamalo-Nenets oil and gas producing region (part 2)]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft i gaz*. [Oil and gas Studies]. 2019. No. 6. P. 19—30 (In Russian) DOI: 10.31660/0445-0108-2019-6-19-30
3. Vlasenko S.S., Sudarikov S.M. Gidrogeologicheskoe rayonirovanie neftegazoperspektivnykh struktur Vostochno-Barentsevskogo megaprogiba [Hydrogeological zoning of oil and gas prospective structures of the East Barents megatrough]. *Geologiya, Geografiya i Global'naya energiya*. [Geology, Geography and Global Energy]. 2022. No. 1. P. 64—73 (In Russian). DOI: 10.54398/2077-6322_2022_1_64
4. Vlasenko S.S., Sudarikov S.M. Gidrogeologicheskie struktury i neftegazonosnost' yuzhnoi chasti Karskogo mor'ya [Hydrogeological structures and oil and gas potential of the southern part of the Kara Sea]. *Relief i chetvertichnye obrazovaniya Arktiki, Subarktika i Severo-Zapada Rossii* [Relief and quaternary formations of the Arctic, Subarctic and North-West of Russia]. 2020. Iss. 7. P. 38—43 (In Russian). DOI: 10.24411/2687-1092-2020-10705.
5. Vlasenko S.S., Sudarikov S.M. Osobennosti gidrogeohimii podzemnykh vod Pur-Tazovskoi neftegazonoi oblasti na primere neftegazokondensatnogo mestorozhdeniya "Zapolyarnoe" [Features of hydrogeochemistry of underground waters of the Pur-Taz oil and gas bearing region on the example of the Zapolyarnoe oil and gas condensate field]. *Relief i chetvertichnye obrazovaniya Arktiki, Subarktika i Severo-Zapada Rossii* [Relief and quaternary formations of the Arctic, Subarctic and North-West of Russia]. 2021. Iss. 8. P. 44—51 (In Russian). DOI: 10.24412/2687-1092-2021-8-44-51
6. Kontorovich V.A., Kontorovich A.E. Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti shel'fa Karskogo mor'ya [Geological structure and prospects of oil and gas potential of the Kara Sea shelf]. *Doklady Akademii nauk* [Reports of the Academy of Sciences]. 2019. Vol. 489. No. 3. P. 272—276 (In Russian). DOI: 10.31857/S0869-56524893272-276
7. Kontorovich V.A. Neftegazonosnost' Karskogo mor'ya [Oil and gas potential of the Kara Sea]. *Delovoy zhurnal Neftegaz. RU* [Business magazine "Neftegaz.RU"]. 2018. No. 11. P. 34—43 (In Russian).
8. Kurchikov A.R., Plavnik A.G., et al. Geodinamicheskie i gidrodinamicheskie usloviya Urnenskogo i Ust'-Tegusskogo neftyanykh mestorozhdeniy [Geodynamic and hydrodynamic conditions of Urnensky and Ust-Tegus oil fields]. *Geodynamika i tectonofizika* [Geodynamics and tectonophysics]. 2019. Vol. 10. No. 4. P. 1011—1027 (In Russian). DOI: 10.5800/GT-2019-10-4-0455
9. Matusevich V.M., Rylkov A.V. Geologo-geohimicheskie usloviya neftegazoobrazovaniya i formirovaniya neftegazonosnosti osadochnykh basseynov [Geological and geochemical conditions of oil and gas formation and formation of oil and gas content of sedimentary basins]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Neft' i gaz* [Oil and gas Studies]. 2014. No. 1, P. 28—36 (In Russian).
10. Neizvestnov Ya.V., Bro E.G., et al. Tipizatsiya morskikh artezijskikh basseynov Arktiki po kompleksu gidrogeologicheskikh pokazateley neftegazonosnosti [Typing marine artesian basins of the Arctic hydrogeological indicators of oil and gas]. Leningrad: the North sea scientific-production geophysical Union "SEVMORGEO", Scientific research Institute of Arctic Geology, 1977. Vol. 1. 258 p. (In Russian).
11. Novikov D.A. Osnovnye cherty gidrogeohimii Arktiki [The main features of hydrogeochemistry of the Arctic]. *Interexpo GEO-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia]. 2015. Vol. 2. No. 1. P. 125—129 (In Russian).
12. Sadykova Ya.V., Fomin M.A., et al. Prognoz neftegazonosnosti yurskikh i paleozoiskikh otlozheniy yuzhnykh rayonov Zapadno-Sibirskogo basseina [Forecast of oil and gas potential of Jurassic and paleozoic deposits of the southern regions of the West Siberian basin]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering].

