

eISSN 2500-0632



MINING SCIENCE AND TECHNOLOGY

TOM 7, №3
2022

(RUSSIA)

GORNYE NAUKI I TEKHNologii
ГОРНЫЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

MISIS



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МИСИС»
NATIONAL UNIVERSITY OF SCIENCE
AND TECHNOLOGY MISIS



Activities of the *Mining Science and Technology (Russia) (Gornye nauki i tekhnologii)* international journal are aimed at developing international scientific and professional cooperation in the field of mining.

The journal target audience comprises researchers, specialists in the field of mining, representatives of academic and professional communities.

The journal publishes original papers describing research findings, experience in the implementation of projects in mining industry, review publications.

The journal seeks to develop interdisciplinary areas that contribute to progress in mining, for example, technological and environmental safety, project organization and management in mining industry, development of territories, legal aspects of natural resource use, and other areas studied by researchers and practitioners. The journal always welcomes new developments. Papers are accepted in English or Russian.

EDITOR-IN-CHIEF

Vadim L. Petrov, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

DEPUTIES EDITOR-IN-CHIEF

Oleg I. Kazanin, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National Mineral Resources University "University of Mines", St. Petersburg, Russian Federation

Svetlana A. Epshtein, Dr.Sci.(Eng.), National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

EDITORIAL BOARD

Zach Agioutantis, Prof., Ph.D., University of Kentucky, Lexington, Kentucky, USA

Maksim Bogdasarou, Prof., Dr.Sci.(Geol. and Min.), Brest State A. S. Pushkin University, Brest, Belarus

Xuan Nam Bui, Prof., Dr.Sci., Hanoi University of Mining and Geology, Duc Thang – Bac Tu Liem, Hanoi, Vietnam

Carsten Drenstedt, Prof., Ph.D., Freiberg University of Mining and Technology, Freiberg, Germany

Faramarz Doulati Ardejani, Prof., Ph.D., Colledge of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Mikhail Ershov, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow, Russian Federation

Akper Feyzullaev, Prof., Dr.Sci.(Geol. and Min.), Institute of Geology and Geophysics of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan

Ochir Gerel, Prof., Dr.Sci.(Geol. and Min.), Geoscience Center, the Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia

Zoran Gligorić, Prof., Dr.Sci. (Mining-Underground Mining), University of Belgrade, Belgrade, Republic of Serbia

Monika Hardygora, Prof., Ph.D., Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland

Nikolae Ilias, Prof., Dr.Sci.(Eng.), University of Petrosani, Petrosani, Romania

Vladislav Kecojevic, Prof., Ph.D., Benjamin M. Statler College of Engineering and Mineral Resources, West Virginia University, Morgantown, West Virginia, USA

Aleksey A. Khoreshok, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo, Russian Federation

Vladimir I. Klishin, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Institute of Coal, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Kemerovo, Russian Federation

Vladimir N. Koshelev, Prof., Dr.Sci.(Chem.), National University of Oil and Gas "Gubkin University" (Gubkin University), Moscow, Russian Federation

Jyant Kumar, Prof., Ph.D-Geotech.Eng., Indian Institute of Science, Bengaluru, India

Vladimir A. Makarov, Prof., Dr.Sci.(Geol. and Min.), Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russian Federation

Sergey Malafeev, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Vladimir State University named after Alexander and Nikolay Stoletovs, Vladimir, Russia

Oleg S. Misnikov, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Tver State Technical University, Tver, Russian Federation

Valery V. Morozov, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

Igor Petrov, Dr.Sci.(Eng.), Infomine Research Group LLC, Moscow, Russian Federation

Bakhadirzhan R. Raimzhanov, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Uzbekistan Research, Design and Survey Institute for Geotechnology and Nonferrous Metallurgy – O'zGEORANGMETLITI, Tashkent, Uzbekistan

Bayan R. Rakishev, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev, Alma-Ata, Kazakhstan

Oscar Jaime Restrepo Baena, Prof., Ph.D., National University of Colombia, Medellín, Colombia

Alexander N. Shashenko, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National Mining University, Dnipro, Ukraine

Vadim P. Tarasov, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

Denis P. Tibilov, Prof., Dr.Sci.(Econ.), Moscow State Institute of International Affairs (University) under the Ministry of Foreign Affairs of Russia, Moscow, Russian Federation

Niyaz Valiev, Prof., Dr.Sci.(Eng.), The Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

Natalia Zhuravleva, Prof., Dr.Sci.(Eng.), West Siberian Testing Center JSC (WSTCenter JSC), Novokuznetsk, Russian Federation

EDITORIAL COUNCIL

Yuri G. Agafonov, Assoc. Prof., Cand.Sci.(Eng.), National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

Michael R. Filonov, Prof., Dr.Sci.(Eng.), National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

Leonid A. Plaschansky, Prof., Cand.Sci.(Eng.), National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

Yuri I. Razorenov, Prof., Dr.Sci.(Eng.), Platov South-Russian State Polytechnic University, Novocherkassk, Russian Federation

EXECUTIVE SECRETARY

Daria P. Galushka, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

QUARTERLY

FOUNDED in 2016

REGISTRATION

The journal science and applied research journal is registered by the Federal Service for Communication, IT and Mass Communication Control on August 10, 2015. Registration Certificate E-No. ФС77-62652

INDEXATION

Scopus, CAS, EBSCO, DOAJ, РИНЦ, ВИНТИ РАН, Dimensions, BASE, J-Gate, Jisc Library Hub Discover.

FOUNDER AND PUBLISHER



The National University of Science and Technology MISIS (NUST MISIS)

CONTACT

4 Leninsky Prospect, Moscow 119049, Russian Federation

Phone: +7 (495) 955-00-77

e-mail: send@misis.ru



This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.



Деятельность научно-практического журнала «Горные науки и технологии» (Mining Science and Technology (Russia)) направлена на развитие международного научного и профессионального сотрудничества в области горного дела.

Целевая аудитория журнала – исследователи, специалисты в области горного дела, представители академического и профессионального сообществ.

В журнале публикуются оригинальные статьи, описывающие результаты исследований, опыт реализации проектов в горнопромышленном комплексе, обзорные публикации.

Журнал стремится развивать такие междисциплинарные направления, как технологическая и экологическая безопасность, организация и управление проектами в горной промышленности, развитие территорий, правовые аспекты использования природных ресурсов и другие, которые способствуют прогрессу в горном деле и реализуются исследователями и практиками.

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Петров Вадим Леонидович, проф., д.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Казанин Олег Иванович, проф., д.т.н., Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Эпштейн Светлана Абрамовна, д.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Агиутантис Зак, проф., д-р наук, Университет Кентукки, г. Лексингтон, Кентукки, США

Богдасаров Максим Альбертович, проф., д.г.-м.н., Брестский государственный университет им. А.С. Пушкина, г. Брест, Беларусь

Буи Суан Нам, проф., д-р наук, Ханойский университет горного дела и технологии, г. Ханой, Вьетнам

Валиев Нияз Гадым оглы, проф., д.т.н., Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

Герел Очир, проф., д.г.-м.н., Центр геолого-геофизических исследований, Монгольский университет науки и технологии, г. Улан-Батор, Монголия

Глигорич Зоран, проф., д-р наук, Белградский университет, г. Белград, Республика Сербия

Дребенштедт Карстен, проф., д-р наук, Технический университет Фрайбургская горная академия, г. Фрайберг, Германия

Дулати Ардежани Фарамарз, проф., д-р наук, Инженерный колледж, Тегеранский университет, г. Тегеран, Иран

Ершов Михаил Сергеевич, проф., д.т.н., Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

Журавлева Наталья Викторовна, проф., д.т.н., АО «Западно-Сибирский испытательный центр» (АО «ЗСИЦентр»), г. Новокузнецк, Российская Федерация

Илиаш Николае, проф., д.т.н., Университет Петрошани, г. Петрошани, Румыния

Кецоджевич Владислав, проф., д-р наук, Институт инженерного дела и минеральных ресурсов им. Бенджамина М. Статлера Университета Западной Вирджинии, г. Моргантаун, Западная Вирджиния, США

Клишин Владимир Иванович, проф., д.т.н., Институт угля Сибирского отделения Российской академии наук, г. Кемерово, Российская Федерация

Кошелев Владимир Николаевич, проф., д.х.н., Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация

Кумар Джьянт, проф., д-р наук (геотехнический инжиниринг), Индийский институт науки (Indian Institute of Science), г. Бангалор, Индия

Макаров Владимир Александрович, проф., д.г.-м.н., Сибирский федеральный университет, г. Красноярск, Российская Федерация

Малафеев Сергей Иванович, проф., д.т.н., Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых, г. Владимир, Российская Федерация

Мисников Олег Степанович, проф., д.т.н., Тверской государственный технический университет, г. Тверь, Российская Федерация

Морозов Валерий Валентинович, проф., д.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

Петров Игорь Михайлович, д.т.н., ООО «Исследовательская группа «Инфолайн»», г. Москва, Российская Федерация

Раимжанов Бахадиржан Раимжанович, проф., д.т.н., Узбекский научно-исследовательский и проектно-испытательский институт геотехнологии и цветной металлургии «O'zGEORANGMETLITI», г. Ташкент, Узбекистан

Ракишев Баян Ракишевич, проф., д.т.н., Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева, г. Алма-Ата, Казахстан

Рестрепо Баэна Оскар Хайме, проф., д-р наук, Национальный университет Колумбии, г. Медельин, Колумбия

Тарасов Вадим Петрович, проф., д.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

Тиболов Денис Петрович, проф., д.э.н., Московский государственный институт международных отношений (Университет) Министерства иностранных дел России, г. Москва, Российская Федерация

Фейзуллаев Акпер оглы, проф., д.г.-м.н., Институт геологии и геофизики (ИГТ) Национальной Академии Наук Азербайджана, г. Баку, Азербайджан

Хорешок Алексей Алексеевич, проф., д.т.н., Кузбасский государственный технический университет им. М.С. Горбачева, г. Кемерово, Российская Федерация

Шашенко Александр Николаевич, проф., д.т.н., Национальный горный университет, г. Днепр, Украина

Хардигора Моника, проф., д-р наук, Вроцлавский технологический университет, г. Вроцлав, Польша

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Агафонов Юрий Григорьевич, доц., к.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

Плащанский Леонид Александрович, проф., к.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

Разоренов Юрий Иванович, проф., д.т.н., Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М. И. Платова, г. Новочеркасск, Российская Федерация

Филонов Михаил Рудольфович, проф., д.т.н., НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Галушка Дарья Петровна, НИТУ «МИСиС», г. Москва, Российская Федерация

ПЕРИОДИЧНОСТЬ 4 раза в год

ОСНОВАН в 2016 году

РЕГИСТРАЦИЯ

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций 10 августа 2015 года.

Свидетельство о регистрации Эл № ФС77-62652.

ИНДЕКСИРОВАНИЕ

Scopus, CAS, EBSCO, DOAJ, РИНЦ, ВИНТИ РАН, Dimensions, BASE, J-Gate, Jisc Library Hub Discover.

 Журнал открытого доступа.

УЧРЕДИТЕЛЬ И ИЗДАТЕЛЬ



Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» (НИТУ «МИСиС»)

АДРЕС УЧРЕДИТЕЛЯ И ИЗДАТЕЛЯ

119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4

КОНТАКТЫ РЕДАКЦИИ

Адрес: 119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4

Телефон: +7 (495) 955-00-77

e-mail: send@misis.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.



CONTENTS

GEOLOGY OF MINERAL DEPOSITS

- Assessment of Berezkinskoye ore field prospectivity using Micromine software 192
I.I. Bosikov, R.V. Klyuev

SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

- Formation of mine drainage in the Far Eastern region and its impact on the ecosphere
and public health..... 203
V.P. Zvereva, K.R. Frolov, A.I. Lysenko

- Nature of radioactivity of quarry drainage waters in the Novosibirsk region 216
*A.S. Derkachev, A.A. Maksimova, D.A. Novikov, F.F. Dultsev, A.F. Sukhorukova, A.V. Chernykh,
A.A. Khvashevskaya*

MINING MACHINERY, TRANSPORT, AND MECHANICAL ENGINEERING

- Theoretical studies on the nature and conditions of interaction of heel
and peripheral nose cones of offset roller cone bits with a bottom hole 231
D.A. Boreiko, A.A. Lyutoev, D.Yu. Serikov

PROFESSIONAL PERSONNEL TRAINING

- Analytical review of the training system for mining engineers in Russia..... 240
V.L. Petrov



СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

- Оценка перспективности территории Березкинского рудного поля при помощи программного продукта Micromine 192
И.И. Босиков, Р.В. Ключев

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

- Формирование рудничных вод в Дальневосточном регионе России и их влияние на экосферу и здоровье населения 203
В.П. Зверева, К.Р. Фролов, А.И. Лысенко

- Природа радиоактивности дренажных вод карьеров Новосибирской области 216
А.С. Деркачев, А.А. Максимова, Д.А. Новиков, Ф.Ф. Дульцев, А.Ф. Сухорукова, А.В. Черных, А.А. Хващевская

ГОРНЫЕ МАШИНЫ, ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

- Теоретические исследования характера и условий взаимодействия с забоем тыльных и периферийных конусов шарошек бурового долота со смещенными осями вращения 231
Д.А. Борейко, А.А. Лютоев, Д.Ю. Сериков

ПОДГОТОВКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

- Аналитический обзор системы подготовки горных инженеров в России 240
В.Л. Петров



ГЕОЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-192-202>

УДК 553.98

**Оценка перспективности территории Березкинского рудного поля при помощи программного продукта Micromine**И. И. Босиков¹  , Р. В. Ключев²   ¹ Северо-Кавказский горно-металлургический институт (ГТУ), г. Владикавказ, Российская Федерация² Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация kluev-roman@rambler.ru**Аннотация**

Важнейшим направлением проведения комплексных исследований по определению перспектив месторождений различных руд является использование современных компьютерных методов, в частности, программного продукта Micromine. В статье рассматривается Березкинское рудное поле, для которого произведены анализ перспектив и подсчет запасов для открытого и подземного способов отработки. При этом определены запасы серебра в качестве основного полезного компонента, а также рассчитаны балансовые запасы отдельно для всех типов руд в контуре оптимального карьера, принятого в технико-экономическом обосновании постоянных разведочных кондиций для разработки руд. Для векторизации и проверки геологической информации, вводимой в базу данных, при помощи программного обеспечения Micromine в пространственных координатах были привязаны графические материалы в виде планов разрезов с наложенной базой данных скважин. Конечной проверкой являлся контроль на соответствие глубины введенной информации относительно глубины выработки. База данных содержит информацию о местоположении выработок (скважин, канав), конструкции скважин, информацию с описанием пространственного положения оси выработок, данные с результатами опробования выработок на серебро и медь. Для подземного способа отработки оконтуривание рудных тел проводилось по сечениям, выделенным в скважинах по бортовому содержанию 10,7 г/т, с учетом ориентировки геологических структур. Надежность увязки рудных залежей проверялась в трехмерной модели, построенной в программе Micromine. Для условий открытой отработки в процессе эксплуатации возможно уточнение положения мелких рудных тел эксплуатационной разведкой и перевод их в более высокие категории. Построение каркасной модели рудных зон и тел производилось с использованием контуров по разработанной методике. В основу построения каркасной модели разломов положены планы и разрезы участка Березкинский. Построение каркасной модели разломов проводилось в несколько этапов. Применение современных геоинформационных систем (ГИС) технологий позволяет качественно провести оценку перспективности и подсчет запасов на месторождениях. На Березкинском месторождении изучены вещественный состав руд, технологические свойства, гидрогеологические и инженерно-геологические особенности месторождений.

Ключевые слова

рудное поле, программный продукт Micromine, серебро, месторождение, скважина, оконтуривание рудоносных залежей, открытый и подземный способ отработки полезных ископаемых, перспективность

Благодарности

Авторы выражают благодарность В. И. Голику, В. Б. Заалишвили и другим специалистам в области проведения оценки рудных месторождений с помощью геоинформационных технологий за содействие во внедрении полученных научных и практических результатов исследований.

Для цитирования

Bosikov I. I., Klyuev R. V. Assessment of Berezkinskoye ore field prospectivity using Micromine software. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):192–202. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-192-202>

GEOLOGY OF MINERAL DEPOSITS

Research paper

Assessment of Berezkinskoye ore field prospectivity using Micromine softwareI. I. Bosikov¹  , R. V. Klyuev²   ¹ North Caucasian Mining and Metallurgical Institute (STU), Vladikavkaz, Russia² Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia kluev-roman@rambler.ru**Abstract**

The use of modern computer aided methods, in particular the use of the Micromine software, is an important part of the integrated research for the determination of deposit prospects for various ores. The paper is devoted to the analysis of prospects and estimation of reserves for open-pit and underground mining in



the Berezkinskoye ore field. For this purpose, silver reserves were determined as the principal valuable component. The deposit balance reserves were estimated separately for all types of ores in the optimal open pit envelope adopted in the final mining feasibility study (FS of permanent exploration conditions for ore extraction). To vectorize and verify the geological information entered into the database, graphical materials in the form of cross-sections and plans with the corresponding borehole database were georeferenced using the Micromine software. The final inspection was carried out to ensure that the sample depth information entered was consistent with the excavation depth. The database contains information on the location of boreholes and trenches, the design of boreholes, the spatial positioning of the boreholes/trenches axes, the data of sample assays for silver and copper. For underground mining, the delineation of ore bodies was carried out based on the cross-sections identified in the boreholes at a cut-off grade of 10.7 g/t, taking into account the orientation of geological structures. Reliability of the ore bodies delineation was verified in a Micromine three-dimensional model. For open-pit mining, the position of small ore bodies may be clarified by operational exploration with possible subsequent upgrading their reserve categories. The wireframe model of ore zones and bodies was constructed using the outlines obtained by the developed methodology. A wireframe model of faults was based on the Berezkinsky area plans and cross-sections. The construction of the fault wireframe model was performed in several steps. Application of modern geoinformation system (GIS) technologies makes it possible to qualitatively assess the prospects and estimate the reserves at the deposits. The Berezkinskoye deposit ore material composition, metallurgical properties, hydrogeological and geotechnical features were investigated.

Keywords

ore field, Micromine software, silver, deposit, borehole, delineation of ore bodies, open-pit and underground mining, mineral, prospectivity

Acknowledgements

The authors are grateful to V.I. Golik, V.B. Zaalishvili and other specialists in the field of ore deposit evaluation by means of GIS technologies for their assistance in implementation of the obtained scientific and practical research findings.

For citation

Bosikov I.I., Klyuev R.V. Assessment of Berezkinskoye ore field prospectivity using Micromine software. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):192–202. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-192-202>

Введение

По минералогическому составу руды Березкинского рудного поля относятся к серебро-сульфидно-кварцевой формации с прожилково-вкрапленной минерализацией Серебряное оруденение [1, 2] представлено прожилково-вкрапленной и гнездовой сульфидной минерализацией [3] в метасоматически измененных породах: кварц-серицитовых и серицито-кварцевых метасоматитах и вторичных кварцитах, реже в серицитизированных и окварцованных порфиритах и андезитах.

Содержание серебра в рудных пересечениях колеблется в широких пределах и крайне неравномерное.

Месторождение разведано системой вертикальных, наклонных скважин и канав, которые расположены крайне неравномерно. Для участков Южный и Восточный наиболее детально оруденение изучено в пределах развития коры выветривания, которая пересечена на всю мощность многочисленными скважинами, а по поверхности прослежена канавами. Глубокие горизонты изучены хуже, скважинами по нерегулярной сети.

Методы исследований

Наиболее точным способом определения запасов является метод геологических блоков [4, 5] с использованием коэффициента рудоносности как для руд, размещенных в коре выветривания, так и для руд, размещенных ниже коры выветривания.

Обсуждение результатов

Подсчет запасов проведен в соответствии с постоянными разведочными кондициями для открытого способа отработки [6, 7]. При этом необходимо рассчитать запасы серебра в качестве попутного компонента, а также вычислить балансовые запасы раздельно для всех типов руд в контуре оптимального карьера [8, 9], принятого в технико-экономическом обосновании (ТЭО) постоянных разведочных кондиций для разработки руд.

Подсчет запасов проведен в соответствии с временными разведочными кондициями для подземного способа отработки и предусматривает также расчеты запасов серебра в качестве попутного компонента. При этом к забалансовым рудам следует отнести запасы, подсчитанные по кондициям балансовых руд, но не соответствующие нормам промышленного минимума.

В табл. 1 представлены минимальные запасы руды изолированных тел.

Исходные материалы для подсчета запасов

Исходными материалами при подсчете запасов являлись:

1. Каталог координат устьев скважин и канав (база данных).
2. Журналы документаций буровых скважин.
3. Результаты лабораторных анализов рядовых проб, а также результаты определения объемной массы и влажности руд.

По исходным материалам была составлена база данных (БД), в которую была введена вся информация по пройденным выработкам за 2022 г.

Все данные представлены в виде сканированных материалов и электронных таблиц в формате Excel (каталоги координат, инклинометрия, результаты лабораторных исследований). Все данные проверялись, вносились исправления, приводились к единой структуре. Сканированная информация оцифровывалась, проверялась, добавлялась в базу данных.

База данных содержит все необходимые данные для подсчетов запасов месторождения Березкинского.

4. Геологические карты, планы и разрезы Березкинских участков масштаба 1 : 1000 и 1 : 500.

Сканированные графические материалы в виде планов разрезов привязывались при помощи программного обеспечения (ПО) Micromine [10, 11] в пространственных координатах (рис. 1). Графические материалы применялись для интерпретации, векторизации и проверки геологической информации, вводимой в базу данных.

Формирование базы данных

Обработанные первичные данные обобщались при помощи программного продукта Micromine (рис. 2). Правильность ввода и обработки проверялась визуально и посредством инструментов программы. Конечной проверкой являлся контроль на соответствие глубины введенной информации относительно глубины выработки. База данных содержит информацию о местоположении выработок (скважин, канав), конструкции скважин, информацию с описанием пространственного положения оси выработок, данные с результатами опробования выработок на серебро и медь (рис. 2). Структура базы данных представлена в табл. 2.

Опробование

В таблицу «опробование» вводились результаты анализов проб, выполненные за 2022 г. Всего на месторождении отобрано 122 пробы (в т.ч. контрольное опробование), из них 95 проб из керна разведочных скважин и 27 бороздовых проб из канав.

Таблица 1

Минимальные запасы руды изолированных тел

Содержание Ag в рудном теле, г/т	Минимальные запасы руды изолированных тел, тыс. т, включаемых в подсчет запасов при расстояниях от основного рудного тела						
	50	75	100	125	150	175	200
6,57	3,01	4,51	6,01	7,52	9,02	10,53	12,03
7,00	2,04	3,05	4,07	5,09	6,11	7,13	8,14
7,50	1,48	2,22	2,96	3,70	4,44	5,19	5,93
8,00	1,16	1,75	2,33	2,91	3,49	4,08	4,66
8,50	0,96	1,44	1,92	2,40	2,88	3,36	3,84
9,00	0,82	1,22	1,63	2,04	2,45	2,85	3,26
9,50	0,71	1,06	1,42	1,77	2,13	2,48	2,84

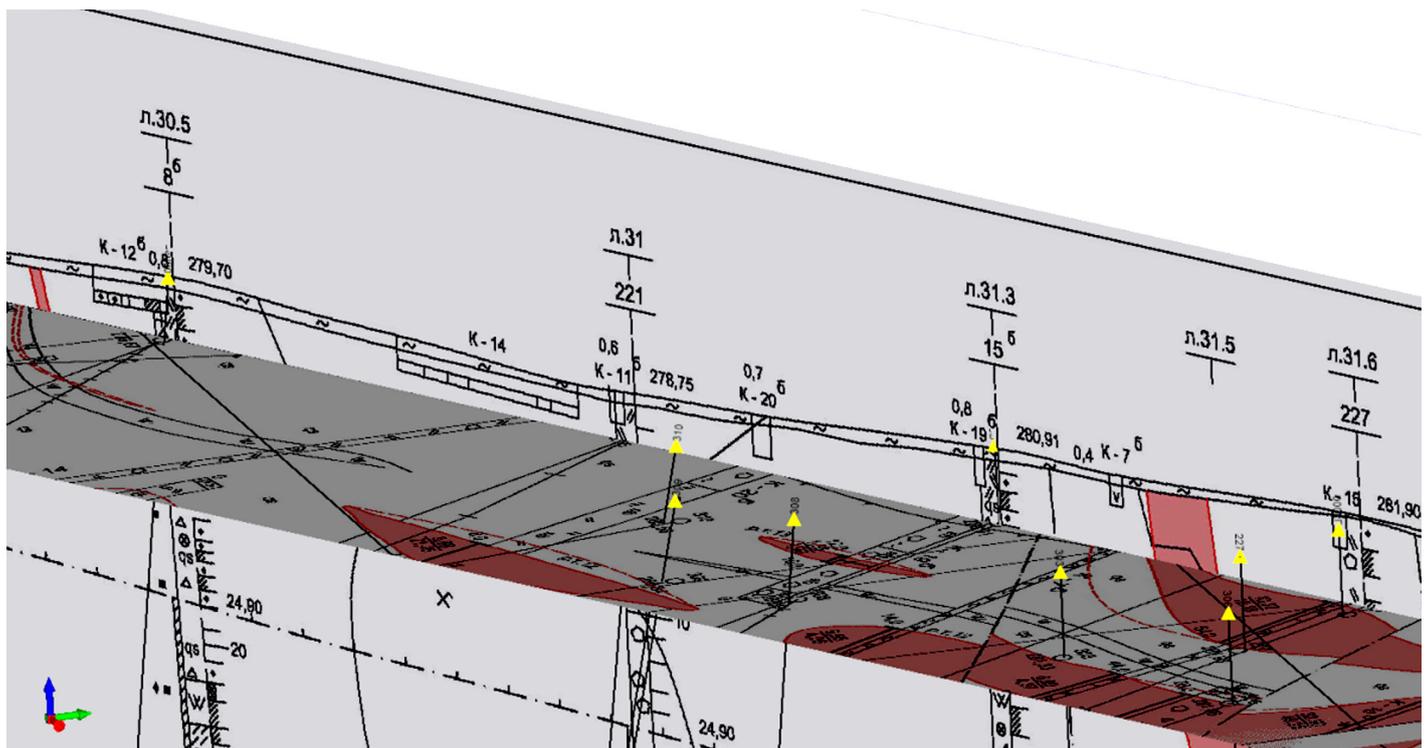


Рис. 1. Привязанный план и разрез по профилю 128, участок Березкинский, с наложенной базой данных скважин

Проведенная проверка показала, что база данных содержит дубликаты, которые были удалены. Значения содержаний включали «0», а также кодированные отрицательные значения, которые были заменены на величину, равную половине чувствительности анализа 0,1 г/т для Ag.

База данных содержит 22 интервала, из которых данные опробования имеются по 82 интервалам Ag.

Принципы оконтуривания

Оконтуривание рудоносных залежей для открытого способа отработки проводилось по крайним сечениям, выделенным в скважинах по бортовому содержанию 0,4, с учетом ориентировки геологических структур. Надежность увязки рудных залежей проверялась в трехмерной модели [12, 13], построенной в программе Micromine.

Оконтуривание рудоносных залежей проведено с учетом контуров карьеров; блоки, вошедшие в контур карьера, были отнесены к балансовым запасам, не вошедшие – к забалансовым. При подсчете запасов, в случае когда блок делится контуром карьера на две части, рудные тела оконтуривались на разрезах отдельно по границе карьера [14]. Участок рудного тела, выходящий за контур карьера, но опирающийся на выработку внутри карьера, в расчет балансовых запасов не включался. Аналогично участок тела, попадающий в контур карьера, но опирающийся на выработку за контуром карьера, в подсчет балансовых запасов не включался.

Для подземного способа отработки оконтуривание рудных тел проводилось по сечениям, выделенным в скважинах по бортовому содержанию 10,7, с учетом ориентировки геологических структур [15].

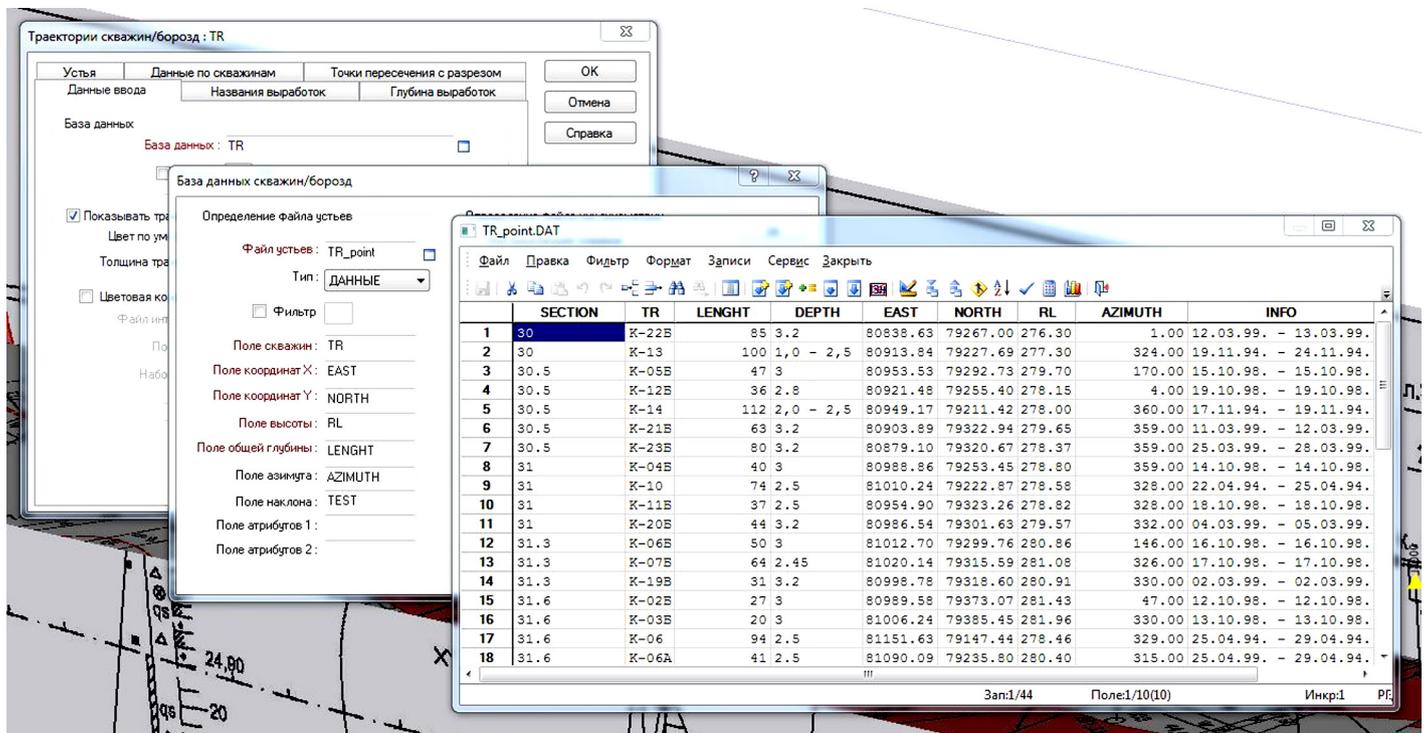


Рис. 2. База данных скважин, канав, созданная при помощи программного продукта Micromine

Таблица 2

Структура базы данных

Заголовки выработок	Информация о координатах начала и дополнительная информация по выработке. Название выработки (Номер выработки), разведочная линия, тип выработки, координаты начала выработки (X – восток, Y – север, Z – высотная отметка), длина выработки (принятая, по бурению, по каротажу), длина по журналу документации, год проходки выработки, участок, комментарии
Инклинометрия	Информация о пространственном положении оси выработок в пространстве. Скважины – глубина замера, азимут истинный, вертикальный угол; канавы – координаты точек начала, конца и перегибов выработки
Опробование	Информация с результатами геологического опробования керна, борозды. Название выработки, номер пробы, от, до, длина интервала опробования, азимут и угол падения встречи выработки с рудным телом, истинная мощность, содержание полезных компонентов, г/т, % (Ag, Cu), тип руды окисленная/первичная, содержание полезных компонентов в м/г (Ag), сорт руды, участок, координаты X,Y, Z
Кора выветривания	Информация о мощности и подошве коры выветривания для определения границы окисленных руд – от, до, длина интервала
Тектоника	Информация о тектонических нарушениях – от, до, длина интервала, комментарий о типе нарушения



Надежность увязки рудных залежей проверялась в трехмерной модели, построенной в программе Micromine.