2019. Vol. 330. No. 9. P. 114—127 (In Russian). DOI: 10.18799/24131830/2019/9/2260
13. Salnikova Yu.I., Beshentsev V.A. Prirodnye usloviya i rezultaty podscheta zapasov podzemnykh vod dl'ya obespecheniya sistemy PPD na Zapadno-Messoyakhskom i Vostochno-Messoyakhskom NGM [Natural conditions and results of the calculation of groundwater reserves for the provision of the PPD system at the Zapadno-Messoyakhsky and Vostochno-Messoyakhsky NGM]. *Gornye Vedomosti* [Mining Statements]. 2016. Vol. 7. No. 146. P. 32—41 (In Russian).
 14. Sevastyanov A.A., Korovin K.V., et al. Osobennosti stroeniya i ocenka potentsiala achimovskikh otlozheniy na territorii KhMAO-Yugry [Features of the structure and assessment of the potential of achimov deposits on the territory of KhMAO-Yugra]. *Uspekhi sovremen-nogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences]. 2016. No. 8. P. 195—199 (In Russian).
 15. Sevostyanova R.F., Sitnikov V.S. Razvitie predstavleniy o stroenii i neftegazonosnosti territorii Nepsko-Botuobinskoi anteklizy i prilgayushei chasti Predpatomskogo progiba [The development of ideas about the structure and oil and gas potential of the territory of the Nepsko-Botuobinskaya anticline and the adjacent part of the Predpatomsky trough]. *Zapiski Gornogo Instituta* [Journal of Mining Institute]. 2018. Vol. 234. P. 599—603 (In Russian). DOI: 10.31897/PMI.2018.6.599
 16. Suprunenko O.I., Ustritsky V.I., et al. Geologo-geofizicheskoe rayonirovanie severa Barentsevo-Karskogo shel'fa po dannym seysmorazvedki [Geologic-geophysical zoning of northern Barents-Cara shelf by seismic prospecting data]. *Geologiya nefti i gaza* [Oil and gas geology]. 2009. No. 4. P. 17—25.
 17. Barry P.H., Kulongoski J.T., et al. Tracing enhanced oil recovery signatures in casing gases from the Lost Hills oil field using noble gases // *Earth and Planetary Science Letters*. 2018. Vol. 496. P. 57—67.
 18. Litvinenko V.S., Kozlov A.V., et al. Hydrocarbon potential of the Ural-African transcontinental oil and gas belt // *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*. 2017. Vol. 7(1). P. 1—9. DOI: 10.1007/s13202-016-0248-4
 19. Liu K., Ostadhassan M., et al. Nanoscale pore structure characterization of the Bakken shale in the USA // *Fuel*. 2017. Vol. 209. P. 567—578. DOI: 10.1016/j.fuel.2017.08.034
 20. Lu S., Li J., et al. Classification of microscopic pore-throats and the grading evaluation on shale oil reservoirs // *Petroleum Exploration and Development*. 2018. Vol. 45. Iss. 3. P. 452—460.
 21. Vlasenko S.S., Sudarikov S.M. Ecological and hydrogeological state of oil and gas bearing areas of the Barents and Kara seas shelf // *Caspian Journal of Environmental Sciences*. 2021. Vol. 19, Iss. 3. P. 589—595. DOI: https://cjes.guilan.ac.ir/article_4954.html

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Власенко С.С. — выбрал объект исследований и разработал концепцию научной публикации, выделил артезианские бассейны на основании актуальных данных о нефтегазгеологическом районировании, выявил закономерную сменяемость генетических типов и свойств подземных вод для выделенных гидрогеологических структур, сформировал основные выводы и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Sergey S. Vlasenko — chose an object of research and developed the concept of a scientific publication, identified artesian basins on the basis of up-to-date data on oil and gas geological zoning, revealed the natural variability of genetic types and properties of groundwater for the selected hydrogeological structures, formed the main conclusions and agreed to take responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Власенко Сергей Сергеевич — геолог 2-й категории Северо-Западного филиала ООО «Русская Бу-
ровая Компания».

12 корп. 2, лит. А, Кораблестроителей ул., г. Санкт-Петербург 199126, Россия

e-mail: serzh.vlasenko.1995@yandex.ru

тел.: +7 (981) 687-99-50

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8457-2812>

Sergey S. Vlasenko — Geologist of the 2-nd category of the North-Western branch of “Russian Drilling Company”.

12 bld. 2, lit. A, Korablestroiteley str., Saint-Petersburg 199126, Russia

e-mail: serzh.vlasenko.1995@yandex.ru

tel.: +7 (981) 687-99-50

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8457-2812>



ПАВЕЛ ПАВЛОВИЧ ЯСКОВСКИЙ

(05.04.1946—20.07.2021)

Год назад, 20 июля 2021 г., после тяжелой болезни скончался Павел Павлович Ясковский, геолог, доктор, профессор МГРИ, преподаватель кафедры методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых.

Павел Павлович родился в 1946 году. В 1964 году поступил в МГРИ на геолого-разведочный факультет, окончив его с отличием в 1969 году по специальности «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых». С 1969 года П.П. Ясковский работал на кафедре методики поисков и разведки месторождений полезных ископаемых. Стаж его научно-педагогической работы в МГРИ — 50 лет, посвященных науке и обучению студентов.

В 1975 году он защитил кандидатскую диссертацию. В 1991 году защитил докторскую диссертацию на тему «Количественные оценки сложности строения рудных залежей».

Павел Павлович вел научное направление, связанное с оптимизацией разведочной сети и оценкой минерально-сырьевой базы. В 1976—1980 гг. являлся экспертом отдела металлов ГКЗ СССР, по представлению которой принимал участие в экспертизах по подсчету запасов крупнейших месторождений СССР (Никитовское, Трудовое, Балейское, Нежданинское). В качестве ответственного исполнителя и руководителя научно-исследовательских работ занимался оптимизацией разведочных работ на урановых месторождениях Забайкалья, Якутии, Северного Казахстана и Средней Азии.

Павел Павлович вел лекционные и спецкурсы по разведке и оценке месторождений. Проводил практические работы, руководил курсовым проектированием для студентов дневной, вечерней и заочной форм обучения, принимал участие в подготовке научных кадров. Являлся официальным оппонентом ряда диссертационных работ, неоднократно давал отзывы на диссертационные работы.

Был автором и соавтором около 200 публикаций по методике разведки, оценке месторождений, учебно-методическим работам и истории геолого-разведки. В разные годы подготовил комплексы демонстрационной графики, системы контроля знаний студентов, учебные и методические пособия (в том числе более 15 различных учебных пособий по методике проведения геолого-разведочных работ и оценке месторождений), конспекты лекций, рабочие программы по курсам кафедры.

В 1993—1996 гг. получил квалификацию «Педагог высшей школы». В 2006 году награжден нагрудным знаком «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации».

В 2011—2012 гг. активно участвовал в написании материалов для Российской Геологической Энциклопедии (тт. 2 и 3). В последние годы жизни работал над составлением научных биографий сотрудников кафедры и знаменитых геологов.

За 50 лет деятельности подготовил сотни специалистов, удостоивался неоднократных благодарностей от института. Был куратором студенческих групп, председателем институтского общества Красного Креста, возглавлял организационно-массовую комиссию профкома МГРИ. В январе 2019 г. ушел на пенсию по состоянию здоровья.

Кончина Павла Павловича — тяжелая утрата для нашей науки и коллектива МГРИ. Память о нем надолго останется в сердцах его друзей и коллег.