В соответствии с рекомендациями государственной комиссии по запасам полезных ископаемых (ГКЗ) при разделении запасов по степени изученности к запасам категории C_1 отнесены блоки, разведанные по сети 40–60 м и заключенные между оценочными выработками. К запасам категории C_2 отнесены блоки, разведанные по сети 40–60 м, их оконтуривание проводилось с ограниченной экстраполяцией на половину расстояния между выработками, но не более чем на 50 м, или на 50 м за выработку с кондиционным сечением.

В табл. 3 представлен список кондиционных интервалов, не включенных в подсчет запасов для открытого способа отработки, с объяснением причин их выбраковки.

Подавляющее большинство исключенных из подсчета запасов рудных сечений представляют собой подсечения рудных тел, вскрытых одним сечением, не прослеживаемых и по более мягким кондициям.

Как видно из табл. 3, большинство интервалов менее минимальной истинной мощности рудного тела – 5,0 м, но удовлетворяющих условию метрограмма, а ввиду граничного положения между 3-й и 4-й группами сложности месторождения – нецелесообразно классифицировать эти тела как запасы. Для условий открытой отработки в процессе эксплуатации возможно уточнение положения мелких рудных тел эксплуатационной разведкой и перевод их в запасы. В табл. 3 приведен список кондиционных интервалов, не включенных в подсчет запасов.

Методика построения каркасной модели рудных зон и тел Березкинского месторождения

Построение каркасной модели рудных зон [16, 17] и тел производилось с использованием контуров. Использовалась следующая методика (пошагово):

– контуры рудных зон и тел увязывались между разрезами (рис. 3);

– каркасная модель вытягивалась на половину расстояния между разведочными линиями, если рудное тело или зона не прослеживались, на соседнем разрезе внешний контур рудного тела или зоны проводился с помощью экстраполяции на расстоянии, соответствующем сети выработок, равном 50,0 м;

– каркасная модель корректировалась в 3D режиме по отдельно пробуренным скважинам;

– для учета структурных особенностей месторождения построенная каркасная модель ограничивалась разрывными нарушениями, контролирующими рудные тела и зоны, и обрезалась границей между четвертичными отложениями и коренными породами, а также корректировалась контуром действующего карьера (текущего положения работ) (рис. 4).

На рис. 5 представлена построенная каркасная модель с учетом разрывных нарушений, контролирующих рудные зоны (участок Березкинский).

Построение каркасной модели разломов

На площади интенсивно проявленной дизъюнктивной тектоники, которая представлена сбросо-сдвигами и сдвигами различных знаков и направлений – от субширотного до субмеридионального, а также крупным надвигом.

Таблица 3

Список кондиционных интервалов, не включенных в подсчет запасов

Скважина	Интервал		Мощность, вид, м	Мощность, ист., м	Среднее содержание Ag, г/т	Причина
	от	до				
1	2	3	4	5	6	7
0005G	23,7	40,0	16,3	6,4	12,20	Единичное пересечение рудного тела
217	122,8	124,2	1,4	0,9	12,60	Единичное пересечение рудного тела
517-2	28,0	30,0	2,0	1,8	11,96	Единичное пересечение рудного тела
517-1	39,0	41,0	2,0	0,8	17,40	Единичное пересечение рудного тела
518-2	32,0	33,0	1,0	0,8	13,35	Единичное пересечение рудного тела
209	215,3	215,7	0,4	0,4	17,00	Единичное пересечение рудного тела
521-2	185,0	187,0	2,0	1,9	21,15	Единичное пересечение рудного тела
804	37,0	39,0	2,0	1,3	22,48	Единичное пересечение рудного тела
11501SE	64,8	112,5	47,7	20,5	20,77	Единичное пересечение рудного тела, остановлено в руде
7202SE	8,5	19,5	11,0	3,6	10,66	Единичное пересечение рудного тела
1165SE	29,0	41,0	12,0	5,8	10,48	Единичное пересечение рудного тела
1165SE	45,0	61,0	16,0	7,9	20,60	Единичное пересечение рудного тела
K63ASE	12,0	14,0	2,0	1,9	22,34	Единичное пересечение рудного тела
11730	6,0	8,0	2,0	1,2	18,90	Единичное пересечение рудного тела
11830	18,0	20,0	2,0	1,3	21,96	Единичное пересечение рудного тела

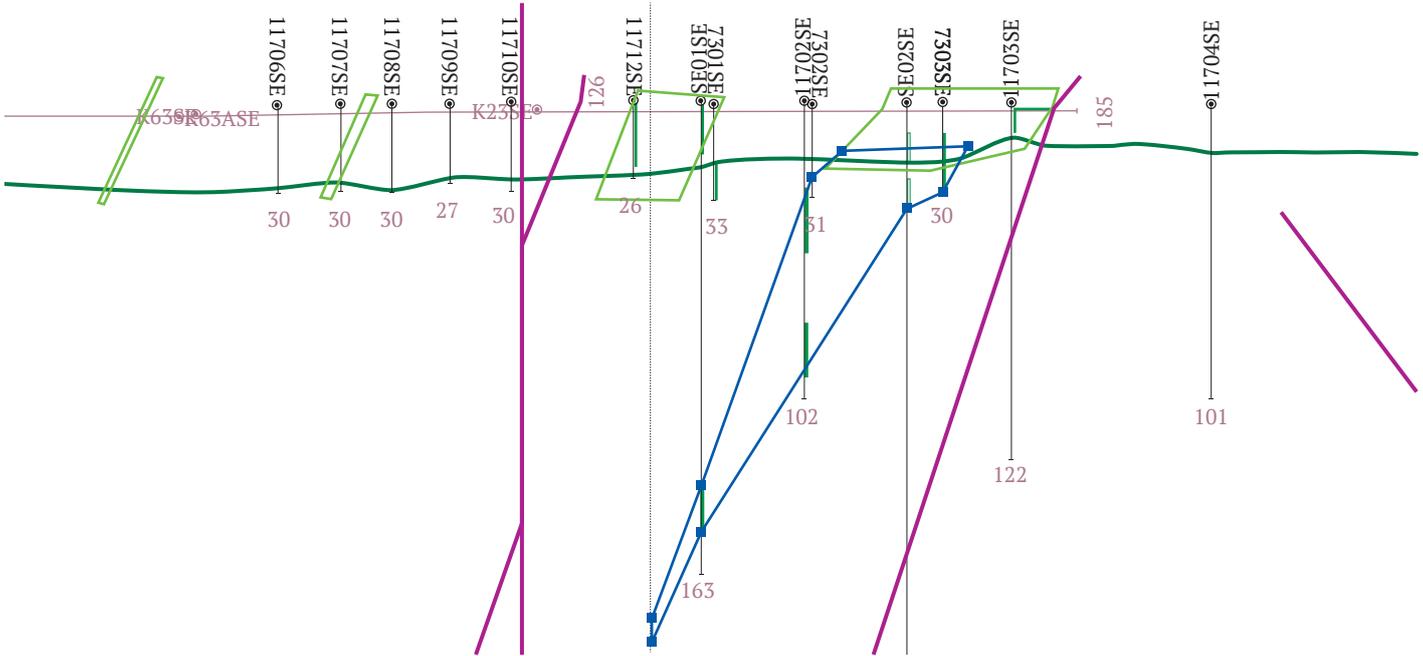


Рис. 3. Векторизация контуров рудных зон на разрезах, привязанных к композитным интервалам на профиле П-15, участок Березкинский

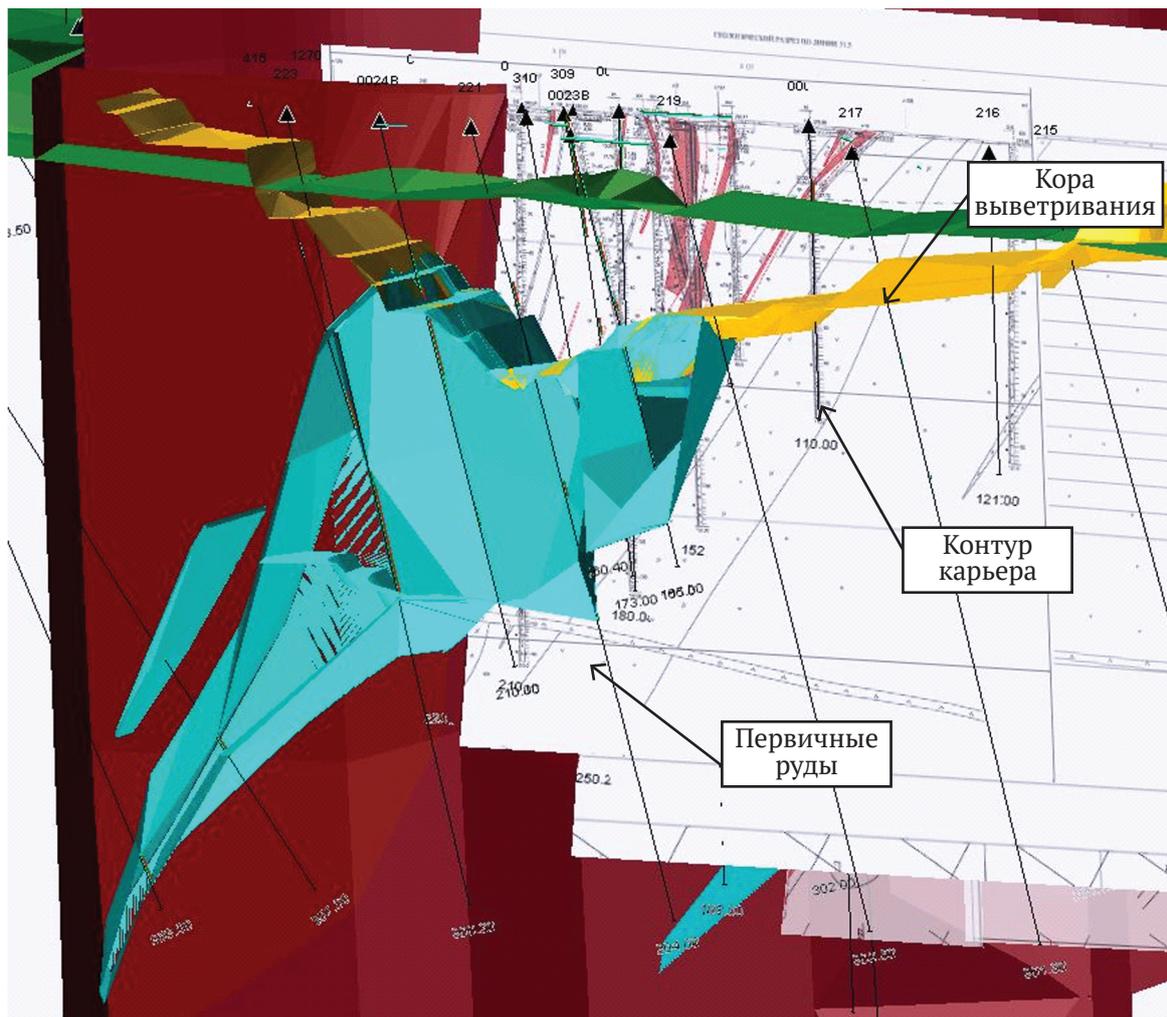


Рис. 4. Увязка контуров между разрезами с учетом коры выветривания и текущего положения работ, построение каркасной модели (борт 28.3 г/т, первичные) в 3D режиме (профили П15, П57, участок Березкинский)

В основу построения каркасной модели разломов положены планы и разрезы участка Березкинский. Построение каркасной модели разломов проводилось в несколько этапов:

– векторизация контуров тектонических нарушений на разрезах и планах (рис. 6);

– увязка и корректировка между разрезами и планами с учётом геологических данных;

– построение каркасной модели разломов по созданным контурам методом увязки контуров полигонами с учётом геологических данных по скважинам и канавам (рис. 7).

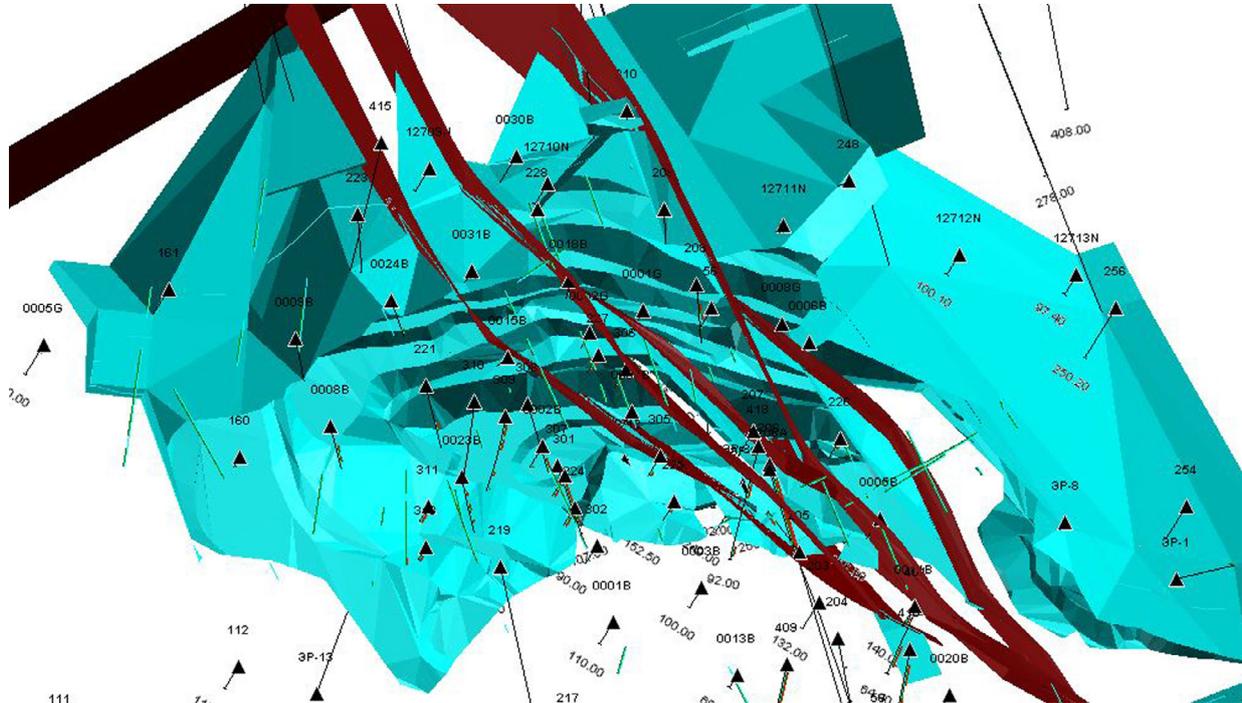


Рис. 5. Построенная каркасная модель с учетом разрывных нарушений, контролирующих рудные зоны, участок Березкинский

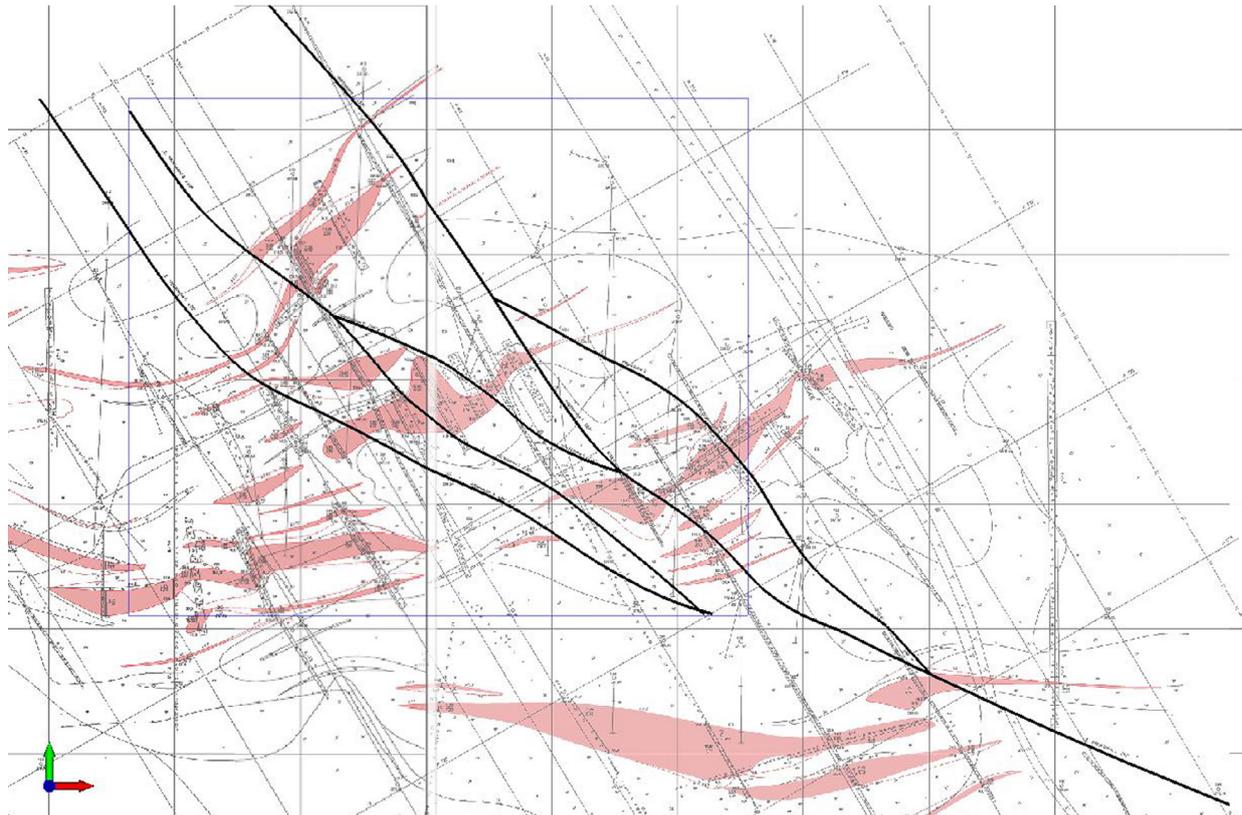


Рис. 6. Векторизация тектонических нарушений в плане, участок Березкинский

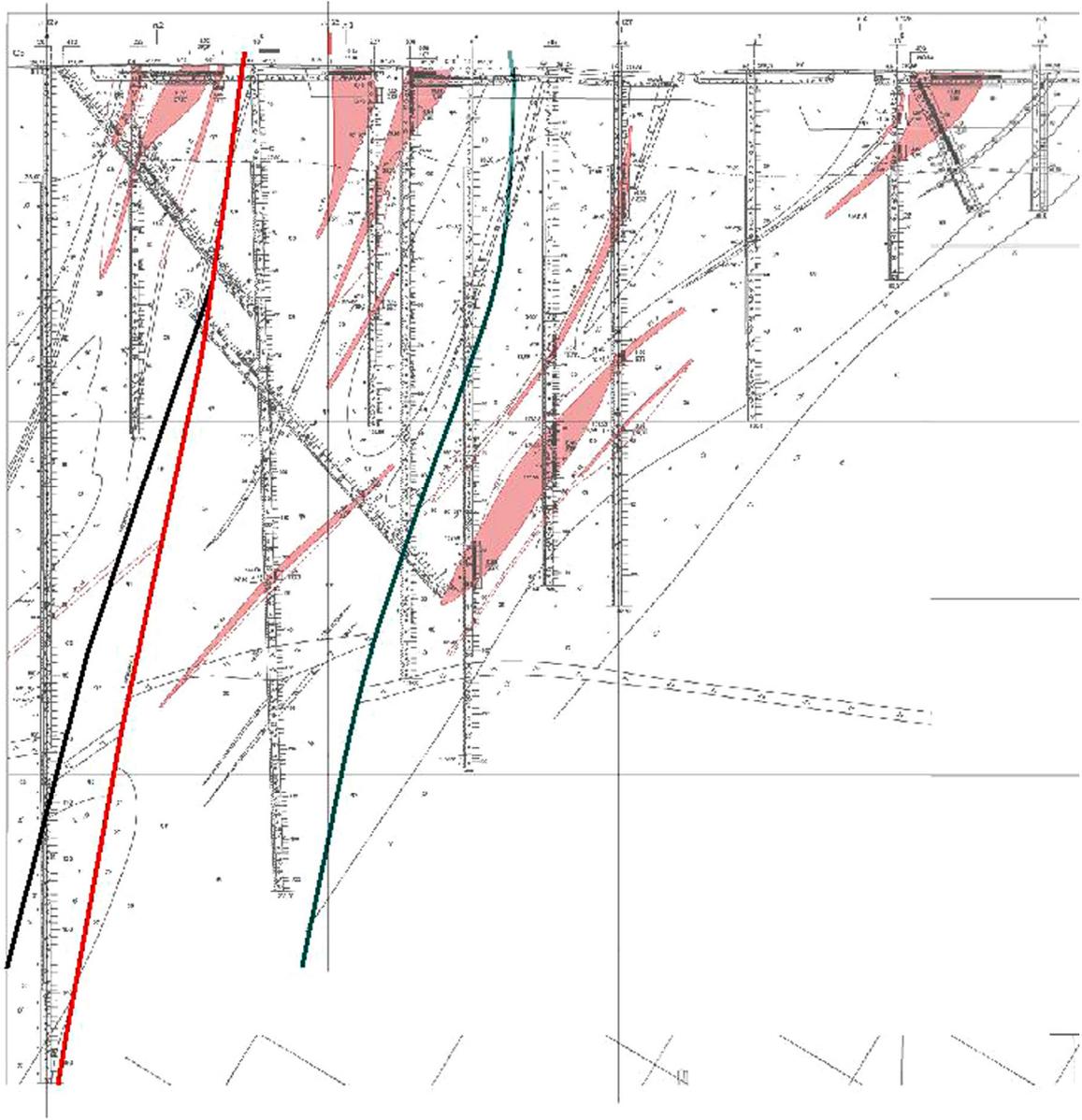


Рис. 7. Векторизация тектонических нарушений в плане, участок Березкинский

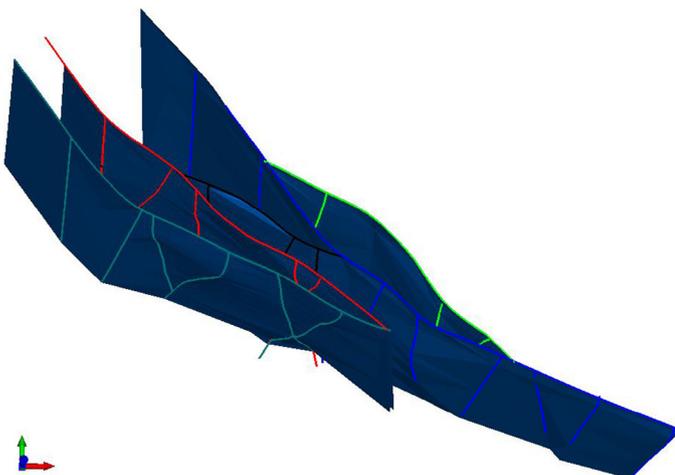


Рис. 8. Увязанная каркасная модель тектонических нарушений план – разрез, участок Березкинский

На рис. 8 показана увязанная каркасная модель тектонических нарушений план – разрез, участок Березкинский.

Серебро

По результатам статистического анализа на участке Березкинский выделена одна статистическая популяция (рис. 9, 10). Для определения «ураганных» содержаний использовался график кривой накопленной частности с выделением совокупностей по содержанию, которые определяются по излому линии на графике (точка перегиба), что позволяет выделить участки рудного тела с различной интенсивностью оруденения. Выделены «ураганные» содержания со значением равным 100 г/т серебра для первичных руд и 19,8 г/т серебра – для окисленных. Все пробы с содержанием выше этой величины были понижены до порогового.

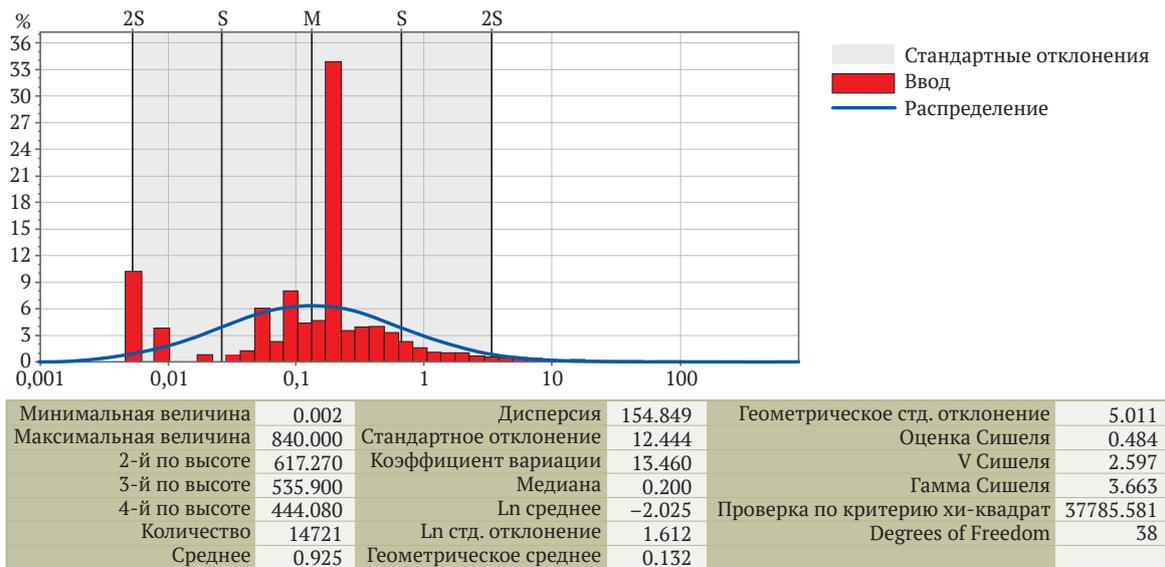


Рис. 9. Логарифмическая гистограмма распределения содержаний серебра в первичных рудах участка Березкинский



Рис. 10. График накопленной вероятности распределения содержаний серебра в первичных рудах участка Березкинский

Заключение

Применение современных ГИС-технологий позволяет качественно провести оценку перспективности и подсчет запасов на месторождениях [18–20].

На Березкинском месторождении изучены технологические свойства и вещественный состав

руд, гидрогеологические и инженерно-геологические особенности месторождений, что позволит провести подсчет запасов по категориям C_1 и C_2 и привлечь их в разработку открытым способом (карьер) Восточного участка Березкинского месторождения.

Список литературы

1. Париков Ю.С. Оценка недр Казахстана на собственное серебряное оруденение. *Геология и охрана недр*. 2019;(3):4–19.
2. Газеев В.М., Гурбанов А.Г., Кондрашов И.А. Мезозойские субщелочные породы центральной части Северного Кавказа: геодинамическая типизация, геохимия и минерогения. *Геология и геофизика юга России*. 2019;9(3):47–62. <https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36479>
3. Максаров Р.А., Прокопьев И.Р., Дорошкевич А.Г. и др. Новые данные по минералогии золото-сульфидного типа руд месторождения Каральвеем, Чукотка. *Руды и металлы*. 2022;(1):24–43. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2022-10002>
4. Подрезов Д.Р. Методы и модели идентификации запасов технологических блоков рудника подземного скважинного выщелачивания урана. *Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии*. 2020;(2):32–43. <https://doi.org/10.21672/2074-1707.2020.50.2.032-043>



5. Абакумов И.В. Опыт переоценки остаточных запасов россыпей валунчатых хромовых руд Сарановского рудного поля. *Известия Уральского государственного горного университета*. 2020;(2):74–82. <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-2-74-82>
6. Cohen M.W., Coelho V.N. Open-pit mining operational planning using multi agent systems. *Procedia Computer Science*. 2021;192:1677–1686. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.172>
7. Saleki M., Kakaie R., Ataei M. Mathematical relationship between ultimate pit limits generated by discounted and undiscounted block value maximization in open pit mining. *Journal of Sustainable Mining*. 2019;18(2):94–99. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.03.003>
8. Федотов Г.С., Пастихин Д.В. Влияние положения трассы вскрывающих выработок на объем горной массы в конечном контуре карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2019;(6):115–123. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-06-0-115-123>
9. Федотов Г.С., Пастихин Д.В. Методика оптимизации положения вскрывающих выработок при проектировании конечных контуров карьера. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(S8):3–13. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-3-8-3-13>
10. Маниковский П.М., Васютин Л.А., Сидорова Г.П. Методика моделирования рудных месторождений в ГИС Micromine. *Вестник Забайкальского государственного университета*. 2021;27(2):6–14. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2021-27-2-6-14>
11. Третьякова О.Г., Третьяков М.Ф., Софронов Г.В. Моделирование терригенных коллекторов и оценка прогнозных ресурсов россыпной алмазности на участке Ханнинский с помощью горно-геологической информационной системы (ГИС) Micromine. *Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. Серия: Науки о Земле*. 2019;4(16):20–30. <https://doi.org/10.25587/SVFU.2020.16.49722>
12. Mery N., Emery X., Cáceres A., Ribeiro D., Cunha E. Geostatistical modeling of the geological uncertainty in an iron ore deposit. *Ore Geology Reviews*. 2017;88:336–351. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.011>
13. Mehrabi B., Fazel E., Yardley B. Ore geology, fluid inclusions and O-S stable isotope characteristics of Shurab Sb-polymetallic vein deposit, eastern Iran. *Geochemistry*. 2019;79(2):307–322. <https://doi.org/10.1016/j.geoch.2018.12.004>
14. Ляшенко В.И., Хоменко О.Е., Голик В.И. Развитие природоохранных и ресурсосберегающих технологий подземной добычи руд в энергонарушенных массивах. *Горные науки и технологии*. 2020;5(2):104–118. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118>
15. Босиков И.И., Ключев Р.В., Гаврина О.А. Анализ геолого-геофизических материалов и качественная оценка перспектив нефтегазности Южно-Харьбинского участка (Северный Кавказ). *Геология и геофизика Юга России*. 2021;11(1):6–21. <https://doi.org/10.46698/VNC.2021.36.47.001>
16. Савельев Д.Е., Макатов Д.К., Портнов В.С., Гатауллин Р.А. Морфология и текстурно-структурные особенности хромититовых залежей главного рудного поля Кемпирсайского массива (Южный Урал, Казахстан). *Георесурсы*. 2022;24(1):62–73. <https://doi.org/10.18599/grs.2022.1.6>
17. Столяренко В.В., Минаков А.В., Рябошапка А.Г., Минаева С.В., Алфёрова В.А. Прогнозно-поисковая модель золотого оруденения в пределах мезозойских впадин в Центрально-Алданском рудно-россыпном районе (на примере Верхне-Якутского рудного поля). *Руды и металлы*. 2022;(1):44–76. <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2022-10003>
18. Ключев Р.В., Босиков И.И., Майер А.В., Гаврина О.А. Комплексный анализ применения эффективных технологий для повышения устойчивого развития природно-технической системы. *Устойчивое развитие горных территорий*. 2020;12(2):283–290. <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290>
19. Tyulenev M.A., Markov S.O., Gasanov M.A., Zhironkin S.A. Numerical Modeling in the Structural Study of Technogenic Rock Array. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2018;36(5):2789–2797. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0501-3>
20. Hazra T., Samanta B., Dey K. Real option valuation of an Indian iron ore deposit through system dynamics model. *Resources Policy*. 2019;60:288–299. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.01.002>

References

1. Parilov Yu.S. Assessment of Kazakhstan's subsurface for own silver mineralization. *Geology and Bowels of the Earth*. 2019;(3):4–19. (In Russ.)
2. Gazeev V.M., Gurbanov A.G., Kondrashov I.A. Mesozoic subalkaline rocks of Central part of the Northern Caucasus: geodynamical typification, geochemistry and minerageny. *Geology of the South of Russia*. 2019;9(3):47–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.23671/VNC.2019.3.36479>
3. Maksarov R.A., Prokopiev I.R., Doroshkevich A.G., Redin Yu.O., Malyutina A.V. New data on the mineralogy of the gold-sulfide ore type of the Karalveem deposit, Chukotka. *Ores and Metals*. 2022;(1):24–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2022-10002>
4. Podrezov D.R. Methods and models of identification of reserves of technological units of uranium well leaching mine. *Caspian Journal: Management and High Technologies*. 2020;(2):32–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.21672/2074-1707.2020.50.2.032-043>
5. Abakumov I.V. Revaluation of alluvial deposits residual reserves of boulder chrome ores of the Saranovsky ore field. *News of the Ural State Mining University*. 2020;(2):74–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.21440/2307-2091-2020-2-74-82>



6. Cohen M.W., Coelho V.N. Open-pit mining operational planning using multi agent systems. *Procedia Computer Science*. 2021;192:1677–1686. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.08.172>
7. Saleki M., Kakaie R. Ataei M. Mathematical relationship between ultimate pit limits generated by discounted and undiscounted block value maximization in open pit mining. *Journal of Sustainable Mining*. 2019;18(2):94–99. <https://doi.org/10.1016/j.jsm.2019.03.003>
8. Fedotov G.S., Pastikhin D.V. Influence of access road pattern on mine rock volume within the ultimate pit limit. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2019;(6):115–123. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2019-06-0-115-123>
9. Fedotov G.S., Pastikhin D.V. Methods of opening position optimization in ultimate pit design. *Journal of Sustainable Mining*. 2020;(S8):3–13. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-3-8-3-13>
10. Manikovskiy P.M., Vasyutich L.A., Sidorova G.P. Micromine methodology for modeling ore deposits in the GIS Micromine. *Transbaikal State University Journal*. 2021;27(2):6–14. (In Russ.). <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2021-27-2-6-14>
11. Tretiakova O.G., Tretiakov M.F., Sofronov G.V. Modeling of terrigenous collectors and assessment of forecast resources of placer diamond potential on Khanninsky site with the mining-and-geological information system (GGIS) Micromine. *Vestnik of North-Eastern Federal University: Earth Sciences*. 2019;4(16):20–30. (In Russ.). <https://doi.org/10.25587/SVFU.2020.16.49722>
12. Mery N., Emery X., Cáceres A., Ribeiro D., Cunha E. Geostatistical modeling of the geological uncertainty in an iron ore deposit. *Ore Geology Reviews*. 2017;88:336–351. <https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2017.05.011>
13. Mehrabi B., Fazel E., Yardley B. Ore geology, fluid inclusions and O-S stable isotope characteristics of Shurab Sb-polymetallic vein deposit, eastern Iran. *Geochemistry*. 2019;79(2):307–322. <https://doi.org/10.1016/j.geoch.2018.12.004>
14. Lyashenko V.I., Khomenko O.E., Golik V.I. Friendly and resource-saving methods of underground ore mining in disturbed rock masses. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2020;5(2):104–118. (In Russ.). <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2020-2-104-118>
15. Bosikov I.I., Klyuev R.V., Gavrina O.A. Analysis of geological-geophysical materials and qualitative assessment of the oil and gas perspectives of the Yuzhno-Kharbizhinsky area (Northern Caucasus). *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii*. 2021;11(1):6–21. (In Russ.). <https://doi.org/10.46698/VNC.2021.36.47.001>
16. Saveliyev D.E., Makatov D.K., Portnov V.S., Gataullin R.A. Morphological, textural and structural features of chromitite deposits of main ore field of Kempirsay massif (South Urals, Kazakhstan). *Georesursy*. 2022;24(1):62–73. (In Russ.). <https://doi.org/10.18599/grs.2022.1.6>
17. Stolyarenko V.V., Minakov A.V., Ryaboshapko A.G., Minaeva S.V., Alferova V.A. Mineral potential modelling for gold mineralization within the mesozoic depressions in the Central Aldan ore-placer region (on the example of the Upper Yakokut ore field). *Ores and Metals*. 2022;(1):44–76. (In Russ.). <https://doi.org/10.47765/0869-5997-2022-10003>
18. Klyuev R.V., Bosikov I.I., Mayer A.V., Gavrina O.A. Comprehensive analysis of the effective technologies application to increase sustainable development of the natural-technical system. *Sustainable Development of Mountain Territories*. 2020;12(2):283–290. (In Russ.). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2020-12-2-283-290>
19. Tyulenev M.A., Markov S.O., Gasanov M.A., Zhironkin S.A. Numerical Modeling in the Structural Study of Technogenic Rock Array. *Geotechnical and Geological Engineering*. 2018;36(5):2789–2797. <https://doi.org/10.1007/s10706-018-0501-3>
20. Hazra T., Samanta B., Dey K. Real option valuation of an Indian iron ore deposit through system dynamics model. *Resources Policy*. 2019;60:288–299. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.01.002>

Информация об авторах

Игорь Иванович Босиков – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Нефтегазовое дело», Северо-Кавказский горно-металлургический институт, г. Владикавказ, Российская Федерация; ORCID [0000-0001-8930-4112](https://orcid.org/0000-0001-8930-4112), Scopus ID [56919738300](https://orcid.org/56919738300); e-mail igor.boss.777@mail.ru

Роман Владимирович Ключев – доктор технических наук, профессор кафедры «Техника низких температур им. П. Л. Капицы», Московский политехнический университет, г. Москва, Российская Федерация; ORCID [0000-0003-3777-7203](https://orcid.org/0000-0003-3777-7203), Scopus ID [57194206632](https://orcid.org/57194206632); e-mail kluev-roman@rambler.ru

Information about the authors

Igor I. Bosikov – Cand. Sci. (Eng.), Assoc. Professor of the Oil and Gas Department, North Caucasian Mining and Metallurgical Institute, Vladikavkaz, Russian Federation; ORCID [0000-0001-8930-4112](https://orcid.org/0000-0001-8930-4112), Scopus ID [56919738300](https://orcid.org/56919738300); e-mail igor.boss.777@mail.ru

Roman V. Klyuev – Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Department of the Technique of Low Temperature name P. L. Kapitza, Moscow Polytechnic University, Moscow, Russian Federation; ORCID [0000-0003-3777-7203](https://orcid.org/0000-0003-3777-7203), Scopus ID [57194206632](https://orcid.org/57194206632); e-mail kluev-roman@rambler.ru

Поступила в редакцию 27.06.2022
Поступила после рецензирования 19.07.2022
Принята к публикации 25.08.2022

Received 27.06.2022
Revised 19.07.2022
Accepted 25.08.2022



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Научная статья



<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-203-215>

УДК 504.4.054:622+553.45(571.62)+004.94

Формирование рудничных вод в Дальневосточном регионе России и их влияние на экосферу и здоровье населения

В. П. Зверева¹ , К. Р. Фролов² , А. И. Лысенко¹

¹ Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Российская Федерация

² Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Российская Федерация

zvereva@fegi.ru

Аннотация

Длительное развитие горнорудной промышленности в Комсомольском, Кавалеровском и Дальнегорском районах Дальнего Востока России позволило сформироваться крупномасштабным горнопромышленным техногенным системам. В период перестройки работа горнопромышленного производства была приостановлена, а горные выработки (карьеры, штольни) и хвостохранилища не подвергались какой-либо консервации или рекультивации. В настоящее время работает только борная и свинцово-цинковая промышленность в Дальнегорском районе. Цель данной статьи – оценить состав рудничных вод, показать условия их формирования, наличие ионов и молекул различных элементов и установить параметры кристаллизации из них ряда гипергенных природных и техногенных минералов. В публикации приведена гидрохимическая характеристика рудничных вод в горнопромышленных техногенных системах олово-сульфидных, медно-оловянных, олово-полиметаллических и полиметаллических месторождений, показаны условия их формирования и негативное воздействие на гидросферу, а также здоровье людей, проживающих в данных районах. Исследования процессов окисления сульфидов и формирования рудничных вод выполнены методом физико-химического моделирования с использованием программного комплекса «Селектор». В широком интервале температур (от -25 до $+45$ °С) установлены Eh–pH параметры растворов, их состав в отношении устойчивых водных частиц (комплексных соединений и простых ионов), парагенетические ассоциации (парагенезисы) осаждающихся гипергенных минералов в зависимости от первичного состава руд и вмещающих пород. Установлено, что моделируемые микропоровые растворы, формирующие рудничные воды, имеют широкий спектр Eh–pH параметров: Eh от 0,55 до 1,24 В и pH от 0,3 до 13,8. Из них кристаллизуются техногенные минералы Fe, Cu, Zn, Pb и Sb из классов оксидов и гидроксидов, сульфатов и арсенатов. Высококонцентрированные рудничные воды до и после осаждения из них техногенных минералов, масса которых составляет сотни грамм, попадают в гидросферу. Полученные моделированием растворы содержат все элементы сульфидных руд: Cu, Zn, Pb, Fe, Ag, As, Sb и S, а их концентрации в форме водных частиц достигают десятков грамм, причем в криогенных условиях они на порядок и два выше за счет кристаллизации льда. Формы миграции элементов зависят от температурного режима. Показано отрицательное воздействие рудничных вод на гидросферу региона и здоровье населения, проживающего в нем. Установлено, что в рассматриваемых районах отмечается тенденция роста практически всех видов болезней в два раза как у взрослых, так и у детей, причем заболеваемость детского населения практически по всем рассматриваемым болезням значительно выше, чем у взрослых.

Ключевые слова

рудничные шламовые и дренажные воды, физико-химическое моделирование, сульфидные минералы, гипергенез, техногенез, гипергенные природные минералы, техногенные минералы, хвосты обогащения, парагенетические ассоциации, токсикант, заболеваемость, Дальний Восток

Для цитирования

Zvereva V.P., Frolov K.R., Lysenko A.I. Formation of mine drainage in the Far Eastern region and its impact on the ecosystem and public health. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):203–215. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-203-215>



SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Research paper

Formation of mine drainage in the Far Eastern region and its impact on the ecosphere and public healthV. P. Zvereva¹  , K. R. Frolov²  , A. I. Lysenko¹  ¹ Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation² Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation zvereva@fegi.ru**Abstract**

The long-term development of the mining industry in the Komsomolsky, Kavalerovsky and Dalnegorsky districts of the Far East of Russia caused origination of large-scale mining technogenic systems. During the period of so-called “perestroika”, mining production in the region was suspended, while mine workings (pits, adits) and tailings dumps were not subjected to any kind of preservation or reclamation. Only the boron and lead-zinc mining sectors in the Dalnegorsk district are currently in operation. The purpose of this paper is to assess the composition of mine waters, reveal the conditions of their formation, the presence of various aqueous species (coordination compounds and ions) of different elements and establish the parameters of precipitation of a number of hypergenic natural and technogenic minerals from these waters. This paper provides the hydrochemical characteristics of mine waters in the mining technogenic systems of tin-sulfide, copper-tin, tin-polymetallic, and polymetallic deposits, indicates the conditions of their formation and describes the adverse impact on the hydrosphere, as well as on human health in these districts. The studies of sulfide oxidation and mine water formation processes were carried out by the method of physicochemical simulation involving the use of the Selektor software package. The Eh–pH parameters of solutions, their composition with respect to stable aqueous species (complex compounds and simple ions), paragenetic associations (paragenesis) of precipitating hypergenic minerals with respect to the primary composition of ores and host rocks were established in a wide temperature range (from –25 to +45 °C). It has been established that the simulated micropore solutions participating in the formation of mine waters exhibit a wide range of Eh–pH parameters: Eh from 0.55 to 1.24 V and pH from 0.3 to 13.8. The technogenic minerals Fe, Cu, Zn, Pb and Sb belonging to oxide and hydroxide, sulphate, and arsenate classes are precipitated from them. Mine waters of high concentration, prior to and after the precipitation of technogenic minerals (weight of which reaches the hundreds of grams), are released into the hydrosphere. The simulated solutions contain all the elements of sulfide ores: Cu, Zn, Pb, Fe, Ag, As, Sb and S, whereas their concentrations in the form of aqueous species reach the tens of grams, while under cryogenic conditions the concentrations are by one or two orders of magnitude higher as a result of ice formation. The forms of migration of the elements depend on the temperature conditions. The negative impact of mine waters on the region hydrosphere and human health was demonstrated. In the districts under consideration, obvious trend of increasing morbidity (for almost all types of diseases) by 2 times both in adults and in children as compared to other Far Eastern regions was revealed. In addition, the morbidity of the child population for almost all the diseases under consideration proved much higher than in adults.

Keywords

mine slurry and drainage water, physicochemical simulation, sulfide minerals, hypergenesis, technogenesis, hypergenic natural minerals, technogenic minerals, processing tailings, paragenetic associations, toxicant, morbidity, Far East

For citation

Zvereva V.P., Frolov K.R., Lysenko A.I. Formation of mine drainage in the Far Eastern region and its impact on the ecosphere and public health. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):203–215. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-203-215>

Введение

Горнорудная промышленность в Комсомольском, Кавалеровском и Дальнегорском районах Дальнего Востока развивалась от 70 до 120 лет. Здесь разрабатывались касситерит-сульфидные, касситерит-силикатные и полиметаллические месторождения, из руд которых извлекались Sn, Cu, Pb и Zn. Во время перестройки – с 1996 по 2000 год месторождения и фабрики в Комсомольском, Кавалеровском и Дальнегорском районах (Краснореченская обогатительная фабрика) были закрыты. В настоящее время извлекаются только полиметаллические руды (Дальнегорский район), которые перерабатываются на Центральной обогати-

тельной фабрике. Основными сульфидными минералами в рассматриваемых районах являются: пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит и сфалерит. Разработка месторождений выполнялась как открытым, так и подземным способом, что привело к увеличению доступа агентов выветривания (вода, кислород и др.).

Активизация гипергенных процессов в подземных горных выработках (штольнях) способствует формированию рудничных вод с высокой концентрацией элементов сульфидных руд: Cu, Zn, Pb, Fe, As, Sb и S. Исследования состава техногенных вод и их влияния на природные воды проводились как в России, так и за



рубежом. Многими авторами показано их негативное воздействие на природные воды в Комсомольском, Кавалеровском [1–3] и Дальнегорском районах [2–4] Дальнего Востока, в Кемеровской области [5], на Урале [6], и в мире: Новой Зеландии [7], Америке [8, 9], Турции [10], Испании [11], Аргентине [12].

Изучение химического состава рудничных вод авторами проводилось в период с 2001 по 2019 г. методом атомно-эмиссионной спектроскопии на приборе марки Plasmaquant-110 (табл.). В Комсомольском районе в рудничных водах м. Фестивальное (медно-оловянные руды) концентрация Cu достигает 153 мг/л,

Таблица

Химическая характеристика рудничных вод, мг/л

Место отбора пробы, год	Cu	Pb	Zn	Fe	As
Комсомольский район					
1. м. Перевальное, 2002	36,600	1,320	77,500	71,400	0,130
2. м. Фестивальное, 2004	153,000	0,002	24,970	14,800	0,200
3. м. Перевальное, 2004	48,300	1,200	60,100	32,200	0,600
4. м. Фестивальное, 2010	46,510	0,013	10,230	17,430	0,003
5. м. Перевальное, 2010	16,150	1,560	25,64	42,300	0,187
6. м. Фестивальное, 2015	85,152	0,034	10,510	5,730	0,120
7. м. Перевальное, 2015	2,080	0,054	4,480	2,580	0,299
Кавалеровский район					
8. м. Высокогорское, 2008	0,032	0,003	0,175	0,410	0,002
9. м. Дубровское, 2008*	0,222	0,001	4,314	0,080	0,002
10. м. Дубровское, 2008**	0,110	0,002	2,290	0,830	0,002
11. м. Высокогорское, 2009	0,012	0,001	0,120	0,230	0,001
12. м. Дубровское, 2010*	0,250	0,002	2,970	1,080	0,003
13. м. Дубровское, 2010**	0,361	0,003	2,090	5,770	0,002
14. м. Высокогорское, 2010	0,420	0,001	0,530	0,770	0,001
15. м. Дубровское, 2011	0,450	0,001	2,010	2,970	0,012
16. м. Дубровское, 2012	0,687	0,011	2,440	3,190	0,019
17. м. Дубровское, 2013	0,159	0,001	2,700	0,550	0,003
18. м. Дубровское, 2014	0,081	0,001	1,512	1,323	0,009
19. м. Дубровское, 2015	0,482	0,007	2,725	3,625	0,009
20. м. Дубровское, 2016	0,160	0,001	50,460	3,210	0,018
21. м. Дубровское, 2017	0,166	0,001	1,748	0,713	0,002
22. м. Дубровское, 2018	0,067	0,004	1,971	0,020	0,001
23. м. Дубровское, 2019	0,034	0,001	0,749	0,017	0,001
24. м. Дубровское, 2021	0,053	0,001	1,161	0,005	0,001
Дальнегорский район					
25. Рудник Советский, 2001	0,001	0,123	0,216	0,593	0,023
26. Рудник Советский, 2003	0,015	0,200	0,614	0,918	0,018
27. Рудник Советский, 2006*	0,011	0,584	1,281	2,895	0,056
28. Рудник Советский, 2006**	0,003	0,262	0,687	1,252	0,029
29. Рудник Советский, 2007	0,008	1,033	0,937	9,309	0,033
30. Рудник Советский, 2010	0,002	0,121	0,390	0,330	0,015
31. Рудник Советский, 2011	0,114	5,350	9,790	27,222	0,041
32. Рудник Советский, 2012**	0,004	0,246	0,532	0,938	0,030
33. Рудник Советский, 2013**	0,004	0,085	0,650	1,080	0,026
34. Рудник Советский, 2014***	0,014	0,447	1,208	2,148	0,034
35. м. Краснореченское, 2015	0,031	0,076	0,001	2,928	0,006
36. Рудник Советский, 2016	0,189	0,920	0,040	0,350	0,614
37. Рудник Советский, 2017	0,001	0,034	0,131	0,036	0,011
38. Рудник Советский, 2018	0,001	0,041	0,273	0,026	0,009
39. Рудник Советский, 2019	0,001	0,016	0,156	0,004	0,010
40. Рудник Советский, 2020	0,001	0,013	0,134	0,004	0,016
41. Рудник Советский, 2021	0,001	0,107	0,066	0,002	0,002

Примечания: м. – месторождение, * – пробы отбирались летом, если в этом году отбор проходил многократно: ** – пробы отбирались осенью, *** – пробы отбирались весной. Содержание S в рудничных водах Кавалеровского района изменяется от 7,2 до 216, Дальнегорского – от 18,4–192 мг/л.



что выше фоновых характеристик в 76 500 раз, поэтому ее извлечение из таких вод даже было признано рентабельным. В рудничных водах м. Перевальное (олово-полиметаллические руды) содержание (мг/л) Zn достигает 78, а Pb – 1,56, что превышает фоновые значения в 8611 и 1560 раз соответственно. В них также установлены очень высокие содержания Fe – 71,4, As – 0,6 мг/л, превышающие фон в 6490 и 1000 соответственно (см. табл. 1). В Кавалеровском районе максимальные содержания отмечаются для Cu, Pb, Zn, Fe, As на м. Дубровское и составляют (мг/л): 0,687, 0,007, 50,46, 3,625, 0,019 соответственно, а превышения фоновых значений – в 343,3, 7, 5606, 329,5, 9,5 раз соответственно. Рудничные воды рудника 1-й Советский Дальнегорского района содержат: Cu, Pb, Zn, Fe, As до 0,189, 5,35, 9,79, 27,222, 0,614 мг/л, что превышает фоновые показатели в 94,5, 3147, 1088, 2593, 1023 раз соответственно.

Дебит рудничного водоотлива непостоянен и значительно варьируется по разным рудникам Кавалеровского района, достигая 3600 м³/сут. Объем стоков на рудниках касситерит-сульфидных руд в данном районе в 1985–1988 гг. составил (тыс. м³): 296 (Силинский), 316 (Высокогорский), 758 (Тернистый), 895 (Центральный), 1208 (Юбилейный) и 1750 (Арсеньевский). В этот период были установлены следующие количества ряда элементов в рудничных водах (кг): Fe – от 18 до 859, Cu – 2–62 и Zn – 37–3221.

Такие высокие концентрации элементов сульфидных руд отмечаются в рудничных водах после кристаллизации их широкого спектра техногенных минералов: познякита, серпирита, вудвардита, роуволфита, питтицита, глоккерита, гизингирита и др. Они в виде сталактитов, сталагмитов или просто натечных образований белого, голубого, зеленого, коричневого и черного цвета разных оттенков постоянно встречаются в подземных горных выработках. Их мощность может достигать 0,5 м [13–15].

Высококонцентрированные рудничные воды круглогодично на протяжении многих десятилетий, ничем не очищаемые и не сдерживаемые, попадают в поверхностные и грунтовые воды. Некоторые речные воды, например р. Силинка (Комсомольский район) и р. Высокогорка (Кавалеровский район), используются для питьевого водоснабжения.

Цель данной работы – оценить состав рудничных вод, изучить условия их формирования, ионный состав, установить параметры кристаллизации из ряда гипергенных природных и техногенных минералов и показать их возможные парагенетические ассоциации с использованием программного комплекса физико-химического моделирования «Селектор». А также показать их негативное воздействие на гидросферу и здоровье людей, проживающих в данных районах. Для достижения данной цели решались следующие задачи:

1. Установить Eh-pH параметры микропоровых растворов и состав техногенных минералов, которые из них кристаллизуются.

2. Определить температурный интервал их образования в диапазоне от –25 до +45 °С.

3. Определить парагенетические ассоциации осаждающихся (выпадающих из раствора) минералов.

4. Установить формы нахождения элементов сульфидных руд в рудничных водах (водные частицы (aqueous species) – комплексные соединения и простые ионы).

5. Показать их воздействие на гидросферу и здоровье людей, проживающих в данных районах.

Методы исследования

При моделировании использовалась программа «Селектор» (разработчики И.К. Карпов и др., Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН), в основе которой лежит математический подход выпуклого программирования (convex programming), позволяющий установить равновесие в гетерогенных системах путем минимизации термодинамических потенциалов (свободной энергии Гиббса). Программа позволяет рассчитать фазовый и компонентный состав термодинамической мультисистемы при разных температурах и давлении с учетом коэффициентов активности. Изотермические изменения термодинамических функций вычисляются с помощью уравнений зависимости изменения объема конденсированных фаз от температуры, давления и полуэмпирических уравнений состояний газов при указанных параметрах.

Для формирования моделей на начальном этапе требовались термодинамические параметры компонентов: независимые – химический состав системы, зависимые – потенциально образующиеся в системе. Зависимые компоненты представлены следующими фазами: газовыми (атмосферными и образующимися в результате протекания реакций окисления сульфидов), жидкими водными (ионы и молекулы, формирующиеся в растворах) и твердыми (гипогенные, гипергенные природные и техногенные минералы, присутствующие в горнопромышленной техногенной системе района) [16, 17]. При моделировании использовались как термодинамические параметры, заложенные в самой программе [18–20], так и найденные в литературных источниках [21, 22].

Модели системы представлены следующим химическим составом [23]: атмосфера (Ar – 3,209, C – 0,1036, N – 53,9478, O – 144,8472, моль)– 10 кг [24], вода (H₂O) – 1 кг и руда – минерал (окисляющийся) – 0,1 кг. В расчетах учитывались независимые (Ar–N–C–Fe–Cu–Pb–Zn–Ag–S–As–Sb–H–O–e) и зависимые компоненты: формы нахождения элементов в растворе (водные частицы – простые и комплексные соединения), газы, минералы, твердые растворы и лёд. Для моделирования задавались следующие термобарометрические условия: температура от –25 до +45 °С (изменяющаяся с шагом 5 °С) при постоянном давлении 1 атм.

Все перечисленные параметры были введены в программу «Селектор», которая производит расчет равновесного состава газовой, жидкой и твердой фаз системы. Полученные результаты моделирования анализируются и верифицируются.

Минеральный состав первичных руд (массой 0,1 кг) при моделировании для каждого из трех рас-



смагриваемых районов взят из соответствующих литературных источников: для Комсомольского [25, 26], Кавалеровского [27], Дальнегорского [28]. Моделирование формирования рудничных вод проводилось для условий окисления различных сульфидов (халькозин, ковеллин, борнит, пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит и сфалерит), а в Дальнегорском районе дополнительно введены минералы Ag (аргентит и акантит) и Sb (пираргирит и джемсонит). Были созданы модели окисления каждого сульфида (из расчета 100 %), затем совместно (в различных комбинациях от 5 до 20 % каждого) и с поочередным исключением одного из всего списка минералов (рассмотрено 100 вариантов моделей).

В Комсомольском районе при моделировании в расчётах учитывались: 11 независимых компонентов и зависимые компоненты, из которых: от 90 до 222 – водные частицы, 18 – газы, от 3 до 40 – минералы, включая лед. В Кавалеровском районе в расчётах учитывались: 11 независимых компонентов и зависимые, из которых: от 99 до 238 – водные частицы, 18 – газы, от 12 до 34 – минералы, включая лед. В Дальнегорском районе в расчётах учитывались: 13 независимых компонентов и зависимые, из которых: от 86 до 257 – водные частицы, 18 – газы, от 1 до 30 – минералы, включая лед.

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве объекта моделирования выбраны сульфидные минералы, формирующие рудные тела на месторождениях, которые могут быть как мономинеральные, так и полиминеральные. Гипергенные процессы в рудных телах горных выработок исследованы как путем непосредственного наблюдения [13, 15], так и методом физико-химического моделирования [29, 30]. Формирующиеся многочисленные микропоровые растворы при окислении сульфидов в разных точках рудного тела объединяются в рудничные воды и ничем не очищаемые вытекают из горных выработок круглосуточно и круглогодично.

Моделирование окисления минералов зоны цементации: халькозина, ковеллина и борнита при отрицательных температурах в **Комсомольском районе** показало, что моделируемые растворы (микропоровые) имеют Eh-pH параметры от 0,74 до 1,13 В и от 1,6 до 10,0 соответственно, из которых кристаллизуются следующие минералы: гетит – $\text{FeO} \cdot \text{OH}$, халькантит – $\text{Cu}[\text{SO}_4] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ и роуволфит – $\text{Cu}_4[\text{SO}_4](\text{OH})_6 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а при положительных – 1,02–1,06 В и 1,6–3,3, появляются дополнительно познякит – $\text{Cu}_4[\text{SO}_4](\text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и антлерит – $\text{Cu}_5[\text{SO}_4](\text{OH})$. Моделируемые растворы при окислении сфалерита при отрицательных температурах имеют следующие параметры: Eh 1,13–1,17 В и pH 1,3–1,9, а при положительных температурах – Eh 1,14–1,15 В и pH 1,3–1,5, причем только при температурах от –25 до –20 °С осаждается минерал госларит – $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, а при всех других значениях температуры цинк и сера остаются в растворе. Окисление галенита приводит к формированию англезита PbSO_4 во всем рассматриваемом интервале температур, а Eh-pH параметры растворов

изменяются в интервалах Eh 1,05–1,16 В и pH 1,5–2,6. При окислении пирита и пирротина во всем температурном интервале формируются растворы с параметрами – Eh 1,17–1,21 В и pH 0,04–1,0, из которых осаждаются гетит. Моделирование окисления халькопирита показывает кристаллизацию халькантита и гетита из растворов с параметрами Eh 1,16–1,2 В и pH 0,05–1,2. При окислении арсенопирита при отрицательных температурах из растворов осаждаются гетит и скородит $\text{Fe}[\text{AsO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, а при положительных температурах только первый минерал, при этом параметры микропоровых растворов Eh 1,16–1,19 В и pH 0,6–1,3.

Остальные одиннадцать вариантов окисления сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькозин, ковеллин и борнит) с поочередным исключением каждого из перечисленных в скобках минералов показали, что Eh-pH параметры растворов находятся в пределах Eh 0,55–1,19 В и pH 0,5–2,0. При этом из растворов осаждаются минералы: гетит, халькантит, плюмбоярозит – $\text{PbFe}_6^{+3}[\text{SO}_4]4(\text{OH})_{12}$ и скородит. Отсутствие в системе арсенопирита исключает из парагенетической ассоциации техногенных минералов скородит, а галенита – плюмбоярозит.

Следует отметить, что в криогенных условиях здесь и далее концентрации большинства ионов в растворах (жидкой фазы воды) достигают сотен г/л, т. к. большая часть воды присутствует в форме твердой фазы (лед). Растворы содержат следующие ионы и молекулы – рис. 1. В интервале положительных температур из растворов исчезают частицы (комплексы) $\text{Cu}(\text{CO}_3)_2^{2-}$, $\text{Pb}(\text{SO}_4)_2^{2-}$, FeSO_4 , а концентрация остальных снижается на порядок.

Моделирование окисления минералов зоны цементации – халькозина, ковеллина и борнита – показало, что в криогенных условиях Eh-pH параметры полученных растворов в **Кавалеровском районе** совпадают с полученными для Комсомольского района, причем из парагенезиса выпавших в осадок минералов исчезает гетит, но появляется фиброферрит – $\text{Fe}^{+3}[\text{SO}_4](\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. В интервале положительных температур величина окислительно-восстановительного потенциала (Eh) достигает 1,13 В, но образующаяся ассоциация техногенных минералов не изменяется, за исключением смены гетита на фиброферрит. Моделируемые растворы при окислении сфалерита при отрицательных температурах имеют параметры: Eh 1,16–1,17 В и pH 1,3–1,4, при положительных температурах – Eh 1,14–1,15 В и pH 1,1–1,3. Так же как и в Комсомольском районе, при температурах от –25 до –20 °С осаждаются госларит, а в остальных вариантах цинк и сера остаются в растворе. Окисление галенита также способствует осаждению англезита во всем рассматриваемом интервале температур с теми же Eh-pH параметрами растворов. При окислении пирита и пирротина во всем температурном интервале осаждаются фиброферрит, а растворы имеют следующие параметры: Eh 0,84–1,24 В и pH 0,1–5,7. Моделирование окисления халькопирита показывает кристаллизацию халькантита с фиброферритом из растворов с параметрами: Eh 1,08–1,14 В и pH 1,6–3,0. При окис-

лении арсенопирита в рассматриваемом интервале температур осаждается только фиброферрит, а Eh-pH параметры растворов: Eh 1,14–1,20 В и pH 0,7–1,2.

Следующие одиннадцать вариантов окисления сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькозин, ковеллин и борнит) с поочередным исключением каждого из перечисленных в скобках минералов показали, что при отрицательных температурах Eh-pH параметры растворов находятся в пределах: Eh 1,1–1,2 В и pH 0,6–2,3. При этом из них осаждаются: фиброферрит, халькантит и англезит. Отсутствие в системе пирита приводит к кристаллизации дюфрита $CuPb[AsO_4](OH)$ и байдонита $Cu_3Pb[AsO_4]_2(OH)_2$, а при удалении галенита осаждаются халькантит и фиброферрит.

Растворы содержат следующие водные частицы (комплексные соединения), рис. 2. В интервале по-

ложительных температур в растворе появляются ион Pb^{2+} и нейтральная частица $PbSO_4$, а концентрация всех ионов, присутствующих в криогенных условиях, снижается на порядок или два.

Моделирование окисления минералов зоны цементации – халькозина, ковеллина и борнита – в рассматриваемом интервале температур в **Дальнегорском районе** (на примере руд *рудника Советский*) показывает формирование парагенезиса минералов халькантита и брошантита – $Cu_4[SO_4](OH)_6$, а при наличии борнита осаждаются еще и гетит. При этом Eh-pH параметры растворов: Eh 0,66–1,13 В и pH от 1,6 до 4,4 (при положительных температурах) и до 11,7 (при отрицательных температурах). Окисление сфалерита во всем интервале температур способствует поступлению цинка и серы в раствор, который имеет параметры: Eh 1,12–1,17 В и pH 1,3–1,9.

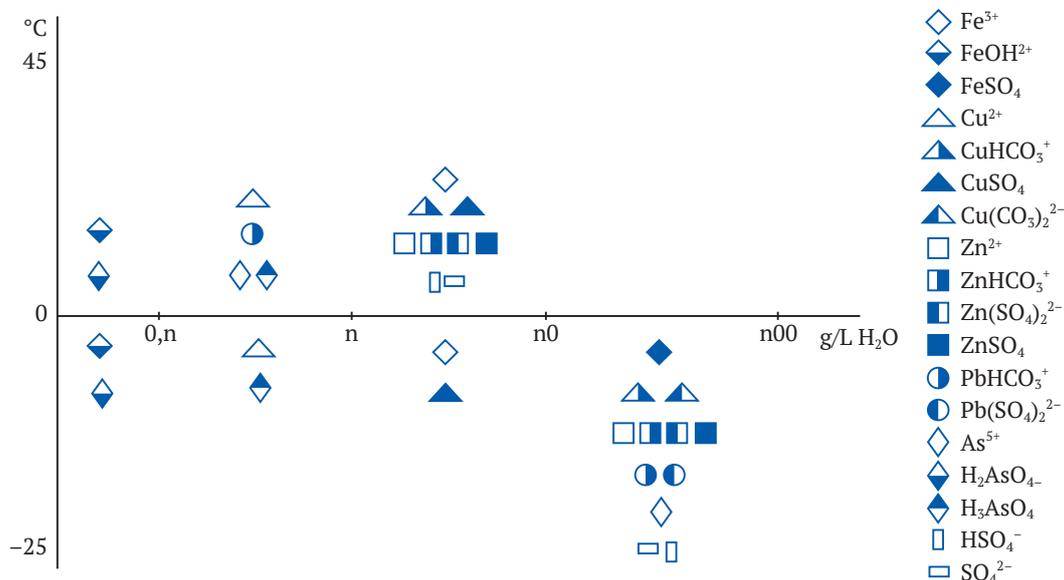


Рис. 1. Содержание водных частиц – форм нахождения элементов сульфидных руд в микропоровых растворах, формирующих рудничные воды, г/л H_2O

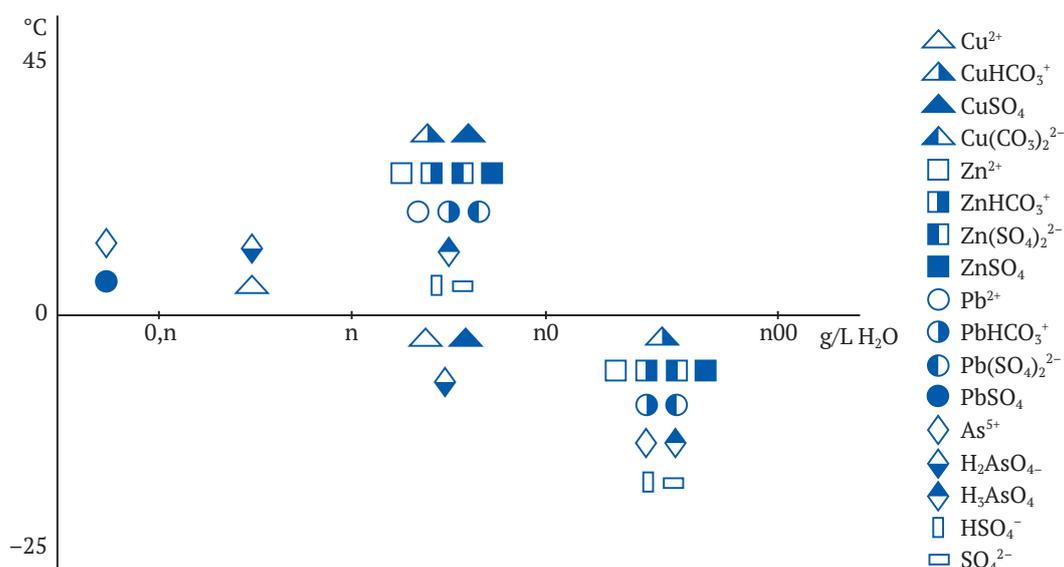


Рис. 2. Содержание водных частиц (комплексных соединений) элементов сульфидных руд в микропоровых растворах, формирующих рудничные воды в Кавалеровском районе, г/л H_2O

Окисление галенита в интервале от -25 до $+45$ °С, как и в предыдущих случаях, приводит к осаждению англезита, при этом Eh–рН параметры растворов: Eh 1,05–1,19 В и рН 0,8–2,6. При окислении пирита и пирротина во всем температурном интервале осаждается гетит, а растворы имеют параметры: Eh 1,13–1,17 В и рН 0,7–2,1. Моделирование окисления халькопирита показывает кристаллизацию из растворов халькантита и гетита при параметрах: Eh 1,13–1,16 В и рН 0,9–2,2. Окисление арсенопирита способствует осаждению гетита при параметрах растворов: Eh 1,11–1,14 В и рН 1,9–2,3.

Из руд Дальнегорского района, содержащих аргентит, акантит, пираргирит, джемсонит, извлекается Ag. Далее смоделируем окисление этих минералов в рудном теле как изолированно, так и с включением их в остальные варианты. Окисление аргентита, акантита и пираргирита способствует переходу серебра в растворы как при отрицательных температурах, так и при положительных температурах, а их параметры: Eh 1,05–1,2 В и рН 0,6–2,5. При окислении джемсонита во всем интервале температур осаждаются англезит и плюмбоярозит, параметры растворов: Eh 1,16–1,2 В и рН 0,7–1,1.

Далее рассмотрим следующие пятнадцать вариантов окисления сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькозин, ковеллин, борнит, аргентит, акантит, пираргирит и джемсонит) с поочередным исключением каждого из перечисленных в скобках минералов. Моделирование окисления в одиннадцати вариантах при отрицательных температурах показывает образование гетита, халькантита (от -25 до -5 °С), плюмбоярозита и адамина $Zn_2[AsO_4](OH)$ в растворах при: Eh 1,12–1,18 В и рН 0,8–2,3. Удаление из ассоциации окисляющихся сульфидов арсенопирита исключает из парагенезиса (парагенетической ассоциации) осаждающихся минералов гетит и адамин (Eh 1,16–1,2 В и рН 0,6–1,2), пирита – гетит (Eh 1,11–1,19 В и рН 0,7–2,1), сфалери-

та – адамин (Eh 1,11–1,16 В и рН 1,1–2,3), а минералов зоны цементации – плюмбоярозит (Eh 1,12–1,15 В и рН 1,3–2,2).

Окисление восьми вариантов ассоциации вышеуказанных сульфидов в интервале положительных температур приводит к кристаллизации: гетита, плюмбоярозита и адамина при параметрах раствора: Eh 1,15–1,18 В и рН 0,8–1,3. Присутствие в ассоциации окисляющихся сульфидов аргентита и акантита приводит к образованию растворов с параметрами: Eh 1,15–1,16 В и рН 0,9–1,1 и замене плюмбоярозита на англезит. Отсутствие в исходной ассоциации арсенопирита и сфалерита исключает из парагенезиса осаждающихся минералов адамин, а параметры растворов становятся следующими: Eh 1,15–1,18 В и рН 0,8–1,2. Отсутствие в исходной ассоциации халькопирита и галенита исключает из парагенезиса осаждающихся минералов гетит (Eh 1,14–1,18 В и рН 0,8–1,2), а в присутствии пираргирита формируются растворы с Eh 1,15–1,16 В и рН 0,8–1,3, что приводит к отсутствию плюмбоярозита среди осаждающихся фаз.

Растворы содержат следующие водные частицы (комплексные соединения и простые ионы), рис. 3. В интервале положительных температур исчезают следующие частицы: $Cu(CO_3)_2^{2-}$, $Pb(SO_4)_2^{2-}$, Ag^+ , но появляются: $FeOH^{2+}$, $FeH_2AsO_4^{2+}$, $AgNO_3$. При этом в растворе концентрация большинства частиц снижается на порядок.

Моделируемое окисление минералов зоны цементации – халькозина и ковеллина – в интервале от -25 до $+45$ °С в **Дальнегорском районе** (на примере руд *м. Краснореченское*) приводит к переходу Cu и S в раствор с Eh–рН параметрами: Eh 0,58–1,12 В и рН от 1,9 до 8,8 (при положительных температурах) и до 13,8 (при отрицательных температурах). Моделирование окисления одного борнита и совместно с другими минералами зоны окисления (ковеллином и халькозином) при отрицательных температурах показывает формирование растворов со следующими параме-

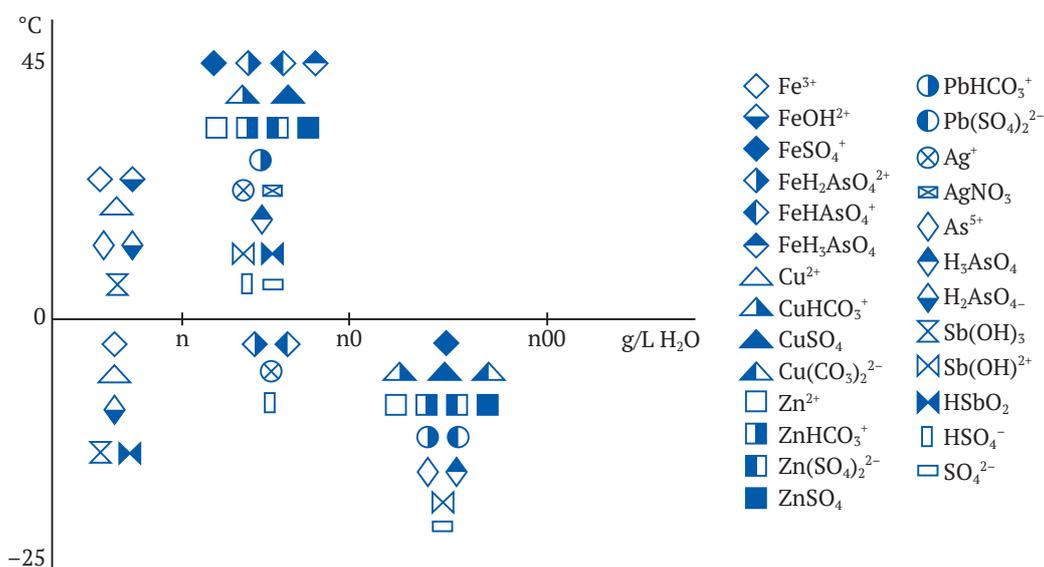


Рис. 3. Содержания водных частиц – форм нахождения элементов сульфидных руд в микропоровых растворах, формирующих рудничные воды в Дальнегорском районе (на примере руд рудника Советский), г/л H_2O



трами: Eh 0,55–0,76 В и pH 8,6–13,8, из которых кристаллизуется фиброферрит, а при положительных температурах: Eh 0,72–0,76 В и pH 7,4–8,7 и дополнительно осаждается гетит. При окислении сфалерита при температурах от –20 до –15 °С (как и в двух предыдущих районах) из растворов осаждается также госларит с параметрами: Eh 1,16–1,17 В и pH 1,4, при всех других температурах Zn и S остаются в растворе (1,12–1,15 В и pH 1,3–1,5). Окисление галенита в рассматриваемом интервале температур, как обычно, приводит к осаждению англезита, а параметры растворов: Eh 1,06–1,16 В и pH 1,5–2,6. При окислении пирита во всем температурном интервале осаждается фиброферрит (параметры растворов: Eh 1,19–1,21 В и pH 0,3–0,7). Окисление пирротина при отрицательных температурах приводит к осаждению фиброферрита (Eh 1,11–1,16 В и pH 1,5–2,1), а при положительных температурах добавляется гетит (Eh 0,88–0,92 В и pH 5,2–5,6). Моделирование окисления халькопирита и арсенопирита показывает кристаллизацию из растворов фиброферрита вне зависимости от температуры, с параметрами: Eh 1,09–1,21 В и 0,3–2,0 и Eh 1,09–1,19 В и pH 1,2–9,9 соответственно в интервале отрицательных и положительных температур. Окисление аргентита и акантита способствует накоплению Ag и S в растворе во всем интервале температур, с такими же параметрами, как и в предыдущем рассмотренном варианте (окисление руд рудника Советский). При окислении пираргирита и джемсонита во всем интервале температур осаждаются англезит, фиброферрит и валентинит Sb_2O_3 , а растворы имеют параметры: Eh 1,18–1,21 В и pH 0,5–0,9.

Далее рассмотрим следующие пятнадцать вариантов окисления сульфидов (пирит, пирротин, халькопирит, арсенопирит, галенит, сфалерит, халькозин, ковеллин, борнит, аргентит, акантит, пираргирит и джемсонит) с поочередным исключением каждого из перечисленных в скобках минералов. Во всех вариантах, где в исходной ассоциации при окислении находятся пираргирит и джемсонит (независимо от температуры), формируется следующий парагенезис минералов: англезит, фиброферрит и валентинит. Рас-

творы имеют следующие параметры: Eh 1,11–1,19 В и pH 0,8–2,2. В остальных моделях во всем интервале температур кристаллизуются англезит и фиброферрит, а параметры растворов: Eh 1,03–1,2 В и pH 0,7–3,5. Удаление из исходной ассоциации галенита приводит к исчезновению из парагенезиса англезита и параметров растворов: Eh 1,11–1,17 В и pH 1,0–2,3.

Растворы содержат следующие ионы и молекулы (рис. 4). В интервале положительных температур в них отсутствуют следующие ионы: Pb^{2+} , Ag^{2+} , $Pb(SO_4)_2^{2-}$ (присутствующие при отрицательных температурах), но появляется Ag^+ . Так же как и в предыдущем случае, при положительных температурах содержание большинства водных частиц в растворе уменьшается на порядок.

В интервале отрицательных температур незамерзающие водные растворы содержат свободную, связанную и парообразную воду, а также осмотически поглощенную и капиллярную [31–33]. Их объём в системах уменьшается со снижением температуры за счет увеличения массы кристаллизующегося льда, поэтому концентрация водных частиц может достигать 900 г/л и более.

Высококонцентрированные рудничные воды круглосуточно, десятилетиями, как отмечалось выше, попадают в поверхностные и грунтовые воды. Следовательно, необходимо их разбавление в десятки, сотни и даже тысячи раз, что не всегда происходит в природе. Исследование речных и подземных (в колодцах) вод в Дальневосточном регионе [2, 3, 34] показало, что они содержат широкий спектр сульфидных элементов в концентрациях выше предельно допустимых как для рыбохозяйственной деятельности, так и хозяйственно-бытовой, в десятки, сотни и даже тысячи раз, поэтому их использование в качестве питьевых недопустимо. Так, например, в колодезных водах в поселках Кавалеровского района содержание (мг/л): Fe – от 5,1 до 10,3, Cu – 0,09–1,5, Pb – 0,01–0,07, Zn – 0,3–17,2, As – 0,03–0,8, что значительно выше допустимых значений [35]. Общеизвестно, что как недостаток, так и избыток жизненно необходимых элементов приводит к многочисленным заболеваниям людей, прожи-

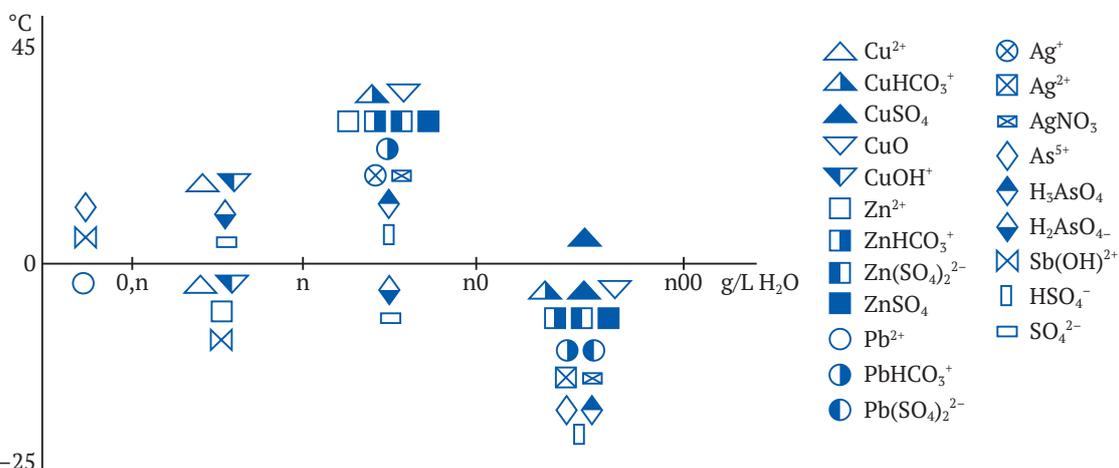


Рис. 4. Содержания водных частиц – форм нахождения элементов сульфидных руд в микропоровых растворах, формирующих рудничные воды в Дальнегорском районе (на примере руд м. Краснореченское), г/л H₂O



вающих в горнопромышленных районах [36, 37]. Токсическое действие элементов на человека зависит от: их химической природы, количества и состава ионов и соединений, а также индивидуальных особенностей организма [38], поэтому было важно установить формы миграции элементов.

Известно, что Pb является одним из сильных токсикантов для живых организмов, а его неорганические соединения, имеющие в составе ион Pb^{2+} , нарушают обмен веществ и выступают ингибиторами ферментов. Длительное потребление воды даже с его низким содержанием является одной из причин острых и хронических заболеваний. Цинк – это элемент, который необходим для человека и животных, но как недостаток, так и избыток его вреден для организма. Он мигрирует в шести различных формах, а при низких температурах преобладает форма Zn^{2+} , хотя с ростом температуры доминирующей становится частица $ZnOH^+$ [39]. Соединения Cu, вступая в реакцию с белками тканей, оказывают резкое раздражающее действие на слизистые оболочки верхних дыхательных путей и желудочно-кишечного тракта, а также вызывают острое отравление. При попадании $CuSO_4$ в желудок человека случается тошнота, рвота, понос, быстрое появление гемоглобина в плазме крови и в моче, желтуха, анемия и т. д. Соединения As действуют на нервную систему, стенки сосудов, вызывают увеличение проницаемости и паралич капилляров. Хроническое воздействие соединений As приводит к желудочно-кишечным расстройствам, отсутствию аппетита, тошноте, боли в желудке, диспепсии, периодическим энтероколитами, хроническим гепатитам, а в тяжелых случаях – к циррозу. Сера и ее соединения высокотоксичны [36].

Проведенный автором анализ заболеваемости населения в период с 1991 по 2001 г. показал, что интенсивный показатель заболеваемости населения в Кавалеровском районе постоянно выше, чем в Комсомольском. К числу наиболее распространенных заболеваний относятся болезни органов пищеварения, которыми болело в Комсомольском районе до 20 % детей и взрослых, а в Кавалеровском соответственно до 70 и 40 %; органов дыхания, которыми болели в Комсомольском районе до 70 % детей и 20 % взрослых, а в Кавалеровском – до 60 % детей и 20 % взрослых; и болезни нервной системы, которыми болело до 17 % детей и 10 % взрослых как в Кавалеровском, так и в Комсомольском районах. За рассматриваемый период времени отмечается тенденция роста в 2 раза практически всех видов болезней как у взрослых, так и у детей, причем заболеваемость детского населения практически по всем болезням значительно превышает уровень взрослых. Следует отметить, что в этот период в связи с перестройкой в стране добыча и переработка руды значительно снизились, а численность населения уменьшилась на 6 % (Кавалеровский) и 18 % (Комсомольский) [15]. Интенсивные показатели заболеваемости в Кавалеровском районе выше, чем в Комсомольском. Они значительно выше или находятся на уровне данных по Приморскому краю в целом по большинству рассматриваемых болезней:

органов пищеварения и дыхания, поджелудочной железы, нервной системы, крови и кроветворных органов, хроническому бронхиту, аллергическому риниту, эпилепсии, нарушениям обмена веществ, хроническим ревматическим болезням сердца и острому инфаркту миокарда.

Результаты анализа биологического материала (волосы детей до 14 лет в п. Фабричный Кавалеровского района) показали уровень содержания соединений тяжелых металлов в нем, превышающий показатели других регионов (Нечерноземье, Центральное Черноземье, Крым и др.) в 1,8 и более раз [35]. Исследования по изучению элементного статуса детей и подростков, проживающих в Комсомольском районе, позволили установить связь изменений в элементном статусе детей с уровнем техногенного загрязнения среды обитания [40]. Авторами работы обнаружены высокие показатели содержания соединений тяжелых металлов, в том числе Pb, Cr, As, и рассчитаны индивидуальные и популяционные канцерогенные риски. Полученный индивидуальный канцерогенный риск $CR = 1,05 \cdot 10^{-3}$ относится к четвертому диапазону и является неприемлемым ни для населения, ни для профессиональных групп.

Заключение

Взаимосвязь между минералами и загрязнителями в виде водных частиц (комплексных соединений и простых ионов), присутствующих в рудничных водах, является важной темой и большой проблемой экологической минералогии и геохимии. Основной целью исследований такого типа является разработка моделей, способных связать полученные данные с макроскопическими наблюдениями в горных выработках.

Минералы играют ключевую роль в контроле подвижности и распространения неорганических загрязнений в окружающей среде, включая поверхностные и грунтовые воды, потому что они участвуют в процессах изменения первичных фаз (гипогенных) и образования вторичных (гипергенных природных и техногенных).

Моделируемые микропоровые растворы, формирующие рудничные воды, имеют широкий спектр Eh–pH параметров: Eh от 0,55 до 1,24 В и pH от 0,3 до 13,8. Из них кристаллизуются техногенные минералы Fe, Cu, Zn, Pb и Sb из классов оксидов и гидроксидов, сульфатов и арсенатов. Высококонцентрированные рудничные воды до и после выпадения из них техногенных минералов, масса которых составляет сотни грамм, попадают в гидросферу. С использованием современных методов анализа и термодинамического моделирования можно не только оценить элементный состав вод и отследить их химические формы, но также оценить их трансформацию при изменении физических условий (температуры и др.). Полученные при моделировании растворы содержат все элементы сульфидных руд: Cu, Zn, Pb, Fe, Ag, As, Sb и S, а их концентрации (в форме водных частиц) достигают десятков грамм на литр, причем в криогенных условиях (при отрицательных температурах) они на порядок и два выше за счет кристаллизации льда. Формы миграции элементов зависят от температурного режима.



Необходимо подчеркнуть, что в данном исследовании выполнялось только термодинамическое моделирование, показывающее термодинамически равновесный состав раствора и термодинамически устойчивые твердые фазы при рассматриваемых физико-химических условиях. В случае реальных процессов гипергенеза на месторождениях рассматриваемых районов, при достаточно низких температурах окружающей среды, и в частности, при отрицательных температурах термодинамическое моделирование дает оценку реального состава растворов и осаждающихся фаз лишь в первом приближении, потенциально. Поскольку в таких условиях решающую роль может играть кинетика реакций растворения и осаждения минералов, кинетические исследования могут составить содержание следующего этапа изучения гипергенного минералообразования, форм и путей миграции металлов в условиях разработки сульфидных месторождений, для представленных в работе и других горнорудных районов.

Результаты анализов гидрохимических проб рудничных вод, отобранных в рассматриваемых районах, и составы полученных при моделировании высококонцентрированных растворов, попадающих до и после осаждения гипергенных минералов в поверхностные и грунтовые воды, показывают негативное воздействие гипергенных природных и техногенных процессов на гидросферу в целом. Употребление таких вод населением приводит к его высокой заболеваемости в районах горнорудного производства Дальневосточного региона.

В рассматриваемых районах отмечается тенденция роста практически всех видов болезней в два раза – как у взрослых, так и у детей, причем заболеваемость детского населения практически для всех рассматриваемых болезней значительно выше, чем у взрослых.

Применение моделирования позволяет оценить временную эволюцию водных систем и может быть полезным инструментом при проведении мониторинга и рекультивационных мероприятий.

Список литературы

1. Грехнев Н. И. Минеральные отходы горных предприятий – экономические и экологические проблемы недропользования в Дальневосточном регионе. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2014;(7):337–343. URL: https://www.giab-online.ru/files/Data/2014/07/55_337-343_Grehnev.pdf
2. Юркевич Н. В., Бортникова С. Б., Саева О. П. Направления подземного и поверхностного стоков с хвостохранилищ горнорудного производства по данным геофизических и геохимических исследований. В: *XI Международный научный конгресс «Интерэкспо Гео-Сибирь-2015». Сб. материалов в 3 т. Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.* Т. 2. С. 305–310. URL: <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/science/publications/publ-napravleniya-podzemnogo-i-poverkhnostnogo-stokov-305310-2015>
3. Шулькин В. М., Чернова Е. Н., Христофорова Н. К., Коженкова С. И. Влияние горнорудной деятельности на изменение химического состава компонентов водных экосистем. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2014;(6):483–494.
4. Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Сомов В. В. и др. Влияние разработки Сибайского месторождения (Южный Урал) на трансформацию потока металлов в подчиненных ландшафтах. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2018;(1):14–24.
5. Ashley P. M., Lottermoser B. G. Arsenic contamination at the mole river mine, northern New South Wales. *Australian Journal of Earth Sciences*. 1999;46(6):861–874. <https://doi.org/10.1046/j.1440-0952.1999.00748.x>
6. Nordstrom D. K., Alpers C. N. Geochemistry of Acid Mine Waters. In: Plumlee G. S., Logsdon M. J. (eds.) *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits*. Society for Economic Geologists; 1999. Pp. 133–160.
7. Nordstrom D. K., Blowes D. W., Ptacek C. J. Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: an update. *Applied Geochemistry*. 2015;57:3–16. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.02.008>
8. Kacmaz H. Assessment of heavy metal contamination in natural waters of Dereli, Giresun: an area containing mineral deposits in northeastern Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2020;192(2):1–12. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8057-0>
9. González R. M. Seasonal variability of extremely metal rich acid mine drainages from the Tharsis mines (SW Spain). *Environmental Pollution*. 2020;259:113829. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113829>
10. Murray J., Nordstrom D. K., Dold B., Kirschbaum A. Seasonal fluctuations and geochemical modeling of acid mine drainage in the semi-arid Puna region: The Pan de Azúcar Pb–Ag–Zn mine, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*. 2021;109:103197. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103197>
11. Зверева В. П. Техногенные воды оловорудных месторождений ДВ. *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2007;(1):51–56.
12. Zvereva V. P. Impact of technogenic wastewaters of Kavalеровskii and Dalnegorskii mining districts on the hydrosphere of Primorsky Krai. *Russian Journal of General Chemistry*. 2019;89(13):2808–2817. <https://doi.org/10.1134/S1070363219130115>
13. Постникова В. П., Яхонтова Л. К. *Минералогия зоны гипергенеза оловорудных месторождений Комсомольского района*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР; 1984. 122 с.
14. Постникова В. П., Яхонтова Л. К. Глоккерит, гизингерит и питтицит из зоны гипергенеза оловорудных месторождений Дальнего Востока. *Минералогический журнал*. 1990;12(1):63–66.
15. Зверева В. П. *Экологические последствия гипергенных процессов на оловорудных месторождениях Дальнего Востока*. Владивосток: Дальнаука; 2008. 165 с.



16. Карпов И.К., Киселев А.И., Летников Ф.А. *Моделирование природного минералообразования на ЭВМ*. М.: Недра; 1976. 255 с.
17. Yokokawa H. Tables of thermodynamic properties of inorganic compounds. *Journal of the National Chemical Laboratory for Industry*. 1988;83:27–121. (In Japanese)
18. SUPCRT Database 1992-1998 Geopig, Arizona State University. <http://geopig.asu.edu/sites/default/files/slop98.dat>
19. Robie R.A., Hemingway B.S. *Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar pressure and at higher temperatures*. Washington; 1995. 461 p.
20. Чудненко К.В. *Термодинамическое моделирование в геохимии: теория, алгоритмы, программное обеспечение, приложения*. Новосибирск: Гео; 2010. 287 с.
21. Ерёмин О.В., Винниченко С.В., Юргенсон Г.А. Оценка стандартных потенциалов Гиббса сульфатов меди при помощи задач линейного программирования. *Вестник отделения наук о Земле РАН*. 2006;(1):19–20.
22. Чарыкова М.В., Кривовивчев В.Г., Деммайер В. Термодинамика арсенатов, селенитов и сульфатов в зоне окисления сульфидных руд. 1. Термодинамические константы при стандартных условиях. *Записки Российского минералогического общества*. 2009;(6):105–117. (Пер. вер.: Charykova M.V., Krivovichev V.G., Depmeir W. Thermodynamics of arsenates, selenites, and sulfates in the oxidation zone of sulfide ores: I. Thermodynamic constants at ambient conditions. *Geology of Ore Deposits*. 2010;52(8):689–700. <https://doi.org/10.1134/S1075701510080015>)
23. Чудненко К.В., Карпов И.К. *Селектор-Windows. Краткая инструкция*. Иркутск; 2003. 90 с.
24. Хорн Р. *Морская химия*. М.: Мир; 1972. 398 с.
25. Радкевич Е.А., Коростелев П.Г., Кокорин А.М. и др. *Минерализованные зоны Комсомольского района*. М.: Наука; 1967. 115 с.
26. Радкевич Е.А., Асманов В.Я., Бакулин Ю.И. и др. *Геология, минералогия и геохимия Комсомольского района*. М.: Наука; 1971. 335 с.
27. Гоневчук В.Г. *Оловоносные системы Дальнего Востока: магматизм и рудогенез*. Владивосток: Дальнаука; 2002. 295 с.
28. Булавко Н.В. *Минералогия скарновых месторождений Дальнегорского рудного поля (Приморье)*. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во; 2000. 219 с.
29. Zvereva V.P., Frolov K.R. Assessment of the impact of technogenic processes occurring at the central concentrating mill tailing dump (Komsomolsky tin-ore district) on the hydrosphere in a wide temperature range. *Russian Journal of General Chemistry*. 2017;87(13):3133–3136. <https://doi.org/10.1134/S1070363217130047>
30. Zvereva V., Lysenko A., Frolov K. Modern minerals formation genesis in Kavaleroovsky tin-ore district technogenic system (Primorsky Krai). *Minerals*. 2020;10(2):9. <https://doi.org/10.3390/min10020091>
31. Ананян А.А. Перемещение влаги в мерзлых рыхлых горных породах под влиянием сил электроосмоса. *Коллоидный журнал*. 1952;14(1):1–9.
32. Птицын А.Б., Абрамова В.А., Маркович Т.И., Эпова Е.С. *Геохимия криогенных зон окисления*. Новосибирск: Наука; 2009. 88 с.
33. Вакулин А.А. *Основы геокриологии*. Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та; 2011. 220 с.
34. Крупская Л.Т., Зверева В.П., Майорова Л.П. и др. *Эколого-геохимические основы оценки влияния техногенной системы на окружающую среду и ее охрана (на примере закрытого горного предприятия «Солнечный ГОК»)*. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та; 2019. 260 с.
35. Крупская Л.Т., Мелкоян Р.Г., Гуль Л.П. и др. *Оценка влияния хвостохранилищ закрытого горного предприятия «Хрустальненский ГОК» Приморского края на экосферу и рекультивация его поверхности*. Хабаровск: Изд-во «ДальНИИЛХ»; 2017. 144 с.
36. *Вредные вещества в промышленности. Справочник для химиков, инженеров и врачей. Т. III. Неорганические и элементоорганические соединения*. Под ред. засл. деят. науки проф. Н.В. Лазарева и докт. биол. наук проф. И.Д. Гадаскиной. Л.: Химия; 1977. С. 332–333.
37. Иванов В.В. *Экологическая геохимия элементов*. М.: Экология; 1994. Т. 1. 304 с. 1995. Т. 4. 416 с. 1996. Т. 3. 352 с. 1997. Т. 5. 576 с.
38. Moiseenko T., Megorsky V., Gashkina N., Kudryavtseva L. Water pollution effect on population health in an industrial northern region. *Water Resources*. 2010;37(2):199–208. <https://doi.org/10.1134/S0097807810020077>
39. Линник П.Н., Набиванец Б.И. *Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах*. Л.: Гидрометеоздат; 1986. 270 с.
40. Растанина Н.К., Колобанов К.А. Воздействие техногенного пылевого загрязнения на экосферу и здоровье человека закрытого горного предприятия Приамурья. *Горные науки и технологии*. 2021;6(1):16–22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-16-22>

References

1. Grehnev N.I. Mining enterprises wastes that create economic and ecologic problems to subsoil usage in the Russian Far Eastern region. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2014;(7):337–343. (In Russ.) URL: https://www.giab-online.ru/files/Data/2014/07/55_337-343_Grehnev.pdf



2. Yurkevich N.V., Bortnikova S.B., Saeva O.P. Directions of groundwater and surface runoff from the mining tailings according geophysical and geochemical research. In: *XI International Scientific Congress "Interexpo GEO-Siberia-2015". Sat. materials in 3 volumes. Novosibirsk, April 13–25, 2015. Vol. 2. Pp. 305–310.* (In Russ.) URL: <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/science/publications/publ-napravleniya-podzemnogo-i-poverkhnostnogo-stokov-305310-2015>
3. Shulkin V.M., Chernova E.N., Khristoforova N.K., Kozhenkova S. I. Influence of mining activity on the chemical composition of water ecosystems. *Geoekologiya. Inzheneraya Geologiya, Gidrogeologiya, Geokriologiya.* 2014;(6):483–494. (In Russ.)
4. Opekunov A. Y., Opekunova M. G., Somov V.V. et al. Influence of the exploitation of Sibay Deposit (the Southern Urals) on the transformation of metal migration in subordinate landscapes. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 5. Geografiya.* 2018;(1):14–24. (In Russ.)
5. Ashley P.M., Lottermoser B.G. Arsenic contamination at the mole river mine, northern New South Wales. *Australian Journal of Earth Sciences.* 1999;46(6):861–874. <https://doi.org/10.1046/j.1440-0952.1999.00748.x>
6. Nordstrom D.K., Alpers C.N. Geochemistry of Acid Mine Waters. In: Plumlee G.S., Logsdon M.J. (eds.) *The Environmental Geochemistry of Mineral Deposits.* Society for Economic Geologists; 1999. Pp. 133–160.
7. Nordstrom D.K., Blowes D.W., Ptacek C.J. Hydrogeochemistry and microbiology of mine drainage: an update. *Applied Geochemistry.* 2015;57:3–16. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.02.008>
8. Kacmaz H. Assessment of heavy metal contamination in natural waters of Dereli, Giresun: an area containing mineral deposits in northeastern Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment.* 2020;192(2):1–12. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-8057-0>
9. González R.M. Seasonal variability of extremely metal rich acid mine drainages from the Tharsis mines (SW Spain). *Environmental Pollution.* 2020;259:113829. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113829>
10. Murray J., Nordstrom D.K., Dold B., Kirschbaum A. Seasonal fluctuations and geochemical modeling of acid mine drainage in the semi-arid Puna region: The Pan de Azúcar Pb–Ag–Zn mine, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences.* 2021;109:103197. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2021.103197>
11. Zvereva V.P. Man-made water of tin deposits in the Far East. *Geoekologiya. Inzheneraya Geologiya, Gidrogeologiya, Geokriologiya.* 2007;(1):51–56.
12. Zvereva V.P. Impact of technogenic wastewaters of Kavalerovskii and Dalnegorskii mining districts on the hydrosphere of Primorsky Krai. *Russian Journal of General Chemistry.* 2019;89(13):2808–2817. <https://doi.org/10.1134/S1070363219130115>
13. Postnikova V.P., Yakhontova L.K. *Mineralogy of supergene zone of tin deposits of Komsomolsky district.* Vladivostok: DVNTs AN USSR (Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences); 1984. 122 p. (In Russ.)
14. Postnikova V.P., Yakhontova L.K. Glockerite, giesingerite and pitticite from the zone of hypergenesis of tin ore deposits of the Far East. *Mineralogicheskii Zhurnal.* 1990;12(1):63–66. (In Russ.)
15. Zvereva V.P. *Environmental consequences of hypergenic processes in tin ore deposits of the Far East.* Vladivostok: Dalnauka Publ.; 2008. 165 p. (In Russ.)
16. Karpov I.K., Kiselev A.I., Letnikov F.A. *Computer simulation of natural mineral formation.* Moscow: Nedra Publ.; 1976. 255 p. (In Russ.)
17. Yokokawa H. Tables of thermodynamic properties of inorganic compounds. *Journal of the National Chemical Laboratory for Industry.* 1988;83:27–121. (In Japanese)
18. SUPCRT Database 1992–1998 Geopig, Arizona State University. <http://geopig.asu.edu/sites/default/files/slop98.dat>
19. Robie R.A., Hemingway B.S. *Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar pressure and at higher temperatures.* Washington; 1995. 461 p.
20. Chudnenko K.V. *Thermodynamic simulation in geochemistry: theory, algorithms, software, and applications.* Novosibirsk: Geo Publ.; 2010. 287 p. (In Russ.)
21. Yeremin O.V., Vinnichenko S.V., Yurgenson G.A. Estimation of standard Gibbs potentials of copper sulfates by means of linear programming techniques. *Vestnik Otdeleniya nauk o Zemle RAN (Bulletin of the Department of Earth Sciences of the Russian Academy of Sciences).* 2006;(1):19–20. (In Russ.)
22. Charykova M.V., Krivovichev V.G., Depmeir W. Thermodynamics of arsenates, selenites, and sulfates in the oxidation zone of sulfide ores: I. Thermodynamic constants at ambient conditions. *Geology of Ore Deposits.* 2010;52(8):689–700. <https://doi.org/10.1134/S1075701510080015> (Orig. ver.: Charykova M.V., Krivovichev V.G., Depmeir W. Thermodynamics of arsenates, selenites, and sulfates in the oxidation zone of sulfide ores: I. Thermodynamic constants at ambient conditions. *Zapiski RMO (Proceedings of the Russian Mineralogical Society).* 2009;(6):105–117. (In Russ.))
23. Chudnenko K.V., Karpov I.K. *Selektor-Windows. Brief instruction.* Irkutsk; 2003. 90 p. (In Russ.)
24. Horn R. *Marine chemistry.* Moscow: Mir Publ.; 1972. 398 p. (In Russ.)
25. Radkevich E.A., Korostelev P.G., Kokorin A.M. et al. *Mineralized zones of the Komsomolsky district.* Moscow: Nauka Publ.; 1967. 115 p. (In Russ.)
26. Radkevich E.A., Asmanov V.Ya., Bakulin Yu.I. et al. *Geology, mineralogy and geochemistry of the Komsomolsky district.* Moscow: Nauka Publ.; 1971. 335 p. (In Russ.)
27. Gonevchuk V.G. *Tin-bearing systems of the Far East: magmatism and ore genesis.* Vladivostok: Dalnauka Publ.; 2002. 295 p. (In Russ.)



28. Bulavko N.V. *Mineralogy of skarn deposits of the Dalnegorsk ore field (Primorye)*. Vladivostok: Far Eastern Book Publisher; 2000. 219 p. (In Russ.)
29. Zvereva V.P., Frolov K.R. Assessment of the Impact of Technogenic Processes Occurring at the Central Concentrating Mill Tailing Dump (Komsomolsky Tin-Ore District) on the Hydrosphere in a Wide Temperature Range. *Russian Journal of General Chemistry*. 2017;87(13):3133–3136. <https://doi.org/10.1134/S1070363217130047>
30. Zvereva V., Lysenko A., Frolov K. Modern minerals formation genesis in Kavalerovsky tin-ore district technogenic system (Primorsky Krai). *Minerals*. 2020;10(2):9. <https://doi.org/10.3390/min10020091>
31. Ananyan A.A. The movement of moisture in frozen loose rocks under the influence of electroosmosis forces. *Colloidal Journal*. 1952; 14(1):1–9. (In Russ.)
32. Ptitsyn A.B., Abramova V.A., Markovich T.I., Epova E.S. *Geochemistry of cryogenic oxidation zones*. Novosibirsk: Nauka Publ.; 2009. 88 p. (In Russ.)
33. Vakulin A.A. *Fundamentals of Geocryology*. Tyumen: Tyumen State University Publ.; 2011, 220 p. (In Russ.)
34. Krupskaya L.T., Zvereva V.P., Mayorova L.P. et al. *Ecological and geochemical bases for assessing the impact of the technogenic system on the environment and its protection (on the example of the closed mining enterprise "Solnechny GOK")*. Khabarovsk: Pacific State University Publ.; 2019. 260 p. (In Russ.)
35. Krupskaya L.T., Melkonyan R.G., Gul L.P. et al. *Assessment of the impact of tailings ponds of the closed mining enterprise "Khrustalnensky GOK" of the Primorsky Territory on the ecosystem and reclamation of its surface*. Khabarovsk: DalNIILKH Publishing House; 2017. 144 p. (In Russ.)
36. Lazarev N.V., Gadaskina I.D. *Hazardous Substances in Industry. Handbook for chemists, engineers and doctors. Vol. 3. Inorganic and organometallic compounds*. Leningrad: Khimiya Publ.; 1977. Pp. 332–333. (In Russ.)
37. Ivanov V.V. *Ecological geochemistry of elements*. Moscow: Ekologiya Publ.; 1994. Vol. 1. 304 p. (In Russ.) 1995. Vol. 4. 416 p. (In Russ.) 1996. Vol. 3. 352 p. (In Russ.) 1997. Vol. 5. 576 p. (In Russ.)
38. Moiseenko T., Megorsky V., Gashkina N., Kudryavtseva L. Water pollution effect on population health in an industrial northern region. *Water Resources*. 2010;37(2):199–208. <https://doi.org/10.1134/S0097807810020077>
39. Linnik P.N., Nabivanets B.I. *Forms of metal migration in fresh surface waters*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ.; 1986. 270 p. (In Russ.)
40. Rastanina N.K., Kolobanov K.A. Impact of technogenic dust pollution from the closed mining enterprise in the Amur Region on the ecosystem and human health. *Mining Sciences and Technologies (Russia)*. 2021;6(1):16–22. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-1-16-22>

Информация об авторах

Валентина Павловна Зверева – доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Лаборатория геохимии гипергенных процессов, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Российская Федерация; ORCID [0000-0001-8288-0993](https://orcid.org/0000-0001-8288-0993), Scopus ID [14628094500](https://scopus.com/authorid/14628094500), ResearcherID [D-6017-2014](https://orcid.org/D-6017-2014); e-mail: zvereva@fegi.ru

Константин Русланович Фролов – кандидат химических наук, старший преподаватель, базовая кафедра химических и ресурсосберегающих технологий, Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-6122-2980](https://orcid.org/0000-0002-6122-2980), Scopus ID [55570105700](https://scopus.com/authorid/55570105700), ResearcherID [Q-1471-2016](https://orcid.org/Q-1471-2016); e-mail: frolov.kr@dvfu.ru

Анастасия Игоревна Лысенко – кандидат химических наук, научный сотрудник, Лаборатория геохимии гипергенных процессов, Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-6439-0736](https://orcid.org/0000-0002-6439-0736), Scopus ID [55569808000](https://scopus.com/authorid/55569808000); e-mail: lion8888@inbox.ru

Information about the authors

Valentina P. Zvereva – Dr. Sci. (Geol. and Min.), Chief Researcher, Laboratory of Hypergene Processes Geochemistry, Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation; ORCID [0000-0001-8288-0993](https://orcid.org/0000-0001-8288-0993), Scopus ID [14628094500](https://scopus.com/authorid/14628094500), ResearcherID [D-6017-2014](https://orcid.org/D-6017-2014); e-mail: zvereva@fegi.ru

Konstantin R. Frolov – Cand. Sci. (Chem.), Associate Professor, Department of Petroleum Technology and Petrochemicals, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation; ORCID [0000-0002-6122-2980](https://orcid.org/0000-0002-6122-2980), Scopus ID [55570105700](https://scopus.com/authorid/55570105700), ResearcherID [Q-1471-2016](https://orcid.org/Q-1471-2016); e-mail: frolov.kr@dvfu.ru

Anastasiya I. Lysenko – Cand. Sci. (Chem.), Researcher, Laboratory of Hypergene Processes Geochemistry, Far East Geological Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation; ORCID [0000-0002-6439-0736](https://orcid.org/0000-0002-6439-0736), Scopus ID [55569808000](https://scopus.com/authorid/55569808000); e-mail: lion8888@inbox.ru

Поступила в редакцию	15.06.2022	Received	15.06.2022
Поступила после рецензирования	29.07.2022	Revised	29.07.2022
Принята к публикации	01.09.2022	Accepted	01.09.2022



ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВОМ КОМПЛЕКСЕ И ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-216-230>

УДК 556.3(571.1)

Природа радиоактивности дренажных вод карьеров Новосибирской области

А. С. Деркачев^{1,2} , А. А. Максимова^{1,2}  , Д. А. Новиков^{1,2} , Ф. Ф. Дульцев^{1,2} ,
А. Ф. Сухорукова¹ , А. В. Черных^{1,2} , А. А. Хващевская³ 

¹ Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация

² Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация

³ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация

✉ rock.nastaya64@gmail.com

Аннотация

Актуальность исследования заключается в получении первых геохимических данных (включая ин-формацию о радионуклидах) о дренажных водах разрабатываемых и затопленных карьеров в пре-делах восточных районов Новосибирской области. Целью исследования является выявление осо-бенностей химического состава дренажных вод (широкого спектра химических элементов от Li до U). Лабораторное изучение химического состава методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой проводилось в Проблемной научно-иссле-довательской лаборатории гидрогеохимии (ПНИЛ ГХ) Инженерной школы природных ресурсов Томского политехнического университета (ИШПР ТПУ). Измерение содержаний ²²²Rn в водах прово-дилось на комплексе «Альфарад плюс» в лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука Сибирского отделения Россий-ской академии наук (ИНГГ СО РАН). Разделение данных на однородные геохимические совокупно-сти выполнено с помощью коэффициентов Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si. Установлено, что хи-мический состав изученных объектов весьма разнообразен. Доминируют воды SO₄-HCO₃ Na-Mg-Ca состава с величиной общей минерализации от 400 до 700 мг/дм³. Выявлены три геохимические груп-пы вод. Первая представлена дренажными водами разрабатываемых карьеров бутового камня, вторая включает в себя объекты Горловского угольного бассейна и третья – отработанные затопленные карье-ры. Первая группа характеризуется окислительными параметрами геохимической среды с Eh, изме-няющимся в широком диапазоне от +84,6 до +261,0 мВ, рН от 6,9 до 8,6 и O₂раств. от 3,43 до 14,39 мг/дм³. Содержания радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U 9,30·10⁻³ – 1,40; ²³²Th 1,00·10⁻⁶ – 2,16·10⁻³; активность ²²²Rn изменяется от 1 до 572,5 Бк/дм³. Отношение ²³²Th/²³⁸U находится в диапазоне от 4,20·10⁻⁵ до 2,69·10⁻⁵ при среднем 8,40·10⁻⁴. Вторая группа отличается меньшей вариацией Eh от +133,2 до +199,6 мВ, рН от 7,5 до 8,5 и O₂раств. от 6,81 до 10,43 мг/дм³. Концентрации радионуклидов изменяются (мг/дм³): ²³⁸U 2,26·10⁻³ – 2,90·10⁻²; ²³²Th 7,15·10⁻⁶ – 5,57·10⁻⁴. Отношение ²³²Th/²³⁸U нахо-дится в диапазоне от 8,37·10⁻⁴ до 4,80·10⁻² при среднем 9,54·10⁻³. Третья группа также характери-зуется окислительной геохимической обстановкой с Eh +131,3– +250,0 мВ, рН от 6,9 до 8,8 и O₂раств. от 4,00 до 16,59 мг/дм³. Содержания радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U 3,00·10⁻⁴ – 2,74·10⁻²; ²³²Th 1,65·10⁻⁶ – 1,15·10⁻⁵; активность ²²²Rn изменяется от 2 до 31 Бк/дм³. Отношение ²³²Th/²³⁸U на-ходится в диапазоне от 2,36·10⁻⁴ до 1,02·10⁻³ при среднем 6,25·10⁻⁴. В целом ²³²Th/²³⁸U отношение изученных вод свидетельствует об их урановой природе радиоактивности. Полученные данные го-ворят о незначительном влиянии сброса дренажных вод разрабатываемых месторождений полезных ископаемых на окружающую среду.

Ключевые слова

дренажные воды, геохимия, радионуклиды, карьеры, Новосибирская область, Западная Сибирь

Благодарности

Экспедиционные исследования проведены при финансовой поддержке проектов Министерства науки и высшего образования РФ № FWZZ-2022-0014 и № FSWW-0022-2020, аналитические работы по изуче-нию химического состава дренажных вод выполнены при поддержке проекта № 22-17-20029 Россий-ского научного фонда и Правительства Новосибирской области.

Для цитирования

Derkachev A.S., Maksimova A.A., Novikov D.A., Dultsev F.F., Sukhorukova A.F., Chernykh A.V., Khva-сhevskaya A.A. Nature of radioactivity of quarry drainage waters in the Novosibirsk region. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):216–230. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-216-230>



SAFETY IN MINING AND PROCESSING INDUSTRY AND ENVIRONMENTAL PROTECTION

Research paper

Nature of radioactivity of quarry drainage waters in the Novosibirsk region

A. S. Derkachev^{1,2} , A. A. Maksimova^{1,2}   , D. A. Novikov^{1,2}  , F. F. Dultsev  ,
A. F. Sukhorukova¹ , A. V. Chernykh^{1,2}  , A. A. Khvashevskaya³ ¹ Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation³ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

✉ rock.nastaya64@gmail.com

Abstract

This study is relevant for obtaining the first geochemical data (including information on radionuclides) on the drainage waters of developed and flooded quarries in the eastern areas of the Novosibirsk Region. The objective of the study was to identify the features of the chemical composition of drainage waters (a wide range of chemical elements from Li to U). The study was carried out by titrimetry, ion chromatography and mass spectrometry with inductively coupled plasma in a laboratory setting at the Hydrogeochemical Problem Research Laboratory (PNIL GGH) of the Engineering School of Natural Resources of Tomsk Polytechnic University (IShPR TPU). Measurements of ²²²Rn in waters were carried out at the Alfarad Plus facility of the Laboratory of Siberian Sedimentary Basins Hydrogeology of the A. A. Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (INGG SB RAS). The data were divided into homogeneous geochemical populations using the coefficients Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si. The chemical composition of the studied objects was found to be highly diverse. The dominant waters have the chemical formula SO₄–HCO₃/Na–Mg–Ca with a TDS (total dissolved solids) of 400 to 700 mg/dm³. Three geochemical groups of waters were identified. The first is represented by drainage waters of the developed rubble stone quarries, the second includes facilities of the Gorlovka coal basin, and the third refers to abandoned flooded quarries. The first group is characterized by oxidizing conditions with Eh varying over a wide range from +84.6 to +261.0 mV, pH from 6.9 to 8.6, and O_{2dissolved} from 3.43 to 14.39 mg/dm³. The radionuclide concentrations are (mg/dm³): ²³⁸U 9.30 · 10⁻⁵ – 1.40; ²³²Th 1.00 · 10⁻⁶ – 2.16 · 10⁻⁵; ²²²Rn activity varies from 1 to 572.5 Bq/dm³. The ²³²Th/²³⁸U ratio ranges from 4.20 · 10⁻⁵ to 2.69 · 10⁻³ with an average of 8.40 · 10⁻⁴. The second group has a smaller Eh variation range of +133.2 to +199.6 mV, pH from 7.5 to 8.5, and O_{2dissolved} from 6.81 to 10.43 mg/dm³. The radionuclide concentrations vary in the following ranges (mg/dm³): ²³⁸U 2.26 · 10⁻⁵ – 2.90 · 10⁻²; ²³²Th 7.5 · 10⁻⁶ – 5.57 · 10⁻⁴. The ²³²Th/²³⁸U ratio ranges from 8.37 · 10⁻⁴ to 4.80 · 10⁻² at an average of 9.54 · 10⁻³. The third group is also characterized by an oxidizing geochemical environment with Eh +131.3 – +250.0 mV, pH from 6.9 to 8.8 and O_{2dissolved} from 4.00 to 16.59 mg/dm³. The radionuclide concentrations are (mg/dm³): ²³⁸U 3.00 · 10⁻⁴ – 2.74 · 10⁻²; ²³²Th 1.65 · 10⁻⁶ – 1.15 · 10⁻⁵; ²²²Rn activity varies from 2 to 31 Bq/dm³. The ²³²Th/²³⁸U ratio ranges from 2.36 · 10⁻⁴ to 1.02 · 10⁻³ at an average of 6.25 · 10⁻⁴. Overall, the ²³²Th/²³⁸U ratio of the studied waters indicates their uranium nature of radioactivity. The data obtained indicate a slight impact of the drainage water discharge from the abandoned quarries on the environment.

Keywords

drainage waters, geochemistry, radionuclides, quarries, Novosibirsk Region, Western Siberia

Acknowledgments

Field research was carried out with the financial support of Nos. FWZZ-2022-0014 and FSWW-0022-2020 projects of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation.

Chemical analyses of drainage water were performed with the support of the Russian Science Foundation and the Government of the Novosibirsk Region (project No. 22-17-20029).

For citationDerkachev A. S., Maksimova A. A., Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F., Chernykh A. V., Khvashevskaya A. A. Nature of radioactivity of quarry drainage waters in the Novosibirsk region. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):216–230. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-216-230>**Введение**

Новосибирск является единственным крупным городом России, в окрестностях которого открыто урановое месторождение «Пригородное», и поэтому присутствие радионуклидов в водах носит природный характер. Их повышенные содержания обусловлены наличием рассеянных радиоактивных минералов в гранитоидах крупного Новосибирского

массива. В 1980–1990-е годы в Новосибирской области были выявлены более десяти месторождений радоновых вод, которые использовались в лечебных целях (самые известные: санаторий «Заельцовский Бор», «Горводолечебница», профилакторий завода Химконцентратов). Выявленные месторождения до 2010-х годов практически не были описаны в научной литературе [1–3].



В мировой научной литературе наибольшее число исследований посвящено изучению геологических [4–6], гидрогеологических [7, 8] и геохимических [9–11] факторов, влияющих на распределение природных радионуклидов в водах различного изотопно-гидрогеохимического облика. В России на протяжении длительного времени ведутся исследования, направленные на изучение различных аспектов радиохимии природных вод и моделирование геохимических процессов в водных средах. Среди последних работ в данной области следует отметить исследования по геохимии донных осадков [12, 13], технологии извлечения радионуклидов из природных вод [14, 15], геохимическим особенностям разных типов природных вод [16–18] и их изотопии [19–22], вопросам разработки месторождений полезных ископаемых [23, 24] и другим.

Ситуация с изученностью природных вод Новосибирской области (НСО) стала меняться в лучшую сторону в последние годы, что связано с работами лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири ИНГГ СО РАН по изучению гидрогеологических условий месторождений радоновых вод [25], их изотопно-геохимических особенностей [26], механизмов формирования их состава [27] и с мониторингом радионуклидов [28]. Особыми объектами в этих исследованиях выступают разрабатываемые и затопленные карьеры при отработке разных видов полезных ископаемых (строительный щебень, уголь, мрамор, песок). Большое внимание уделяется изучению широкого спектра химических элементов (от Li до U), что связано с развитием гидрогеохимического метода поисков полезных ископаемых. Немаловажным фактором является оценка влияния сброса дренажных вод на окружающую среду, в первую очередь степень их радиологической опасности, что и выполнено в настоящем исследовании.

Методика и объект исследования

Непосредственно на объектах было выполнено определение pH, Eh, температуры, содержания растворенного O_2 , HCO_3^- с помощью оборудования (Наппа NI9125, кислородомер АКПМ-1-02Л) и полевой гидрогеохимической лаборатории. Измерение содержаний ^{222}Rn в водах проводилось на комплексе «Альфарад плюс» в лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири ИНГГ СО РАН. Последующее изучение химического состава 31 пробы вод методами титриметрии, ионной хроматографии, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ИСП) проводилось в ПНИЛ гидрогеохимии ИШПР ТПУ (аналитики О. В. Чеботарева, Н. В. Бублий, А. С. Погуца, В. В. Куровская, К. Б. Кривцова, Л. А. Ракул).

Название химического типа дано по классификации С. А. Шукарева (в формулу добавлены макрокомпоненты с содержанием $>10\%$ -экв) по оттеночному принципу от меньшего к большему.

Разделение данных на однородные геохимические совокупности по процессам формирования состава с оценкой интенсивности их проявления выполнено на основе соотношения химических эле-

ментов в водах. Коэффициенты Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si использованы для оценки особенностей обогащения вод за счет процессов гидролиза алюмосиликатов и конгруэнтного растворения карбонатов; $SO_4/Cl \gg 1$ и $rNa/rCl \gg 1$ – гидролиза алюмосиликатов и окисления сульфидных минералов; пропорциональное увеличение значений $SO_4/Cl = 1$, $rNa/rCl \geq 1$, $Ca/Na > 0$ – испарительного концентрирования.

Гидрогеологическое строение

Изучаемые карьеры распределены по большой территории. Расстояние между наиболее удаленными превышает 200 км. Среди изучаемых объектов есть как действующие, так и отработанные, на настоящий момент затопленные. В списке изученных преобладают гранитные карьеры. Также рассматривались угольные, песчаные и один мраморный карьер. Наиболее многочисленная группа гранитных карьеров представлена действующими: Борок, Новобибеевский, Скалинский; и затопленными: Тулинским, Каменским и Горским. Группа действующих карьеров Горловского угольного бассейна (Ургунский, Горловский и Кольванский) расположена в Искитимском районе Новосибирской области. Песчаные карьеры представлены затопленными Кировским и Подгорным. Группа мраморных карьеров включает один объект – Абрашинский карьер в Ордынском районе Новосибирской области. В целом гидрогеологические условия рассматриваемых карьеров схожи: выделяется два гидрогеологических комплекса: верхний – осадочный чехол кайнозойского возраста, и нижний – консолидированные породы палеозойского фундамента, прорванные позднепалеозойскими интрузиями гранитоидного состава. Кайнозойские отложения, как правило, представлены аллювиальными осадками р. Обь и ее притоков различных порядков, а также породы кочковской ($Q_{E1} kC_1$) и краснодубровской ($sa Q_{1-II} kd$) свит.

Начать рассмотрение предлагаем с наиболее представительной группы гранитных карьеров. Следует упомянуть, что они расположены в пределах различных гранитоидных массивов. Так, карьеры Борок, Тулинский, Каменский и Горский заложены в гранитах Новосибирского гранитоидного массива, Новобибеевский – Обского массива. Оба этих массива принадлежат Приобскому монцодиорит-граносиенит-гранитному мезоабиссальному комплексу (P_3-T_1p). Скалинский карьер ведет добычу гранитов из Кольванского гранитоидного массива, принадлежащего Барлакскому гранит-лейкогранитовому мезоабиссальному комплексу ($T_{1-2}b$) [29].

Обский массив является петротипическим. Первая фаза внедрения имеет весьма ограниченное распространение и в данной работе не рассматривается. Вторая, главная фаза сложена биотитовыми и роговообманково-биотитовыми монцогранитами, реже граносиенитами, гранитами и гранодиоритами. Умереннокислые гранитоиды тяготеют к эндоконтактовым зонам массива. К третьей фазе отнесены редкие дайки мелкозернистых монцогранитов, монцолейкогранитов, монцогранит-порфиров, монцолейкогранит-порфиров, жилы аплитов и пегматитов. В Новобибеевском

карьере и коренных выходах по берегу р. Обь зафиксированы крупные и мелкие ксенолиты кварцевых монцодиоритов и кварцевых диоритов в гранитах. Новосибирский массив также включает вторую и третью фазы. Вторая – представлена роговообманково-биотитовыми монцогранитами, граносиенитами, нормальнощелочными гранитами и гранодиоритами. В породе присутствует зеленая роговая обманка, бурый биотит. Железистость биотита составляет 40–55 [30].

В списке акцессорных минералов сфен, циркон, апатит, магнетит, ильменит и флюорит [29]. Третья фаза представлена небольшими телами наклонных штоков северо-восточного простирания и даек мощностью до 15 м. По составу штоки монцогранит-порфиновые, дайки – монцогранит-порфиновые, характерны мелкозернистые монцолейкограниты, кварцевые монцодиорит-порфиры и спессартиты.

Монцогранит-порфиры имеют схожий состав с мелкозернистыми монцолейкогранитами, порфиры сложены полевыми шпатами. В монцолейкогранитах же относительно монцогранитов повышено содержание кварца и калинатрового шпата, а плагиоклаза – понижено. Карьер Борок находится в контактовой зоне Новосибирского массива. Здесь контакт резкий, падает в сторону вмещающих пород, нередко представлен жилами и дайками лейкогранитов и аплитов.

Рассматриваемые угольные карьеры соответствуют одному из месторождений, находящимся в пределах Горловского угольного бассейна. Последний имеет весьма сложное геологическое строение и представляет собой узкую (4–8 км) грабен-синклиналь, вытянутую с северо-запада на юго-восток и зажатую между Колывань-Томской складчатой зоной на северо-западе и Салаирским кряжем на востоке.

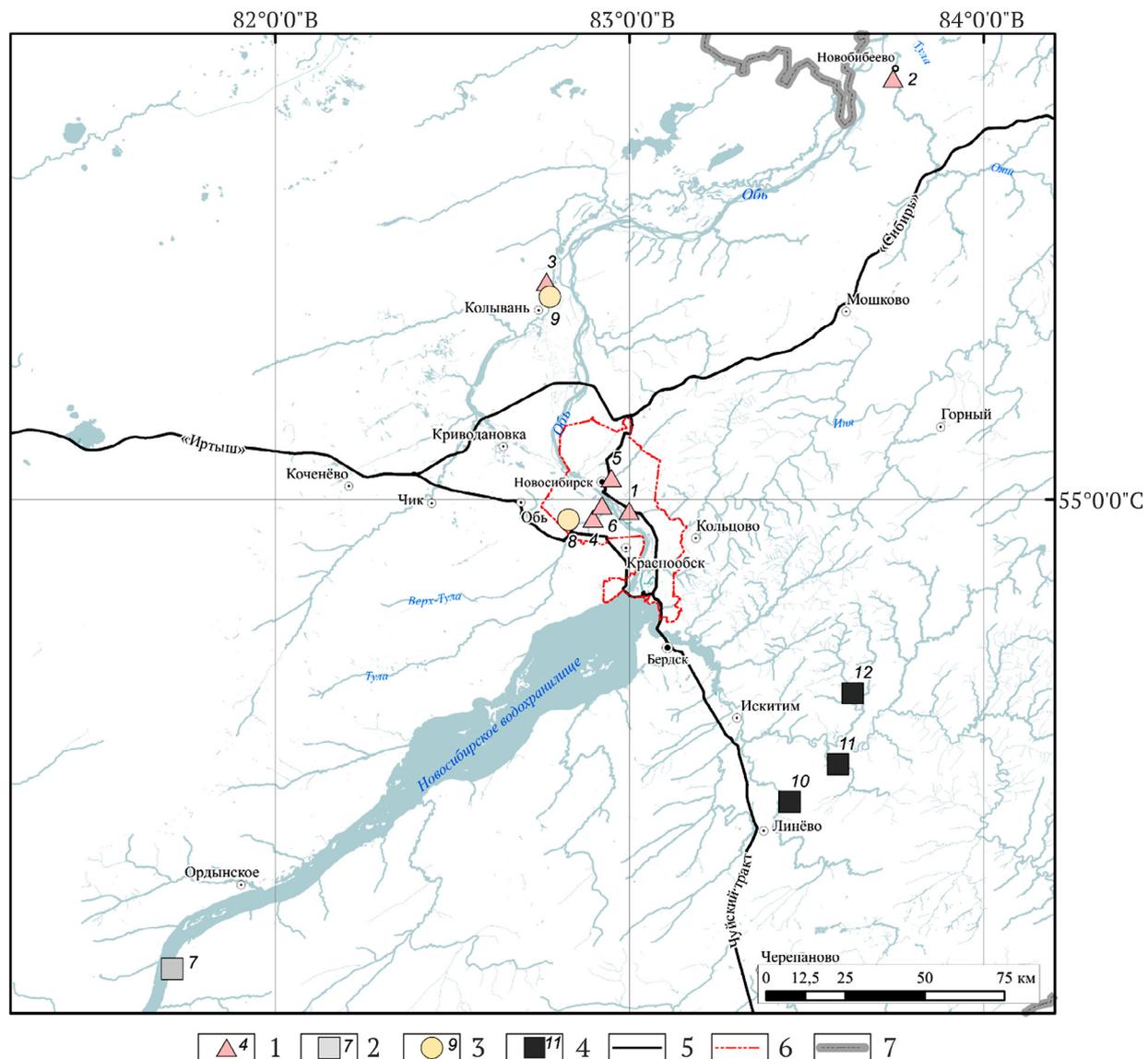


Рис. 1. Местоположение изученных объектов

1–4 – карьеры: 1 – гранитные; 2 – мраморный; 3 – песчаные; 4 – угольные; 5 – федеральные трассы; 6 – граница г. Новосибирск; 7 – граница Новосибирской области; 1–3, 10–12 – действующие: 1 – Борок; 2 – Новобибеевский; 3 – Скалинский; 4–9 – затопленные: 4 – Тулинский; 5 – Каменский; 6 – Горский; 7 – Абрашинский; 8 – Кировский; 9 – Подгорный; 10 – Ургунский; 11 – Горловский; 12 – Колыванский

Для данного бассейна характерна единая обводненная зона трещиноватости в осадочно-терригенных верхнепалеозойских породах: угленосных песчаниках средне- и мелкозернистых, алевролитах, аргиллитах, углистых аргиллитах и пластах угля.

Рассмотренные карьеры по добыче строительного песка характеризуются различным положением относительно гранитоидных массивов: карьер Подгорный находится во внутренней части Колыванского гранитоидного массива, в то время как Кировский песчаный карьер находится в экзоконтактной зоне Новосибирского гранитоидного массива. Последний был ориентирован на добычу тонко-, мелкозернистых песков из аллювиальных отложений второй надпойменной террасы р. Обь. В карьере Подгорный отработывались пески из отложений первой надпойменной террасы р. Обь.

Мраморный карьер Абрашинский расположен в области распространения буготагской свиты (D_2bg). Помимо эффузивных, вулканогенно-осадочных и осадочных пород, а также субвулканических обра-

зований, данное стратиграфическое подразделение включает слои мраморизованных известняков. Таким образом, эта геологическая обстановка дает основания предположить, что образование мраморов Абрашинского месторождения произошло при воздействии магматического тела на известняки буготагской свиты. Таким плутоном мог являться шток габбродолеритового состава, расположенный не далее 3 км к западу от карьера. Кроме того, карьер расположен внутри тектонического блока, поэтому метаморфизованные породы и источник тепла могли быть разнесены вдоль тектонической границы.

Геохимические особенности

Анализ имеющихся данных по составу дренажных вод позволил выделить по коэффициентам (Ca/Na , Ca/Mg , Ca/Si , Mg/Si , Na/Si , Si/Na , rNa/rCl и SO_4/Cl) три геохимические совокупности. Первая включает в себя дренажные воды отработываемых гранитных карьеров (Новобибеевский, Скалинский, Борок). Им присущи следующие значения коэффициентов: Ca/Si



Рис. 2. Местоположение карьера Борок (а) и схема геологического строения (б):

1 – гранитоиды; 2 – роговики; 3 – лампрофиры; 4 – гранодиориты; 5 – линия разреза

Вмещающие породы представлены песчано-глинистыми сланцами пачинской свиты верхнего девона, которые в результате контактового метаморфизма превращены в роговики. Колыванский массив сложен среднезернистыми гранитоидами.

Преобладают монцелейкограниты. Породы второй фазы представлены дайками мощностью до 3 м мелкозернистых монцелейкогранитов. Простираение даек северо-восточное, до субширотного. Отмечаются жилы, линзы, гнезда пегматитов

17,61; Mg/Si 4,17; Na/Si 6,73; Mg/Na 4,17; Si/Na 0,25; Ca/Na 2,84; Ca/Mg 4,23; rNa/rCl 5,24; SO₄/Cl 9,14. Вторая представлена водами угольных карьеров (Ургунский, Горский, Колыванский). Они отличаются от предыдущих ростом отношений Ca/Si 21,49; Mg/Si 9,78; Na/Si 14,89; Mg/Na 9,78; rNa/rCl 7,38; SO₄/Cl 24,91 и снижением Si/Na 0,10; Ca/Na 2,36; Ca/Mg 2,26. Третья включает в себя воды затопленных карьеров (гранитные: Горский, Тулинский; песчаные – Кировский, Подгорный; мраморный – Абрашинский), которые по геохимическим коэффициентам отличаются от объектов Горловского угольного бассейна ростом Ca/Si

95,84; Mg/Si 51,02; Na/Si 58,82; Mg/Na 50,58; Ca/Mg 3,88 и снижением Si/Na 0,05; Ca/Na 1,75; rNa/rCl 1,77; SO₄/Cl 1,79. Если воды затопленных карьеров сравнивать с первой группой, то отмечается рост отношений Ca/Si 95,84; Mg/Si 51,02; Na/Si 58,82; Mg/Na 50,58 и снижение Ca/Mg 3,88; Si/Na 0,05; Ca/Na 1,75; rNa/rCl 1,77; SO₄/Cl 1,79.

В работе были изучены дренажные воды карьеров Борок, Каменский, Тулинский и Горский, расположенных в пределах НСО (одноименный массив). Так, воды карьера *Борок* характеризуются SO₄-HCO₃ Na-Mg-Ca, Cl-SO₄-HCO₃ Mg-Na-Ca и Cl-SO₄-HCO₃



Рис. 3. Изученные объекты. Карьеры: Борок (а); Колыванский (б); Кировский (в); Горский (г); Абрашинский (д)

Na–Mg–Ca составом (рис. 4, табл. 1) с величиной общей минерализации 583–697 мг/дм³ и содержанием кремния 0,89–10,53 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +150,2 – +261,0 мВ, pH 7,6–8,5 и содержанием O_{2раств.} 3,43 –11,43 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов составляют: Ca/Si 23,54; Mg/Si 5,32; Na/Si 9,64; Mg/Na 0,53; Si/Na 1,15; Ca/Na 2,34; Ca/Mg 4,49; rNa/rCl 2,67; SO₄/Cl 3,63 (рис. 5).

Воды Каменского карьера отличаются SO₄–Cl–HCO₃ Ca–Na составом с величиной общей минерализации 166–349 мг/дм³ и содержанием кремния 1,87–4,21 мг/дм³. Воды отличаются слабощелочным pH 7,6–8,5 и содержанием O_{2раств.} 4,00 мг/дм³. Средние геохимические коэффициенты возрастают для Ca/Mg 8,68, а уменьшаются для Mg/Na 0,24; Ca/Na 1,52; rNa/rCl 1,19; SO₄/Cl 0,76. Воды Тулинского карьера Cl–SO₄–HCO₃ Na–Ca–Mg и SO₄–Cl–HCO₃ Ca–Mg–Na состава с величиной общей минерализации 454–541 мг/дм³ и содержанием кремния 0,32–0,78 мг/дм³. Геохимические параметры среды отве-

чают окислительной обстановке с Eh +131,3 – +250,0 мВ, pH 8,7–8,8 и содержанием O_{2раств.} 8,58 –11,30 мг/дм³. Средние геохимические коэффициенты составляют Ca/Si 88,39; Mg/Si 60,92; Na/Si 103,45; Mg/Na 0,66; Si/Na 0,01; Ca/Na 0,92; Ca/Mg 1,43; rNa/rCl 2,06; SO₄/Cl 1,51. Воды Горского карьера отличаются Cl–SO₄–HCO₃ Na–Mg–Ca и SO₄–Cl–HCO₃ Na–Mg–Ca составом с величиной общей минерализации 403 мг/дм³ и содержанием кремния 0,25–0,40 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +139,3 – +250,0 мВ, pH 8,5–8,7 и содержанием O_{2раств.} 8,20–16,59 мг/дм³. Средние геохимические коэффициенты возрастают для Ca/Si 154,83; Mg/Si 81,38; Mg/Na 1,13; Ca/Na 2,17; Ca/Mg 1,91, а снижаются Na/Si 74,32; rNa/rCl 1,05; SO₄/Cl 1,33, сопоставимые значения характерны для Si/Na 0,02. В целом для всех карьеров значения геохимических коэффициентов указывают на процессы окисления сульфидов, что ярко выражено в величинах отношений SO₄/Cl (0,67–11,51) и rNa/rCl (0,53–9,19).

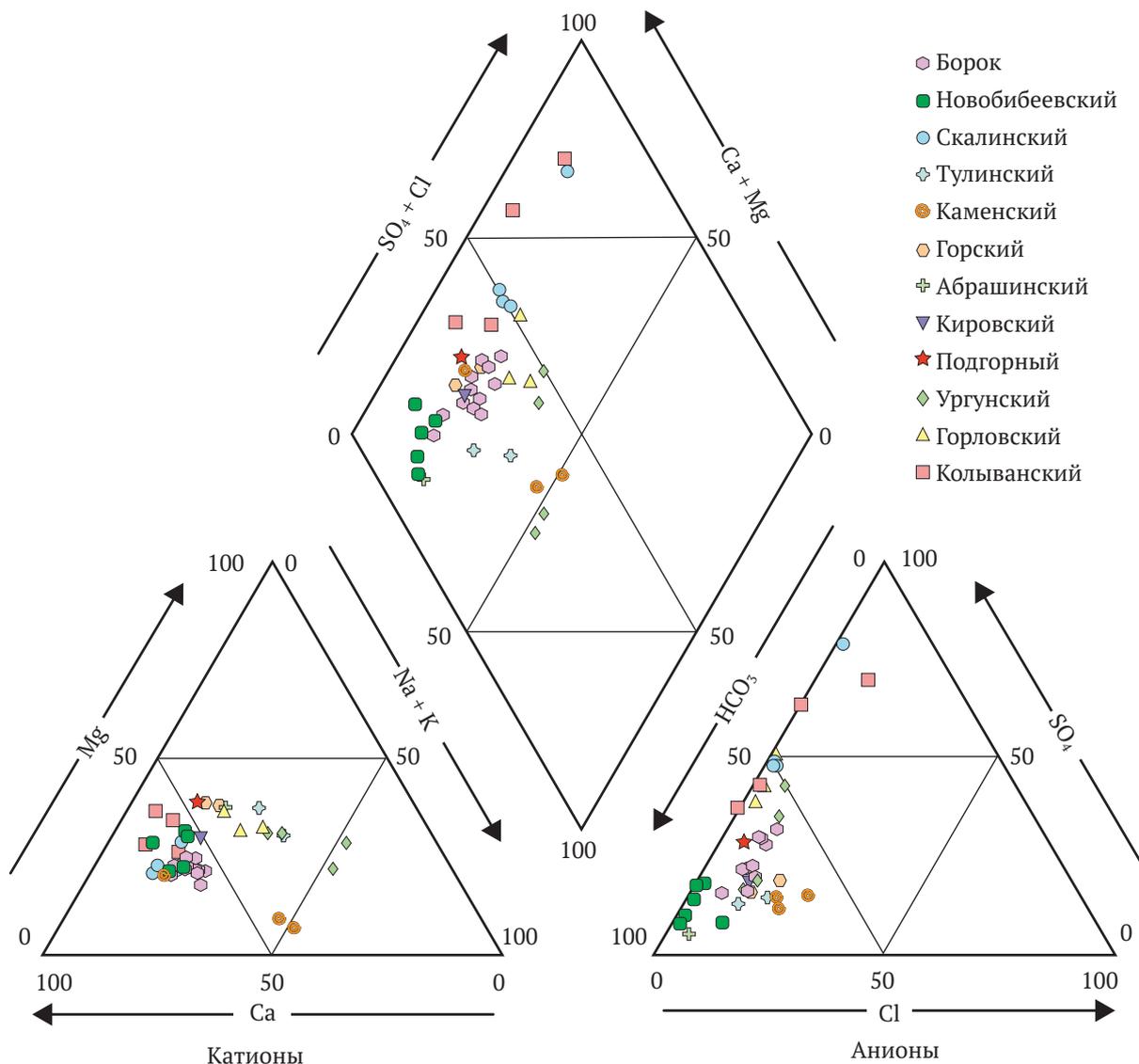


Рис. 4. Диаграмма Пайпера химического состава дренажных вод



Таблица 1

Химический состав дренажных вод карьеров Новосибирской области

№ на рис. 1	pH	Eh, мВ	O ₂ , мг/дм ³	²²² Rn, Бк/дм ³	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	M	Si	Th	U	Th/U	Химический тип
1	8,3	261,0	9,30	17	378	96	38	101	22	50	4,2	697	6,98	5,10·10 ⁻⁵	9,26·10 ⁻²	5,51·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
1	8,1	225,0	10,58	19	371	107	32	109	25	41	4,0	696	0,89	1,24·10 ⁻⁵	1,08·10 ⁻²	1,15·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	8,3	256,3	10,90	4	378	90	34	102	19	54	3,9	687	7,07	9,90·10 ⁻⁶	8,00·10 ⁻²	1,24·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
1	8,3	246,5	11,21	1	348	82	28	90	21	45	3,6	619	6,70	5,40·10 ⁻⁶	2,96·10 ⁻²	1,82·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
1	8,3	244,7	11,43	8	388	58	25	99	22	35	2,7	630	5,96	6,50·10 ⁻⁶	9,30·10 ⁻³	6,99·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	8,5	215,8	11,10	16	386	61	5	95	18	32	5,0	603	5,03	1,00·10 ⁻⁶	1,03·10 ⁻²	9,71·10 ⁻⁵	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	7,6	194,3	3,61	45	319	111	36	97	26	44	4,7	660	7,74	1,39·10 ⁻⁵	1,16E-01	1,20·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	8,2	195,1	8,55	38	308	113	29	94	24	37	3,9	619	6,70	-	1,19·10 ⁻²	-	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	7,6	184,7	3,43	88	320	118	28	95	22	50	6,2	663	10,53	5,48·10 ⁻⁵	2,13·10 ⁻¹	2,57·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
1	8,2	209,7	8,98	89	331	56	37	89	21	36	4,7	583	4,85	1,54·10 ⁻⁵	1,03·10 ⁻²	1,49·10 ⁻⁵	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	7,9	201,7	7,52	51	352	77	41	101	22	41	4,5	652	6,56	9,62·10 ⁻⁵	9,15·10 ⁻²	1,05·10 ⁻³	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
1	8,0	150,2	7,11	57	272	116	34	91	21	43	3,9	605	7,11	4,62·10 ⁻⁵	7,95·10 ⁻²	5,81·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
2	7,8	107,8	6,49	25	224	20	3	55	15	20	3,3	385	7,00	2,60·10 ⁻⁶	1,07·10 ⁻²	2,43·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
2	8,0	111,0	7,91	15	248	28	3	65	16	20	3,0	434	6,49	-	1,02·10 ⁻²	-	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
2	8,6	121,7	14,39	6	232	48	3	58	22	20	2,3	433	5,02	1,76·10 ⁻⁵	1,02·10 ⁻²	1,72·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
2	7,9	139,7	7,88	39	256	40	3	62	25	20	2,9	461	5,72	2,90·10 ⁻⁵	1,08·10 ⁻²	2,69·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
2	8,1	145,6	7,44	2	268	43	3	72	20	13	4,5	423	9,60	3,10·10 ⁻⁵	1,16·10 ⁻²	2,67·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Ca
3	6,9	84,6	4,58	573	67,1	215	6	120	22	29	5,1	787	8,34	2,96·10 ⁻⁴	1,40	2,12·10 ⁻⁴	HCO ₃ -SO ₄ Na-Mg-Ca
3	6,9	153,6	4,60	495	140	106	7	105	22	27	4,1	773	8,22	3,93·10 ⁻⁵	9,38·10 ⁻¹	4,20·10 ⁻⁵	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
3	7,0	167,0	4,49	154	98	73	4	63	19	20	4,5	282	10,21	3,90·10 ⁻⁴	1,16	3,35·10 ⁻⁴	HCO ₃ -SO ₄ Na-Mg-Ca
3	7,0	164,5	3,75	259	98	77	4	62	13	21	4,5	279	9,96	2,16·10 ⁻³	1,21	1,78·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
4	8,8	250,0	11,30	2	325	53	31	46	35	43	7,8	541	0,78	3,20·10 ⁻⁶	1,21·10 ⁻²	2,64·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Ca-Mg
4	8,7	131,3	8,58	-	244	49	38	37	24	48	8,6	454	0,32	7,08·10 ⁻⁶	1,23·10 ⁻²	5,77·10 ⁻⁴	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Ca-Mg-Na
5	7,5	-	-	-	109	18	20	-	-	-	-	166	3,27	-	-	-	-
5	6,9	-	4,00	-	183	24	36	59	11	19	-	349	4,21	-	-	-	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Na-Mg-Ca
5	-	-	-	-	146	28	39	35	3	51	-	316	1,87	-	-	-	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Ca-Na
5	7,5	-	-	-	109	18	20	27	3	35	-	231	3,27	-	-	-	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Ca-Na
5	-	-	-	-	146	28	39	-	-	-	-	228	1,87	-	-	-	-
6	8,7	250,0	16,59	-	239	40	29	48	24	20	3,7	403	0,40	1,00·10 ⁻⁵	9,80·10 ⁻³	1,02·10 ⁻⁵	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
6	8,5	139,3	8,21	-	207	47	37	48	26	25	4,5	403	0,25	1,15·10 ⁻⁵	1,24·10 ⁻²	9,30·10 ⁻⁴	SO ₄ -Cl-HCO ₃ Na-Mg-Ca
7	8,6	144,0	5,42	31	239	16	8	36	22	22	1,4	353	0,29	1,65·10 ⁻⁶	2,28·10 ⁻³	7,24·10 ⁻⁴	HCO ₃ Na-Ca-Mg
8	8,7	205,0	15,50	2	449	107	45	100	41	45	2,0	789	1,29	-	3,00·10 ⁻⁴	-	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
9	8,4	186,5	9,34	-	177	59	11	42	21	15	3,2	330	0,18	6,47·10 ⁻⁶	2,74·10 ⁻²	2,36·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
10	8,3	145,6	7,70	-	561	96	57	65	33	158	2,5	973	6,55	1,92·10 ⁻⁵	5,97·10 ⁻³	3,22·10 ⁻³	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Ca-Na
10	8,2	160,4	8,16	-	378	186	44	72	42	97	3,9	823	3,68	1,40·10 ⁻⁵	1,67·10 ⁻²	8,37·10 ⁻⁴	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Mg-Ca-Na
10	7,5	148,8	6,81	-	360	240	36	83	43	94	4,4	860	5,24	3,78·10 ⁻⁵	1,30·10 ⁻²	2,91·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Na-Ca
10	8,5	133,2	8,26	-	344	71	43	32	28	102	2,5	625	6,59	2,68·10 ⁻⁵	7,86·10 ⁻³	3,41·10 ⁻³	Cl-SO ₄ -HCO ₃ Ca-Mg-Na
11	8,1	174,7	8,58	-	315	289	4	90	53	54	2,9	808	4,15	7,15·10 ⁻⁶	3,41·10 ⁻³	2,10·10 ⁻³	HCO ₃ -SO ₄ Na-Mg-Ca
11	7,7	185,2	7,44	-	421	243	12	96	51	77	3,2	907	4,19	1,59·10 ⁻⁵	2,26·10 ⁻³	7,02·10 ⁻³	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
11	7,8	190,4	7,61	-	414	285	11	88	54	94	4,4	950	4,15	4,68·10 ⁻⁵	4,02·10 ⁻³	1,17·10 ⁻²	SO ₄ -HCO ₃ Na-Ca-Mg
12	7,8	190,7	7,65	-	302	182	9	104	28	36	3,0	673	5,25	-	9,16·10 ⁻³	-	SO ₄ -HCO ₃ Na-Mg-Ca
12	7,5	198,8	8,40	-	153	456	65	150	56	40	1,7	922	4,62	5,57·10 ⁻⁴	1,16·10 ⁻²	4,80·10 ⁻²	Cl-HCO ₃ -SO ₄ Na-Mg-Ca
12	8,0	194,8	10,43	-	257	118	2	84	22	13	3,3	500	3,80	9,32·10 ⁻⁶	1,11·10 ⁻²	8,39·10 ⁻⁴	SO ₄ -HCO ₃ Mg-Ca
12	8,0	199,6	9,18	-	366	502	9	190	72	28	4,1	1171	4,13	4,47·10 ⁻⁴	2,90·10 ⁻²	1,54·10 ⁻²	HCO ₃ -SO ₄ Mg-Ca

Примечание: «-» – нет данных; М – величина общей минерализации.



Воды карьера *Новобибеевский* дренируют гранитоиды Обского массива и характеризуются $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$ составом с величиной общей минерализации 385–461 мг/дм³ и содержанием кремния 5,02–9,60 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +107,8 – +145,6 мВ, pH 7,8–8,6 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств}}$ 6,50–14,38 мг/дм³. Средние геохимические коэффициенты составляют Ca/Si 9,55; Mg/Si 3,07; Na/Si 2,97; Mg/Na 1,08; Si/Na 0,39; Ca/Na 3,51; Ca/Mg 3,33; rNa/rCl 9,46; SO_4/Cl 11,49. Воды *Скалинского* карьера соотносятся с Барлакским гранит-лейкогранитовым мезоабиссальным комплексом. Они относятся к $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na-Mg-Ca}$ и $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$ типам с величиной общей минерализации 279–787 мг/дм³ и содержанием кремния 8,22–10,21 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +84,6 – +167,0 мВ, pH 6,9–7,0 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств}}$ 3,75–4,60 мг/дм³. В сравнении с водами *Новобибеевского* карьера средние значения геохимических коэффициентов практически сопоставимы и составляют: Ca/Si 9,89; Mg/Si 2,12; Na/Si 2,71; Mg/Na 0,78; Si/Na 0,39; Ca/Na 3,52; Ca/Mg 4,59; rNa/rCl 7,65; SO_4/Cl 22,76.

Дренажные воды *Горловского* угольного бассейна изучены в нескольких карьерах. Так, воды *Горловского* карьера характеризуются $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na-Mg-Ca}$ и $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Na-Mg-Ca}$ составом с величиной об-

щей минерализации 808–950 мг/дм³ и содержанием кремния 8,22–10,21 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +174,7 – +190,4 мВ, pH 7,7–8,1 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств}}$ 7,44–8,58 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов составляют: Ca/Si 21,95; Mg/Si 12,70; Na/Si 18,01; Mg/Na 0,74; Si/Na 0,06; Ca/Na 1,28; Ca/Mg 1,73; rNa/rCl 14,36; SO_4/Cl 38,19. Воды *Ургунского* карьера характеризуются $\text{Cl-SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ составом с величиной общей минерализации 625–973 мг/дм³ и содержанием кремния 3,68–6,59 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +133,2 – +160,4 мВ, pH 7,5–8,5 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств}}$ 6,81–8,26 мг/дм³. Средние значения геохимических коэффициентов по сравнению с вышеописанными возрастают: Na/Si 20,99, и снижаются: Ca/Si 12,55; Mg/Si 7,21; Mg/Na 0,34; Si/Na 0,05; Ca/Na 0,59; Ca/Mg 1,69; rNa/rCl 3,84; SO_4/Cl 3,56. Воды *Колыванского* карьера $\text{Cl-HCO}_3\text{-SO}_4\text{-Na-Mg-Ca}$ и $\text{SO}_4\text{-HCO}_3\text{-Mg-Ca}$ состава с величиной общей минерализации 500–1171 мг/дм³ и содержанием кремния 3,80–5,25 мг/дм³. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с Eh +190,7 – +199,6 мВ, pH 7,5–8,0 и содержанием $\text{O}_{2\text{раств}}$ 7,65–10,43 мг/дм³. В отличие от вод *Горловского* карьера, здесь наблюдается рост отношений: Ca/Si 30,10; Si/Na 0,17; Ca/Na 4,93; Ca/Mg 3,21 и снижение: Mg/Si 10,17; Na/Si 6,46; Mg/Na 1,60; rNa/rCl 5,69; SO_4/Cl

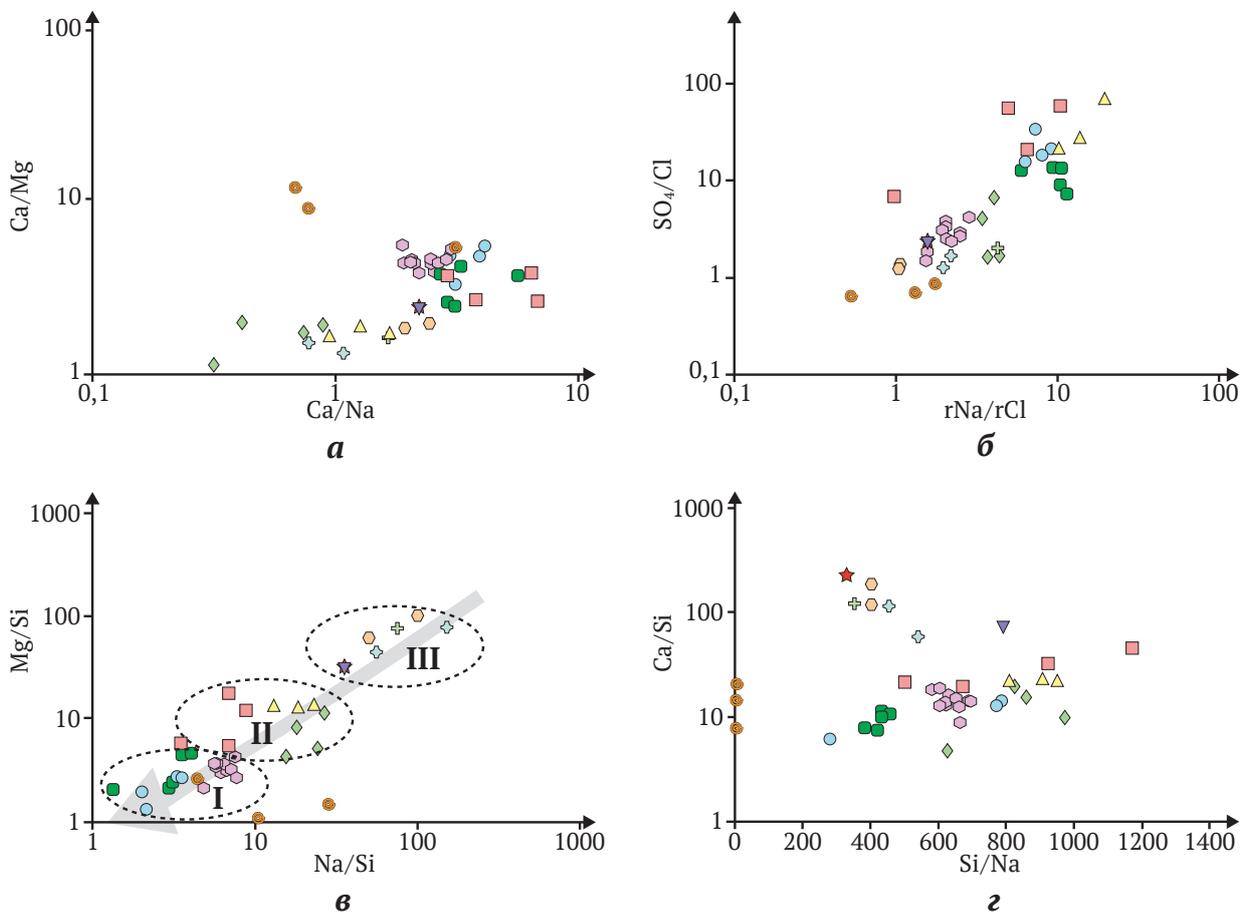


Рис. 5. Геохимическая типизация дренажных вод по коэффициентам Ca/Mg – Ca/Na (а), SO_4/Cl – rNa/rCl (б), Mg/Si – Na/Si (в), Ca/Si – Si/Na (з). Стрелкой показано увеличение концентраций кремния. Усл. обозн. см. рис. 4

36,28. Дренажные воды Горловского угольного бассейна отличаются высокими концентрациями сульфатов ($71\text{--}502\text{ мг/дм}^3$) и натрия ($13\text{--}158\text{ мг/дм}^3$), а также отношениями Na/Si , rNa/rCl , SO_4/Cl , что указывает на процессы окисления сульфидов.

Дренажные воды мраморного Абрашинского карьера характеризуются $\text{HCO}_3\text{--Na--Ca--Mg}$ составом с величиной общей минерализации $500\text{--}1171\text{ мг/дм}^3$ и содержанием кремния $3,80\text{--}5,25\text{ мг/дм}^3$. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с $\text{Eh} +190,7\text{--}+199,6\text{ мВ}$, $\text{pH} 7,5\text{--}8,0$ и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ $7,65\text{--}10,43\text{ мг/дм}^3$. Средние значения геохимических коэффициентов составляют: Ca/Si 123,50; Mg/Si 75,47; Na/Si 74,95; Mg/Na 1,01; Si/Na 0,01; Ca/Na 1,65; Ca/Mg 1,64; rNa/rCl 4,24; SO_4/Cl 2,03. В водах Абрашинского карьера отмечается накопление в растворе кальция магния и натрия, что выражено в высоких отношениях Ca/Si , Mg/Si , Na/Si .

Воды песчаного Кировского карьера характеризуются $\text{Cl--SO}_4\text{--HCO}_3\text{--Na--Mg--Ca}$ с величиной общей минерализации 789 мг/дм^3 и содержанием кремния $1,29\text{ мг/дм}^3$. Геохимические параметры среды отвечают окислительной обстановке с $\text{Eh} +205,0\text{ мВ}$, $\text{pH} 8,7$ и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ $15,50\text{ мг/дм}^3$. Средние значения геохимических коэффициентов составляют Ca/Si 77,52; Mg/Si 31,71; Na/Si 35,09; Mg/Na 0,90; Si/Na 0,03; Ca/Na 2,21; Ca/Mg 2,44; rNa/rCl 1,55; SO_4/Cl 2,38. Воды Подгорного песчаного карьера отличаются $\text{SO}_4\text{--HCO}_3\text{--Na--Mg--Ca}$ составом с величиной общей минерализации 330 мг/дм^3 и содержанием кремния $0,18\text{ мг/дм}^3$. Геохимические параметры среды отвеча-

ют окислительной обстановке с $\text{Eh} +186,5\text{ мВ}$, $\text{pH} 8,4$ и содержанием $\text{O}_{2\text{раств.}}$ $9,34\text{ мг/дм}^3$. Средние величины геохимических коэффициентов увеличиваются у: Ca/Si 229,91; Mg/Si 113,31; Na/Si 80,12; Mg/Na 1,41; Ca/Na 2,87; rNa/rCl 2,11; SO_4/Cl 5,51 и снижаются у: Si/Na 0,01; Ca/Mg 2,03. По геохимическим коэффициентам можно сказать, что воды Подгорного карьера в большей степени обогащены кальцием, магнием и натрием.

Радионуклидная типизация

Разработка месторождений твердых полезных ископаемых (рудных и нерудных) несет в себе существенную угрозу для окружающей среды. В первую очередь это относится к элементам первого класса опасности, к которым относятся: бериллий, мышьяк, ртуть и таллий¹. Влияние радионуклидов на экосистемы также крайне опасно, несмотря на то, что уран относится сейчас ко второму классу опасности (ПДК 15 мкг/дм^3). По торью согласно действующим нормативным документам России нет обоснования ПДК (предельно допустимых концентраций). Естественная радиоактивность природных вод различного изотопно-геохимического облика вызывает в мире неподдельный интерес. В этой связи в рамках настоящей работы впервые были выполнены исследования по

¹ ГОСТ Р 58573-2019 «Охрана природы. Гидросфера. Качество воды. Риск-ориентированный контроль»; ГОСТ Р 58556-2019 «Оценка качества воды водных объектов с экологических позиций».

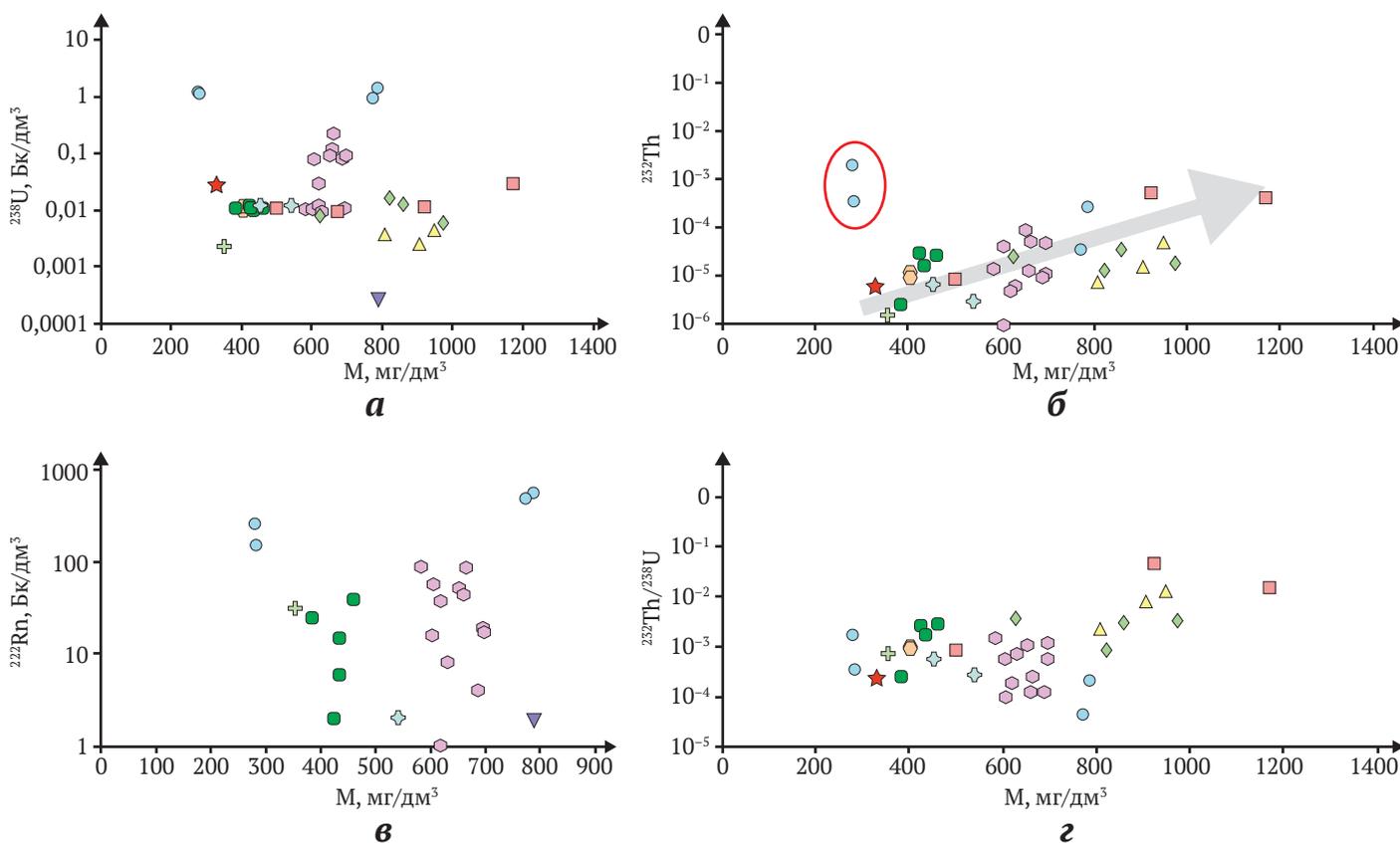


Рис. 6. Изменение радионуклидного состава от величины общей минерализации дренажных вод



оценке распределения в дренажных водах урана и тория, учитывая, что изучаемый район характеризуется повышенным естественным радиационным фоном за счет наличия рассеянных радиоактивных минералов в гранитах и гранодиоритах. Ниже рассмотрим особенности распределения урана, тория и радона в водах изученных объектов.

В настоящее время в водах карьера *Борок* природные радионуклиды содержатся в следующих пределах (мг/дм³): ²³⁸U от 0,009 до 0,213 и ²³²Th от 1,00·10⁻⁶ до 9,62·10⁻⁵. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 9,71·10⁻⁵ до 1,49·10⁻³ (рис. 6). Активность ²²²Rn варьирует в диапазоне от 1 до 89 Бк/дм³, что позволяет отнести их к классу очень слаборадоновых (по классификации Н.И. Толстихина) [1]. В водах *Тулинского* карьера содержания природных радионуклидов меняются в диапазоне (мг/дм³): ²³⁸U от 0,0121 до 0,0123 и ²³²Th от 3,20·10⁻⁶ до 7,08·10⁻⁶. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 2,4·10⁻⁴ до 5,77·10⁻⁴ и активность ²²²Rn не превышает 2 Бк/дм³. Содержания природных радионуклидов в водах *Горского* карьера варьируют (мг/дм³): ²³⁸U от 0,010 до 0,012 и ²³²Th от 1,00·10⁻⁵ до 1,15·10⁻⁵. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 9,30·10⁻⁴ до 1,02·10⁻³.

В водах *Новобибеевского* карьера природные радионуклиды содержатся в следующих пределах (мг/дм³): ²³⁸U от 0,010 до 0,012 и ²³²Th от 2,60·10⁻⁶ до 3,10·10⁻⁵. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 2,43·10⁻⁴ до 2,69·10⁻³. Активность ²²²Rn варьирует в диапазоне от 2 до 39 Бк/дм³, что позволяет отнести их к классу очень слаборадоновых. В водах *Скалинского* карьера природные радионуклиды содержатся в водах в следующих пределах (мг/дм³): ²³⁸U от 0,940 до 1,400 и ²³²Th от 3,93·10⁻⁵ до 2,16·10⁻⁵. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 4,20·10⁻⁵ до 1,78·10⁻³. Активность ²²²Rn варьирует в диапазоне от 154 до 573 Бк/дм³, что позволяет отнести их к классам слаборадоновым и умеренно радоновым.

Содержания природных радионуклидов в водах *Горловского* карьера изменяются (мг/дм³): ²³⁸U от 0,002 до 0,004 и ²³²Th от 7,15·10⁻⁶ до 4,68·10⁻⁵. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 2,10·10⁻³ до 1,17·10⁻². А в водах *Ургунского* карьера концентрации радионуклидов составляют (мг/дм³): ²³⁸U от 0,006 до 0,017 и ²³²Th от 1,40·10⁻⁵ до 3,78·10⁻⁵. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах варьирует в интервале от 8,37·10⁻⁴ до 3,41·10⁻³. В водах *Колыванского* карьера содержания ²³⁸U изменяются от 0,009 до 0,029 и ²³²Th от 9,32·10⁻⁶ до 5,57·10⁻⁴, а отношение ²³²Th/²³⁸U от 8,39·10⁻⁴ до 4,80·10⁻².

В водах *Абрашинского* карьера концентрации радионуклидов не превышают (мг/дм³): ²³⁸U 0,002 и ²³²Th 1,65·10⁻⁶. ²³²Th/²³⁸U отношение в водах – 7,24·10⁻⁴, активность ²²²Rn составляет 31 Бк/дм³.

В водах *Кировского* карьера содержания тория составляют 3,00·10⁻⁴ мг/дм³, активность ²²²Rn не превышает 2 Бк/дм³. Содержания природных радионуклидов в водах *Подгорного* карьера составляют (мг/дм³): ²³⁸U 0,027 и ²³²Th 6,47·10⁻⁶, а ²³²Th/²³⁸U отношение 2,36·10⁻⁴.

В настоящей работе была проведена оценка влияния сброса дренажных вод разрабатываемых месторождений твердых полезных ископаемых восточных

районов Новосибирской области на окружающую среду. Рассмотрим объемы радионуклидов, выносимых дренажными водами, на примере карьера *Борок*. По результатам автоматического учета средние объемы дренажных вод составляют – 2,3 млн м³ в год. Учитывая материалы геохимических исследований вод, средние концентрации урана составляют 6,58·10⁻² мг/дм³ и тория – 2,67·10⁻⁵ мг/дм³. Таким образом, ежегодные объемы выносимого урана и тория равны 151,4 и 61,4 кг соответственно. При этом следует отметить, что загрязнения радиоактивными элементами реки *Иня*, куда идет сброс, не наблюдается. За счет процессов смешения речных вод с дренажными, концентрации (мг/дм³): ²³⁸U варьируют от 2,32·10⁻³ до 2,40·10⁻³, а ²³²Th от 3,08·10⁻⁶ до 1,39·10⁻⁵. Подобные оценки выполнены для рек *Ояш*, *Чаус* и *Елбаш*, в которые идет сброс дренажных вод из карьеров *Новобибеевский*, *Скалинский* и карьеров *Горловского* угольного бассейна соответственно. Так, в реке *Ояш* концентрации радионуклидов составляют (мг/дм³): U 2,36·10⁻³; Th 5,85·10⁻⁶, в реке *Чаус* U – 3,55·10⁻³; Th 4,09·10⁻⁶, а в реке *Елбаш* 2,46·10⁻³ и 4,54·10⁻⁶ соответственно. Выявленные концентрации радионуклидов в речных водах соотносятся с фоновыми значениями для поверхностных вод Новосибирской области.

Заключение

Полученные результаты кратко можно резюмировать следующим образом.

Геологические и гидрогеологические условия изученных вод контролируют геохимические параметры среды. Так, в водах гранитных и угольных карьеров встречаются воды с нейтральным показателем pH, а в песчаных и мраморных в основном с щелочным. Также можно заметить, что в угольных карьерах развиты более минерализованные воды с величиной общей минерализации до 1171 мг/дм³, что отвечает слабосоленоватым водам, тогда как остальные дренажные воды ультрапресные – собственно пресные. Этот факт является закономерным, поскольку *Горловский* угольный бассейн имеет осадочное выполнение и, как следствие, в нем развиты более древние и соленые воды, чего не наблюдается в гранитных массивах. По рассчитанным геохимическим коэффициентам (Ca/Na, Ca/Mg, Ca/Si, Mg/Si, Na/Si, Si/Na, rNa/rCl и SO₄/Cl) можно сказать, что в песчаных и мраморных карьерах в большей степени накапливаются натрий, кальций и магний, тогда как в гранитных и угольных – кремний. Рост натрия в растворе также связан с процессами антропогенного загрязнения. Наиболее высокие концентрации радионуклидов установлены в водах гранитных массивов, где содержания урана достигают 1,40 мг/дм³ и тория – 2,16·10⁻⁵ мг/дм³, что вполне логично, так как их породы аккумулируют в себе некогерентные элементы. Выполненные исследования свидетельствуют о том, что разработка месторождений твердых полезных ископаемых не несет в себе опасности для окружающей среды. Сброс дренажных вод в речную систему восточных районов Новосибирской области не сказывается на качестве поверхностных вод.



Список литературы

1. Посохов Е.В., Толстихин Н.И. *Минеральные воды (лечебные, промышленные, энергетические)*. Л.: Недра; 1977. 240 с.
2. Вериго Е.К., Быкова В.В., Гусев В.К. Заельцовское месторождение радоновых вод (Новосибирское Приобье). В: *Новые данные по геологии и полезным ископаемым Западной Сибири*. 1979;(14):47–51.
3. Гусев В.К., Вериго Е.К. Радоновые воды Колывань-Томской складчатой зоны, их использование и охрана. В: *Изменение природных условий под влиянием деятельности человека*. Новосибирск; 1984. С. 99–107.
4. Chupakov A.V., Pokrovsky O.S., Moreva O.Y. et al. High resolution multi-annual riverine fluxes of organic carbon, nutrient and trace element from the largest European Arctic river, Severnaya Dvina. *Chemical Geology*. 2020;538:119491. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119491>
5. El-Mezayen A.M., Ibrahim E.M., El-Feky M.G. et al. Physico-chemical conditions controlling the radionuclides mobilisation in various granitic environments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022;102(4):970–986. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1729758>
6. Zhao C., Zhang P., Li X. et al. Distribution characteristics and influencing factors of uranium isotopes in saline lake waters in the northeast of Qaidam basin. *Minerals*. 2020;10(1):74. <https://doi.org/10.3390/min10010074>
7. Yu C., Berger T., Drake H. et al. Geochemical controls on dispersion of U and Th in Quaternary deposits, stream water, and aquatic plants in an area with a granite pluton. *Science of the Total Environment*. 2019;663:16–28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.293>
8. Faraj T., Ragab A., Alfay M.E. Geochemical and hydrogeological factors influencing high levels of radium contamination in groundwater in arid regions. *Environmental Research*. 2020;184:109303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109303>
9. Krall L., Auqué-Sanz L., Garcia-Orellana J. et al. Radium isotopes to trace uranium redox anomalies in anoxic Groundwater. *Chemical Geology*. 2019;531:119296. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119296>
10. Ogawa Y., Ishiyama D., Shikazono N. et al. Fractionation of rare earth elements (REEs) and actinides (U and Th) originating from acid thermal water during artificial and natural neutralization processes of surface waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2019;249:247–262. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.01.030>
11. Ram R., Vaughan J., Etschmann B., Brugger J. The aqueous chemistry of polonium (Po) in environmental and anthropogenic processes. *Journal of Hazardous Materials*. 2019;380:120725. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.06.002>
12. Восель Ю.С., Мельгунов М.С., Восель С.В. и др. Изотопно-геохимические свидетельства существования аутигенных фаз U(IV) в карбонатных осадках озер. В: *Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека. Материалы V международной конференции*. 13–16 сентября 2016, Томск, Россия. С. 167–172.
13. Иванов А.Ю., Арбузов С.И. Геохимия урана и тория в донных отложениях малых искусственных водоемов и озер на территории юга Томской области. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2019;330(4):136–146. <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/4/233>
14. Зеленин В.И., Садуакасова А.Т., Самойлов В.И. и др. Способ извлечения урана из разбавленных растворов и природных вод. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(9):252–258.
15. Самойлов В.И., Садуакасова А.Т., Зеленин В.И., Куленова Н.А. Исследование процесса сорбции урана из озерной воды с использованием природных сорбентов и продуктов их модификации. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2016;(4):283–291.
16. Исупов В.П., Колпакова М.Н., Борзенко С.В. и др. Уран в минерализованных озерах Алтайского края. *Доклады академии наук*. 2016;470(5):566–569. <https://doi.org/10.7868/S086956521629020X>
17. Ташекова А.Ж., Лукашенко С.Н., Койгельдинова М.Т., Мухамедияров Н.Ж. Характеристика элементного состава воды р. Шаган. *Вестник КрасГАУ*. 2016;12:141–146.
18. Мазухина С.И., Пожиленко В.И., Маслобоев В.А. и др. Формирование химического состава подземных вод в южном Прихибинье на примере водозабора «Предгорный». *Вестник МГТУ*. 2018;21(1):88–98. <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-1-88-98>
19. Яковлев Е.Ю., Киселёв Г.П., Дружинин С.В., Зыков С.Б. Исследование фракционирования изотопов урана (^{234}U , ^{238}U) в процессе образования кристаллов льда. *Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки»*. 2016;(3):15–23. <https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.3.15>
20. Зыкова Е.Н. Создание основы для проведения мониторинговых исследований изотопов урана на оз. Кудьмозере. В: *Международная научно-практическая конференция «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность»*. Под ред. Л.И. Лукиной, Н.А. Бежина, Н.В. Ляминой. 24–27 сентября 2018, Архангельск, Россия. С. 474–476.
21. Зыкова Е.Н., Зыков С.Б., Яковлев Е.Ю., Ларионов Н.С. Четные изотопы урана в поверхностных водах группы малых озер северо-запада Архангельской области. *Успехи современного естествознания*. 2018;(4):114–120. URL: <https://s.natural-sciences.ru/pdf/2018/4/36734.pdf>
22. Чернышев И.В., Голубев В.Н., Чугаев А.В., Манджиева Г.В., Гареев Б.И. Поведение изотопов ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U в процессах выветривания вулканических пород с урановой минерализацией (на при-



мере месторождения Тулукуевское, Восточное Забайкалье). *Петрология*. 2019;27(4):446–467. <https://doi.org/10.31857/S0869-5903274446-467>

23. Дойникова О.А., Тарасов Н.Н., Карташов П.М. Урановая минерализация палеодолинных месторождений Витима. *Разведка и охрана недр*. 2018;(12):24–30.

24. Шкиль И.Э., Поршнева А.И., Малов А.И. Изменение гидрогеоэкологических условий при осушении карьеров южной группы трубок месторождения им. М.В. Ломоносова. *Проблемы недропользования*. 2016;(3):105–114. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.03.105>

25. Novikov D.A., Dultsev F.F., Kamenova-Totzeva R.M., Korneeva T.V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaeltssovsky-Mochishche zone of Novosibirsk, Russia. *Environmental Earth Sciences*. 2021;80:216. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09486-w>

26. Новиков Д.А., Копылова Ю.Г., Вакуленко Л.Г. и др. Изотопно-геохимические особенности проявления слаборадоновых вод «Инские источники» (юг Западной Сибири). *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2021;332(3):135–145. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/03/3108>

27. Новиков Д.А., Дульцев Ф.Ф., Максимова А.А. и др. Первые результаты комплексных изотопно-гидрогеохимических исследований Новобибеевского проявления радоновых вод. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. 2022;333(1):57–72. <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/1/3447>

28. Novikov D.A., Dultsev F.F., Sukhorukova A.F. et al. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia. *Groundwater for Sustainable Development*. 2021;15:100674. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100674>

29. Бабин Г.А., Черных А.И., Головина А.Г. и др. *Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Алтай-Саянская. Лист N-44 – Новосибирск. Объяснительная записка*. СПб: Картографическая фабрика ВСЕ-ГЕИ; 2015. 392 с. URL: <https://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/mapcomments/n-44-novosibirsk-gosudarstvennaya-geologicheskaya-karta-rossiyskoy-federacii-t.pdf>

30. Небера Т.С. *Типоморфизм породобразующих минералов как показатель эволюции расплава и физико-химических условий образования гранитоидов Колывань-Томской складчатой зоны*. [Афтореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук]. Томск: Томский политехнический университет; 2010. 23 с.

References

1. Posokhov E.V., Tolstikhin N.I. *Mineral waters (medicinal, industrial, energy)*. Leningrad: Nedra Publ.; 1977. 240 p. (In Russ.)

2. Verigo E.K., Bykova V.V., Gusev V.K. Zaeltsovskoye radon water deposit (Novosibirskoye Priobye). In: *New data on geology and minerals of Western Siberia*. 1979;(14):47–51. (In Russ.)

3. Gusev V.K., Verigo E.K. Radon waters of the Kolyvan-Tomsk folded zone, their use and protection. In: *Changes in natural conditions due to human activity*. Novosibirsk; 1984. Pp. 99–107. (In Russ.)

4. Chupakov A.V., Pokrovsky O.S., Moreva O.Y. et al. High resolution multi-annual riverine fluxes of organic carbon, nutrient and trace element from the largest European Arctic river, Severnaya Dvina. *Chemical Geology*. 2020;538:119491. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2020.119491>

5. El-Mezayen A.M., Ibrahim E.M., El-Feky M.G. et al. Physico-chemical conditions controlling the radionuclides mobilisation in various granitic environments. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 2022;102(4):970–986. <https://doi.org/10.1080/03067319.2020.1729758>

6. Zhao C., Zhang P., Li X. et al. Distribution characteristics and influencing factors of uranium isotopes in saline lake waters in the northeast of Qaidam basin. *Minerals*. 2020;10(1):74. <https://doi.org/10.3390/min10010074>

7. Yu C., Berger T., Drake H. et al. Geochemical controls on dispersion of U and Th in Quaternary deposits, stream water, and aquatic plants in an area with a granite pluton. *Science of the Total Environment*. 2019;663:16–28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.293>

8. Faraj T., Ragab A., Alfay M.E. Geochemical and hydrogeological factors influencing high levels of radium contamination in groundwater in arid regions. *Environmental Research*. 2020;184:109303. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109303>

9. Krall L., Auqué-Sanz L., Garcia-Orellana J. et al. Radium isotopes to trace uranium redox anomalies in anoxic Groundwater. *Chemical Geology*. 2019;531:119296. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2019.119296>

10. Ogawa Y., Ishiyama D., Shikazono N. et al. Fractionation of rare earth elements (REEs) and actinides (U and Th) originating from acid thermal water during artificial and natural neutralization processes of surface waters. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 2019;249:247–262. <https://doi.org/10.1016/j.gca.2019.01.030>

11. Ram R., Vaughan J., Etschmann B., Brugger J. The aqueous chemistry of polonium (Po) in environmental and anthropogenic processes. *Journal of Hazardous Materials*. 2019;380:120725. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.06.002>

12. Vosel Y.S., Melgunov M.S., Vosel S.V. et al. Isotopic-geochemical evidence of authigenic U(IV)-phases existence in carbonate lake sediments. In: *Radioactivity and Radioactive Elements in the Human Environment. Materials of the V International Conference*. September 13–16, 2016, Tomsk, Russia. Pp. 167–172. (In Russ.)



13. Ivanov A. Y., Arbuzov S. I. Geochemistry of uranium and thorium in bottom sediments of small artificial water reservoirs and lakes in the south of the Tomsk region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2019;330(4):136–146. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2019/4/233>
14. Zelenin V. I., Saduakasova A. T., Samoilov V. I. et al. Method for uranium extraction from diluted solutions and natural waters. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2016;(9):252–258. (In Russ.)
15. Samoylov V. I., Saduakasova A. T., Zelenin V. I., Kulenova N. A. The study of uranium sorption extraction from lake water by using natural sorptive mediums and products of their modification. *Mining Information and Analytical Bulletin*. 2016;(4):283–291. (In Russ.)
16. Isupov V. P., Kolpakova M. N., Borzenko S. V. et al. Uranium in brine lakes of the Altai Territory. *Proceedings of the Academy of Sciences*. 2016;470(5):566–569. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S086956521629020X> (In Russ.)
17. Tashekova A. Zh., Lukashenko S. N., Koygeldinova M. T., Mukhamediyarov N. Zh. Characteristic of element structure of water r. Shagan. *Bulletin of KrasGAU*. 2016;12:141–146. (In Russ.)
18. Mazukhina S. I., Pozhilenko V. I., Masloboev V. A. et al. The formation of the chemical composition of groundwater in south prohibiting using the example of “Predgornyy” water intake. *Bulletin of MSTU*. 2018;21(1):88–98. (In Russ.) <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2018-21-1-88-98>
19. Yakovlev E. Yu., Kiselev G. P., Druzhinin S. V., Zykov S. B. Uranium isotopic fractionation (^{234}U , ^{238}U) in the formation of ice crystals. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) Federal'nogo Universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*. 2016;(3):15–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.17238/issn2227-6572.2016.3.15>
20. Zykova E. N. Establishment of the basis for conducting monitoring studies of uranium isotopes at the lake Kudmozero. In: Lukina L. I., Bezhina N. A., Lyamina N. V. (eds.) *International Scientific and Practical Conference “Environmental, Industrial and Energy Security”*. September 24–27, 2018, Arkhangelsk, Russia. P. 474–476. (In Russ.)
21. Zykova E. N., Zykov S. B., Yakovlev E. Yu., Larionov N. S. Evolutionary isotopes of uranium in surface waters of the group of small lakes of the northwest of the Arkhangelsk region. *Advances in Current Natural Sciences*. 2018;(4):114–120. (In Russ.) URL: <https://s.natural-sciences.ru/pdf/2018/4/36734.pdf>
22. Chernyshev I. V., Golubev V. N., Chugaev A. V. et al. Behavior of the ^{238}U , ^{235}U , and ^{234}U isotopes at weathering of volcanic rocks with u mineralization: a case study at the Tulukuevskoe deposit, Eastern Transbaikalia. *Petrology*. 2019;27(4):446–467. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0869-5903274446-467>
23. Doynikova O. A., Tarasov N. N., Kartashov P. M. Uranium mineralization of Vitim paleovalleys deposits. *Prospect and Protection of Mineral Resources*. 2018;(12):24–30. (In Russ.)
24. Shkil I. E., Porshnev A. I., Malov A. I. Hydro-geo-ecological conditions changing under pits drainage of the southern group of tubes in the M. V. Lomonosov deposit. *Problems of Subsoil Use*. 2016;(3):105–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.03.105>
25. Novikov D. A., Dultsev F. F., Kamenova-Totzeva R. M., Korneeva T. V. Hydrogeological conditions and hydrogeochemistry of radon waters in the Zaeltsovsky-Mochishche zone of Novosibirsk, Russia. *Environmental Earth Sciences*. 2021;80:216. <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09486-w>
26. Novikov D. A., Kopylova Yu. G., Vakulenko L. G. et al. Isotope geochemical features of occurrence of low-radon waters “Inskie Springs” (South-Western Siberia). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. (In Russ.) 2021;332(3):135–145. <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/03/3108>
27. Novikov D. A., Dultsev F. F., Maksimova A. A. et al. Initial results of the integrated isotope-hydrogeochemical studies of the Novobibeevo occurrence of radon-rich waters. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022;333(1):57–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/1/3447>
28. Novikov D. A., Dultsev F. F., Sukhorukova A. F. et al. Monitoring of radionuclides in the natural waters of Novosibirsk, Russia. *Groundwater for Sustainable Development*. 2021;15:100674. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100674>
29. Babin G. A., Chernykh A. I., Golovina A. G. et al. *State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Altai-Sayan series. Sheet N-44 – Novosibirsk. Explanatory letter*. St. Petersburg: Cartographic factory VSEGEI; 2015. 392 p. URL: <https://www.geokniga.org/sites/geokniga/files/mapcomments/n-44-novosibirsk-gosudarstvennaya-geologicheskaya-karta-rossiyskoy-federacii-t.pdf>
30. Nebera T. S. *Typomorphism of rock-forming minerals as an indicator of the evolution of the melt and the physicochemical conditions of the Kolyvan-Tomsk folded zone granitoid formation*. [Abstract Dis. Cand. Geol.-Min. Sciences]. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2010. 23 p. (In Russ.)

Информация об авторах

Антон Сергеевич Деркачев – инженер лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; Scopus ID [57223290521](https://orcid.org/0009-0001-57223290521); e-mail a.derkachev@g.nsu.ru

Анастасия Алексеевна Максимова – мл. научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, г. Новоси-



бирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-5068-555X](https://orcid.org/0000-0002-5068-555X), Scopus ID [57221031742](https://scopus.com/authorid/57221031742); e-mail rock.nastaya64@gmail.com

Дмитрий Анатольевич Новиков – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; ORCID [0000-0001-9016-3281](https://orcid.org/0000-0001-9016-3281), Scopus ID [35318389700](https://scopus.com/authorid/35318389700), ResearcherID [N-9520-2015](https://orcid.org/N-9520-2015); e-mail NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Федор Федорович Дульцев – научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-6848-5775](https://orcid.org/0000-0002-6848-5775), Scopus ID [57198442950](https://scopus.com/authorid/57198442950), ResearcherID [T-9088-2018](https://orcid.org/T-9088-2018); e-mail DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Анна Федоровна Сухорукова – кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Scopus ID [56524401600](https://scopus.com/authorid/56524401600); e-mail SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Анатолий Витальевич Черных – научный сотрудник лаборатории гидрогеологии осадочных бассейнов Сибири, Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, г. Новосибирск, Российская Федерация; Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Российская Федерация; ORCID [0000-0001-8680-420X](https://orcid.org/0000-0001-8680-420X), Scopus ID [7005156647](https://scopus.com/authorid/7005156647); e-mail ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Альбина Анатольевна Хвощевская – кандидат геолого-минералогических наук, заведующая проблемной научно-исследовательской лабораторией гидрогеохимии, Инженерная школа природных ресурсов, Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Российская Федерация; Scopus ID [55799519300](https://scopus.com/authorid/55799519300); e-mail Garibova@yandex.ru

Information about the authors

Anton S. Derkachev – Engineer, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; Scopus ID [57223290521](https://scopus.com/authorid/57223290521); e-mail a.derkachev@g.nsu.ru

Anastasia A. Maksimova – Junior Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID [0000-0002-5068-555X](https://orcid.org/0000-0002-5068-555X), Scopus ID [57221031742](https://scopus.com/authorid/57221031742); e-mail rock.nastaya64@gmail.com

Dmitry A. Novikov – Cand. Sci. (Geol. and Min.), Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID [0000-0001-9016-3281](https://orcid.org/0000-0001-9016-3281), Scopus ID [35318389700](https://scopus.com/authorid/35318389700), ResearcherID [N-9520-2015](https://orcid.org/N-9520-2015); e-mail NovikovDA@ipgg.sbras.ru

Fedor F. Dultsev – Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID [0000-0002-6848-5775](https://orcid.org/0000-0002-6848-5775), Scopus ID [57198442950](https://scopus.com/authorid/57198442950), ResearcherID [T-9088-2018](https://orcid.org/T-9088-2018); e-mail DultsevFF@ipgg.sbras.ru

Anna F. Sukhorukova – Cand. Sci. (Geol. and Min.), Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Scopus ID [56524401600](https://scopus.com/authorid/56524401600); e-mail SukhorukovaAF@ipgg.sbras.ru

Anatoliy V. Chernykh – Researcher, Laboratory of Hydrogeology of Sedimentary Basins of Siberia, Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation; Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russian Federation; ORCID [0000-0001-8680-420X](https://orcid.org/0000-0001-8680-420X), Scopus ID [7005156647](https://scopus.com/authorid/7005156647); e-mail ChernykhAV@ipgg.sbras.ru

Albina A. Khvashchevskaya – Cand. Sci. (Geol. and Min.), Head of the Problematic Research Laboratory of Hydrogeochemistry, School of Natural Resources Engineering, Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation; Scopus ID [55799519300](https://scopus.com/authorid/55799519300); e-mail Garibova@yandex.ru

Поступила в редакцию	25.03.2022	Received	25.03.2022
Поступила после рецензирования	20.07.2022	Revised	20.07.2022
Принята к публикации	01.09.2022	Accepted	01.09.2022



ГОРНЫЕ МАШИНЫ, ТРАНСПОРТ И МАШИНОСТРОЕНИЕ

Научная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-231-239>

УДК 622.23.051.78

Теоретические исследования характера и условий взаимодействия с забоем тыльных и периферийных конусов шарошек бурового долота со смещенными осями вращения

Д. А. Борейко¹  , А. А. Лютоев¹ , Д. Ю. Сериков²  ¹ Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Российская Федерация² Российский государственный технический университет (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация✉ diacont_dboreyko@mail.ru

Аннотация

Для увеличения механической скорости бурения при бурении мягких пород используют смещение осей вращения шарошек, которое позволяет увеличить проскальзывание зубьев вооружения по всей площади забоя. Анализ износа зубчатого вооружения бурового инструмента со смещенными осями вращения шарошек показал, что происходит существенное изнашивание («зализывание») переходной зоны от тыльного конуса к основному, и это приводит к существенному снижению механической скорости бурения и быстрому уменьшению диаметра скважины. Целью работы является проведение теоретических исследований характера и условий взаимодействия с забоем тыльных и периферийных конусов шарошек данного вида бурового инструмента для повышения эффективности разрушения породы забоя шарошечным буровым инструментом со смещенными осями вращения шарошек. Для достижения поставленной цели в работе проведён анализ характера износа зубчатого вооружения и причин его возникновения у существующих конструкций шарошечного бурового инструмента; разработана математическая модель в цилиндрической системе координат, позволяющая определять расположение и геометрические параметры зоны контакта калибрующего конуса со стенкой скважины для различных типоразмеров шарошечных буровых долот; разработана компьютерная твердотельная модель для проверки адекватности работы математической модели путём их сравнения; разработаны рекомендации по дальнейшему совершенствованию конструкции зубчатого вооружения шарошечного бурового инструмента со смещенными осями вращения шарошек. Исследования были проведены методом математического моделирования геометрических фигур и тел, соответствующих шарошкам и скважине. В результате исследований определено, что необходимо внести существенные коррективы в геометрию зубчатого вооружения шарошек (на данный момент патентуется), позволяющие на 15–20 % уменьшить площади площадок притупления периферийных венцов шарошек, а также обеспечить более длительный контакт основных и калибрующих конусов шарошек с поверхностью забоя и стенки скважины. Это позволит снизить повышенный износ зубьев вооружения в зоне перехода образующей от периферийного основного к калибрующему конусу шарошек и даст возможность зубчатому вооружению шарошек более длительный период времени сохранять требуемое удельное давление на разрушаемую породу, диаметр долота и, как следствие, обеспечит увеличение как механической скорости бурения, так и ресурса бурового инструмента.

Ключевые слова

буровое долото, шарошка, скважина, шарошечное бурение, математическое моделирование, разрушение породы, инструмент

Для цитирования

Boreiko D.A., Lutoev A.A., Serikov D.Yu. Theoretical studies on the nature and conditions of interaction of heel and peripheral nose cones of offset roller cone bits with a bottom hole. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):231–239. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-231-239>



MINING MACHINERY, TRANSPORT, AND MECHANICAL ENGINEERING

Research paper

Theoretical studies on the nature and conditions of interaction of heel and peripheral nose cones of offset roller cone bits with a bottom holeD. A. Boreiko¹   , A. A. Lyutov¹  , D. Yu. Serikov²  ¹ Ukhta State Technical University, Ukhta, Russian Federation² Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), Moscow, Russian Federation diacont_dboreiko@mail.ru**Abstract**

An offset of roller cone rotation centerlines is used to increase the mechanical penetration rate while drilling in soft rocks. This enables increasing the area of a cutting structure teeth contact with a bottom hole. The analysis of offset cone drill bit (cutting structure) teeth wear showed that particularly significant wear is characteristic of the transition zone from the heel cone to the nose cone, which leads to significant reduction in the mechanical rate of penetration and a rapid decrease in the hole diameter. The purpose of this paper is to conduct a theoretical research on the nature and conditions of interaction between heel and peripheral nose cones of offset roller cone bits with a bottom hole, which is aimed at improving the efficiency of rock cutting by offset roller cone bits. To achieve the purpose, the authors analyzed data on the nature and causes of wear of existing offset roller cone bit cutting structure (teeth); developed a mathematical model in a cylindrical coordinate system allowing to determine the location and geometric parameters of the gage cone contact area with the hole wall for different roller cone bits sizes; developed a computer solid model for checking the adequacy of the mathematical model by comparing these two models; prepared recommendations for further improvement of the design of existing offset roller cone bit cutting structure (teeth). The research was carried out by the method of mathematical simulation of geometric figures and bodies corresponding to roller cones and a hole. The research has revealed that significant adjustments need to be made to the geometry of the roller cone teeth (currently being patented). This would allow decreasing the areas of cone heel blunting by 15–20 % as well as providing more prolonged contact of base and gage cones with bottom hole and wall surfaces. This allows to reduce wear of teeth in the transition zone of the generatrix from the peripheral nose cone to the gage (heel) cone of the roller cone and to maintain the required specific pressure on the cut rock for a longer period of time and, as a result, to increase both the mechanical penetration rate and the service life of the drilling tools.

Keywords

drill bit, roller cone, hole, roller-bit drilling, mathematical simulation, rock destruction, tool

For citations

Boreiko D.A., Lyutov A.A., Serikov D.Yu. Theoretical studies on the nature and conditions of interaction of heel and peripheral nose cones of offset roller cone bits with a bottom hole. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):231–239. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-231-239>

Введение

В настоящее время известны различные подходы, позволяющие оценить эффективность шарошечного бурения, которая зависит от большого количества различных факторов. Их можно разделить на технологические и конструктивные.

Шарошечное долото конструктивно представляет собой породоразрушающий инструмент с шарошками, которые вооружены зубьями и имеют возможность вращаться вокруг собственной оси [1, 2]. В большинстве случаев в конструкциях долот отсутствует смещение осей вращения шарошек относительно оси вращения долота, что позволяет снизить износ вооружения при бурении крепких, твердых и пород средней твердости, а также пород, обладающих повышенной абразивностью [3]. На рис. 1 представлены примеры трёхшарошечного и двухшарошечного долот без

смещения осей вращения шарошек. Особый акцент на рисунке сделан на переходе образующих шарошек от периферийных венцов к тыльным конусам, которые являются калибрующими и формируют диаметр и стенки скважины.

Однако такие долота обладают не самой высокой механической скоростью бурения и проходкой на долото при бурении мягких пород. Для увеличения механической скорости бурения при бурении мягких пород используют параллельное смещение осей вращения шарошек, которое позволяет увеличить проскальзывание зубьев вооружения по всей площади забоя [4]. В то время как в большинстве зарубежных компаний в основном используют угловое смещение осей шарошек, которое обеспечивает меньшие величины проскальзывания зубьев, но позволяет увеличить размеры шарошек [5–7].

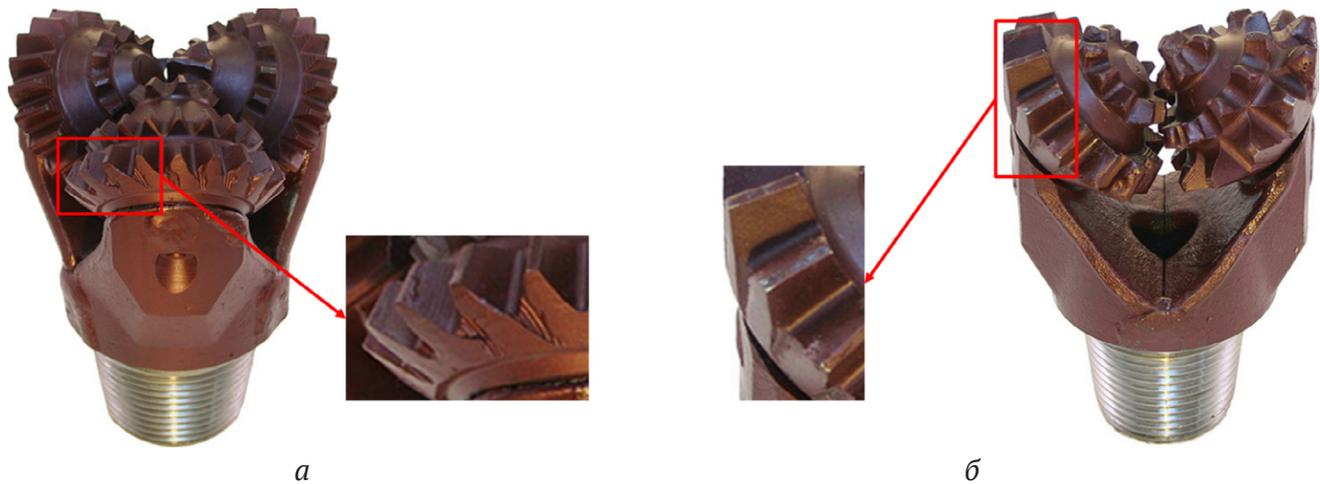


Рис. 1. Варианты конструкций новых (неиспользованных) долот: а – трёхшарошечное долото; б – двухшарошечное долото

Однако анализ износа вооружения шарошечных буровых долот со смещенными осями вращения шарошек после отработки в реальных условиях бурения нефтяных и газовых скважин позволил установить некоторые важные особенности этого процесса [8]. Главной из них является «зализывание» угла, образованного пересечением периферийного основного и калибрующего конусов шарошек (рис. 2). В результате этого процесса происходит увеличение площади «площадки притупления» зубьев периферийных рядов шарошек, что неминуемо приводит к снижению удельного давления на поверхность забоя и, как следствие, снижению разрушающей способности вооружения инструмента [9].

Проведенный анализ износа зубчатого вооружения бурового инструмента в том случае, когда оси вращения шарошек смещены относительно оси вращения долота, позволил установить, что происходит существенное изнашивание («за-

лизывание») переходной зоны от тыльного конуса к основному. Интенсивное изнашивание этой поверхности приводит к увеличению площади «площадки притупления» периферийных зубьев шарошки – самой энергозатратной зоны, работающей одновременно как на калибрование, так и на разрушение периферийной области забоя скважины, т. к. именно в этой части шарошки находятся зубья наибольших размеров, формирующие диаметр скважины и, соответственно, испытывающие наибольшие ударные и истирающие нагрузки [10]. Кроме того, это приводит к быстрой потере диаметра долота и, соответственно, диаметра самой скважины.

Повышение эффективности работы шарошечного бурового инструмента, как правило, связано с уменьшением энергетических затрат при бурении за счет обеспечения соответствия геометрии вооружения условиям работы каждого из венцов шарошек на кольцевых участках

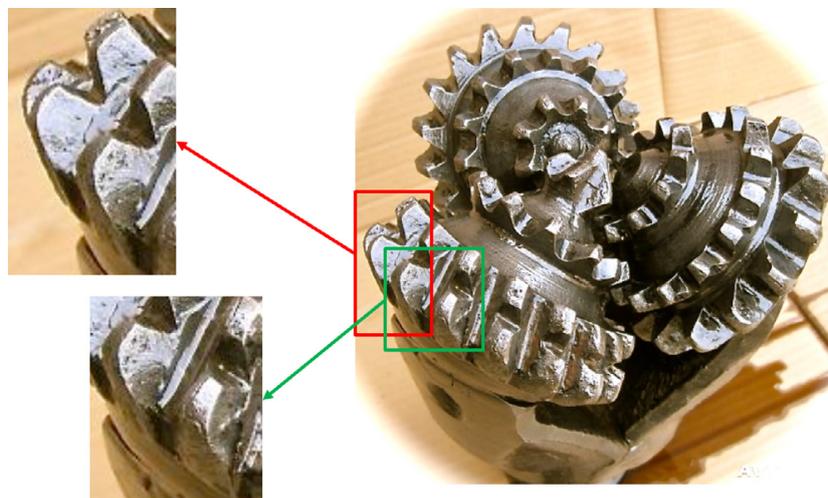


Рис. 2. Иллюстрация износа («зализывания») вершин периферийных венцов и тыльных конусов шарошек со смещенными осями вращения

забоя и физико-механическим свойствам разбуриваемых горных пород. Таким образом, задача совершенствования конструкции шарошечного бурового инструмента в настоящее время остаётся актуальной [11, 12]. В связи с этим необходимо исследовать причины возникновения указанных негативных процессов при бурении скважины шарошечными долотами со смещёнными осями вращения шарошек относительно оси вращения инструмента.

Цель и задачи исследований

Целью работы является повышение эффективности разрушения породы забоя шарошечным буровым инструментом со смещёнными осями вращения шарошек на основе проведения теоретических исследований характера и условий взаимодействия с забоем тыльных и периферийных конусов шарошек данного вида бурового инструмента.

Для достижения поставленной цели в работе решены следующие задачи:

1. Анализ характера износа зубчатого вооружения и причин его возникновения у существующих конструкций шарошечного бурового инструмента.

2. Разработка математической модели в цилиндрической системе координат, позволяющей определять расположение и геометрию зоны контакта калибрующего конуса со стенкой скважины для различных типоразмеров шарошечных буровых долот.

3. Разработка компьютерной твердотельной модели для проверки адекватности работы математической модели путём их сравнения.

4. Разработка рекомендаций по дальнейшему совершенствованию конструкции зубчатого вооружения шарошечного бурового инструмента со смещёнными осями вращения шарошек.

Методология исследований

Исследования по определению положения зоны контакта большого основания калибрующего конуса со стенкой скважины были проведены методом математического моделирования геометрических фигур и тел, соответствующих шарошкам и скважине с учетом ряда упрощений и допущений [13]. Так, например, известно, что конструктивно все шарошки буровых долот состоят из корпуса (тела) шарошки и непосредственно вооружения, представляющего собой фрезерованные или твердосплавные зубки. В свою очередь, корпус (тело) шарошки состоит из нескольких сопряженных между собой конусов, которые в общем и целом можно усредненно разделить на два тела: основной и калибрующий конусы, как показано на рис. 3. Таким образом, конструктивно стандартная конструкция шарошки представляет собой сдвоенный конус (основной + калибрующий). Важной особенностью такой конструкции является то, что переходная зона образуется под углом $\gamma = 90^\circ$ между образующими основного и калибрующего конусов.

Другим упрощением в модели является сама форма моделируемого тела – это основной конус и переходная плоскость θ , являющаяся общей и для основного, и для калибрующего конуса. Эта плоскость представляет научный интерес для исследования, т. к. зона касания со стенкой скважины принадлежит именно ей.

Для математического моделирования применяются методы преобразования координат, составления системы уравнений цилиндра, наклонного конуса и переходной плоскости θ , проходящей через точку их контакта (рис. 4). Для этого на первом этапе было создано геометрическое описание исследуемых тел в цилиндрической системе координат для конуса шарошки без смещения её оси относительно оси скважины.

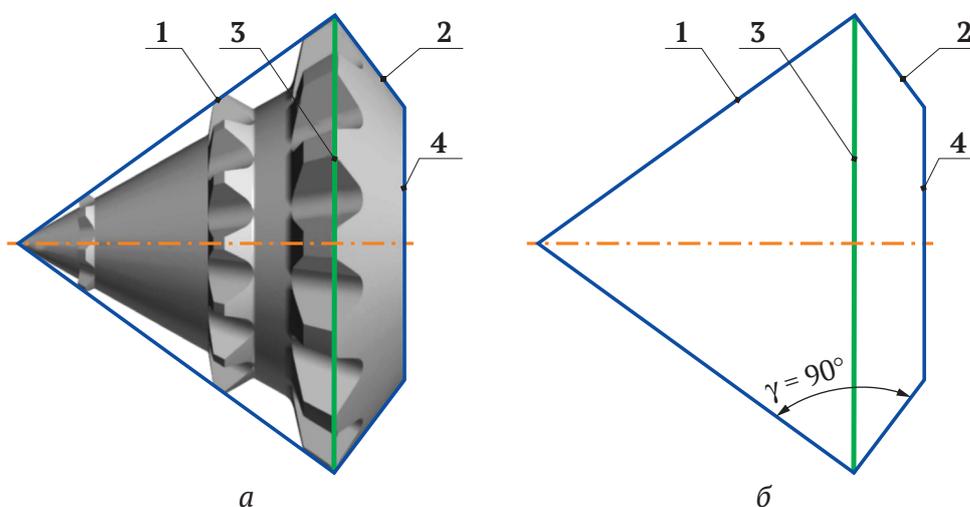


Рис. 3. Упрощение геометрии шарошки перед моделированием:

a – модель шарошки с фрезерованным зубчатым вооружением; *b* – эскиз продольного сечения конусов шарошки; 1 – основной конус; 2 – калибрующий конус; 3 – ребро переходной поверхности θ (большого основания калибрующего конуса); 4 – ребро малого основания калибрующего конуса; γ – угол между образующими основного и калибрующего конусов

Как видно из рис. 4, точка M контакта конуса и скважины принадлежит одновременно и стенке цилиндра скважины, и основанию (забою) скважины. Такое положение создаёт идеальный контакт боковой поверхности калибрующего конуса со стенкой скважины, когда «зализывания» периферийных венцов, показанного на рис. 2, не произойдёт.

Далее ось геометрической модели конуса смещают вдоль осей X и Y относительно оси геометрической модели скважины на расстояния dx и dy соответственно. При таком смещении оси конуса точка M изменяет своё пространственное положение, смещаясь вверх по стенке цилиндра скважины, и «нависает» над забоем, теряя контакт с ним. При таком положении возникает резкое вдавливание периферийных венцов шарошки в горную породу, в результате чего начинается процесс их сильного износа («зализывания») и формируется округлая переходная зона. В рассматриваемой геометрической модели для определения уравнения конуса и уравнения цилиндра введем две системы координат $OXYZ$ и $O'X'Y'Z'$ (рис. 5).

С учетом параллельного переноса dx и dy и поворота на угол β системы $O'X'Y'Z'$ относительно $OXYZ$ имеем:

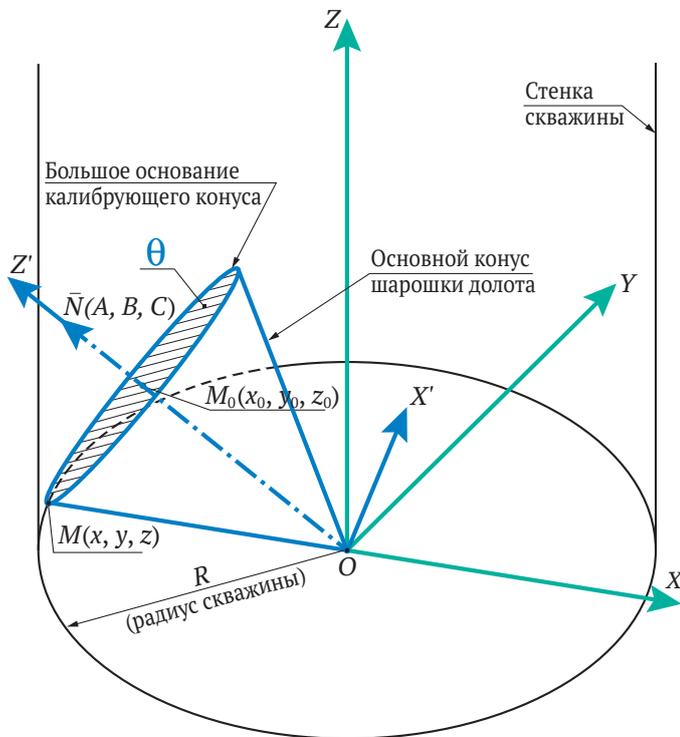


Рис. 4. Геометрическая модель конуса шарошки без смещения оси:

M – точка касания большого основания конуса и скважины;
 M_0 – центр большого (переходного) основания конуса

$$\begin{cases} x' = (x - dx) \cos \beta + z \sin \beta; \\ y' = y - dy; \\ z' = z \cos \beta - x \sin \beta. \end{cases} \quad (1)$$

Задача по нахождению координат точки M была сведена к нахождению точки касания цилиндра, заданного соответствующим уравнением, и конуса, «заваленного на бок» под углом β , с основанием, заданным плоскостью θ .

Уравнение цилиндра имеет вид:

$$x^2 + y^2 = R^2. \quad (2)$$

Уравнение конуса в каноническом виде в системе координат $O'X'Y'Z'$ записывается следующим образом:

$$x'^2 + y'^2 = \frac{z'^2}{c^2}, \quad (3)$$

где c – константа конуса (угловой коэффициент).

Сечение конуса плоскостью $OY'Z'$ задается уравнением $z = \pm cy$. Тогда угловой коэффициент прямой сечения c (рис. 6, а) равен:

$$c = \operatorname{tg}(90 - \alpha) = \operatorname{ctg} \alpha. \quad (4)$$

Уравнение (3) примет следующий вид:

$$x'^2 + y'^2 = \frac{z'^2}{\operatorname{ctg}^2 \alpha}. \quad (5)$$

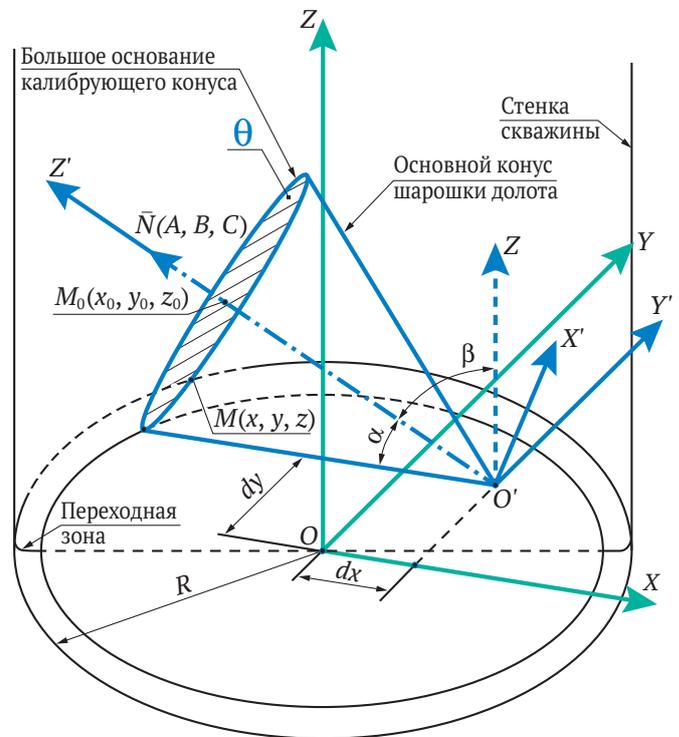


Рис. 5. Геометрическая модель конуса шарошки со смещением оси:

α – угол между $O'Z'$ и образующей конуса;
 β – угол поворота оси конуса относительно OZ ;
 dx – смещение оси конуса относительно OX ;
 dy – смещение оси конуса относительно OY

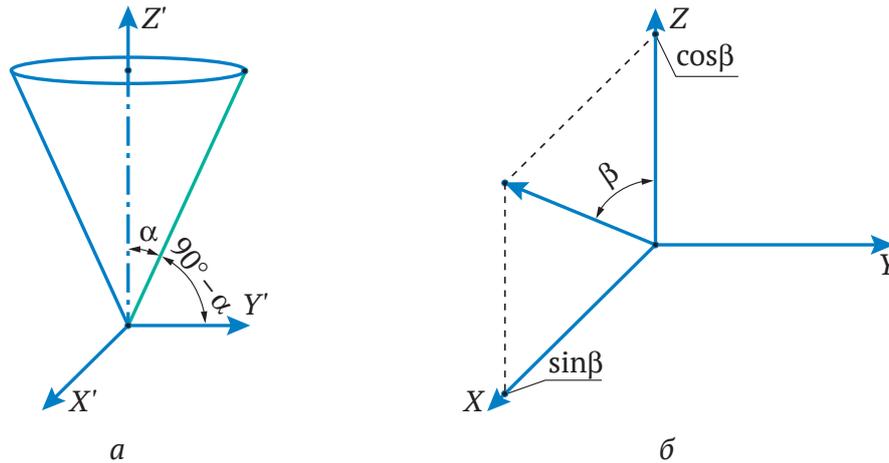


Рис. 6. Геометрическая модель конуса $O'X'Y'Z'$:

a – геометрическая модель конуса $O'X'Y'Z'$; b – определение координат нормального вектора плоскости θ ; α – угол конуса

Имея в виду, что:

$$\frac{1}{\operatorname{ctg} \alpha} = \operatorname{tg} \alpha, \quad (6)$$

$$\alpha = 90^\circ - \beta \Rightarrow \operatorname{tg}(90^\circ - \beta) = \operatorname{ctg} \beta, \quad (7)$$

и преобразование (1) переноса и поворота, получим уравнение конуса в системе координат $OXYZ$:

$$\begin{aligned} ((x-dx)\cos\beta + z\sin\beta)^2 + (y-dy)^2 = \\ = (z\cos\beta - x\sin\beta)^2 \operatorname{ctg}^2 \beta. \end{aligned} \quad (8)$$

Плоскость θ , проходящая через точку M_0 перпендикулярно вектору нормали $\vec{N}(A;B;C)$, в общем виде задается уравнением:

$$A(x-x_0) + B(y-y_0) + C(z-z_0) = 0. \quad (9)$$

Учитывая то, что нормальным вектором плоскости θ является ось конуса, который получен поворотом относительно оси OY на угол β (рис. 6, б), получим $\vec{N}(\sin\beta; 0; \cos\beta)$.

Тогда уравнение плоскости θ записывается следующим образом:

$$\sin\beta(x-x_0) + \cos\beta(z-z_0) = 0. \quad (10)$$

Результаты исследований

Таким образом, для нахождения точки M необходимо решить систему нелинейных уравнений:

$$\begin{cases} x^2 + y^2 = R^2; \\ (x-dx)(\cos\beta + z\sin\beta)^2 + (y-dy)^2 = \\ = (z\cos\beta - x\sin\beta)^2 \operatorname{ctg}^2 \beta; \\ \sin\beta(x-x_0) + \cos\beta(z-z_0) = 0. \end{cases} \quad (11)$$

Полученная система уравнений (11) позволит определять координаты точки M для различных типоразмеров долот при бурении скважин различного диаметра.

После математического моделирования были построены компьютерная твердотельная модель шарошки, аналогичная её геометрической модели, а также модель цилиндра скважины, с целью проверки сходимости результатов и визуализации искомой зоны контакта. На рис. 7 представлены модели шарошек и скважины, созданные в отечественной системе автоматизированного проектирования КОМПАС-3D.

Из рисунка видно, что в твердотельной модели зона контакта калибрующего конуса шарошки определена в той же области, что и математическая. Это свидетельствует об адекватности обеих моделей и корректности полученных результатов.

Для минимизации быстрого износа и образования «площадки притупления» в долоте со смещёнными осями шарошек необходимо добиться полного контакта боковой поверхности калибрующего конуса со стенкой скважины, как это есть в стандартных долотах без смещения [14]. Чтобы получить такой контакт, необходимо увеличить угол γ между образующими основного и калибрующего конусов до тех пор, пока малое основание калибрующего конуса не соприкоснётся со стенкой скважины таким же образом и одновременно с его переходной плоскостью θ . Такое положение получено нами итеративным способом в компьютерной твердотельной модели, представленной на рис. 7, г.

Для достижения такого результата было смоделировано несколько последовательных итераций по увеличению угла γ до значения, которое составило в итоге $97,7913^\circ$. Продольное dx и поперечное dy смещения в соответствии со схемой (рис. 7, б) составили $+5,4839$ мм и $+11,8789$ мм и были также определены итеративно. Результат моделирования свидетельствует о том, что искомая геометрия калибрующего конуса может быть определена и математически, аналогично математической модели зоны контакта переходной плоскости со стенкой скважины.

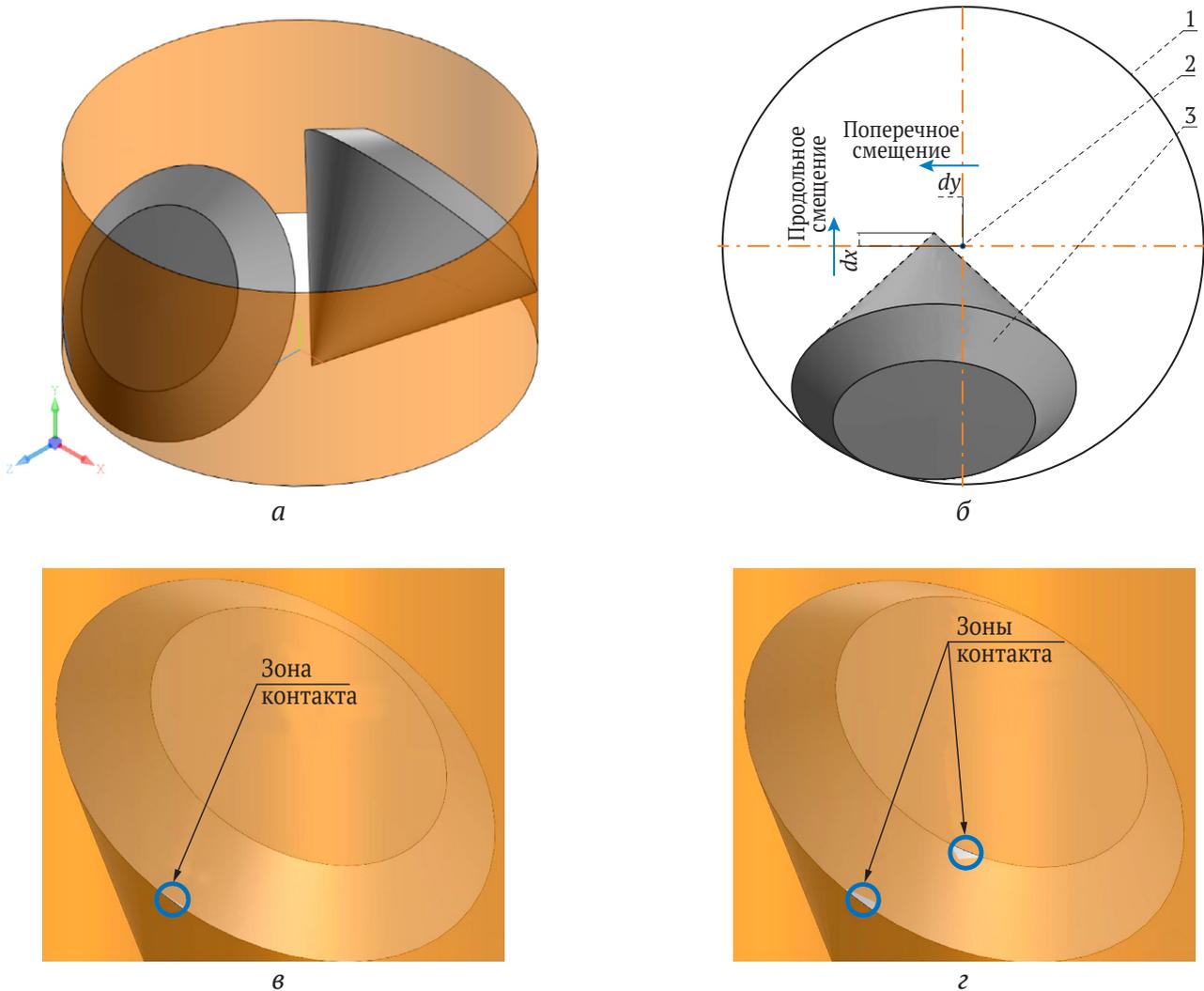


Рис. 7. Результат 3D-моделирования зоны контакта плоскости θ со скважиной: a – модель расположения моделей конусов шарошек внутри модели цилиндра скважины; b – схема смещения оси вращения модели шарошки; v – результат моделирования зоны контакта; z – результат 3D-моделирования зон контакта одновременно двух оснований калибрующего конуса со стенкой скважины; 1 – стенка модели скважины; 2 – ось модели скважины; 3 – модель шарошки

За счёт такой конструкции шарошки появится возможность более длительного поддержания требуемого удельного контактного давления для эффективного разрушения породы [15]. Всё это в комплексе позволит увеличить механическую скорость бурения и сохранить диаметр скважины в процессе всей работы буровым инструментом.

Направления дальнейших исследований

Для окончательного достижения цели исследований необходимо определение полной геометрии калибрующего конуса, при которой контакт его поверхности со стенкой скважины будет осуществляться по линии, соединяющей точку M , принадлежащую переходной плоскости θ , и аналогичную точку, принадлежащую малому основанию, координаты которой определяются на основании разработанной математической модели

с учетом угла наклона γ . Для этого будет разработана математическая модель, описывающая указанную линию, принадлежащую одновременно и внутренней боковой поверхности цилиндра скважины, и боковой поверхности калибрующего конуса, обеспечивающей равномерное «пятно контакта» (в настоящее время патентуется).

Заключение

Проведенные теоретические исследования позволили установить причины неравномерного износа зубчатого вооружения шарошечного бурового инструмента со смещенными осями вращения шарошек относительно оси вращения инструмента – это несоответствие в полной мере геометрии вооружения долота кривизне стенки скважины в области перехода образующей основного конуса шарошки к калибрующему, а также кинематическим особенностям шарошек со



смещенными осями вращения относительно оси вращения бурового инструмента.

Разработана математическая модель пересечения плоскости θ переходного основания конуса модели шарошки в области её касания с цилиндром модели скважины, которая позволяет создавать геометрию зубчатого вооружения шарошек, позволяющую существенно уменьшить неравномерность износа зубьев периферийных венцов шарошек и их калибрующих поверхностей таким образом, что при износе вооружения площадь «площадки притупления» зубьев на 15–20 % меньше, чем у вооружения аналогичных стандартных шарошек. Математическая модель была верифицирована путём сравнительного сопоставления с результатами твердотельного компьютерного моделирования, которое показало хорошую сходимость результатов.

Проведённые исследования показали, что необходимо внести существенные коррективы в геометрию зубчатого вооружения шарошек (на данный момент патентуется), позволяющие на 15–20 % уменьшить площади площадок притупления периферийных венцов шарошек, а также обеспечить более длительный контакт основных и калибрующих конусов шарошек с поверхностью забоя и стенки скважины. Это позволит снизить повышенный износ зубьев вооружения в зоне перехода образующей от периферийного основного к калибрующему конусу шарошек и даст возможность зубчатому вооружению шарошек более длительный период времени сохранять требуемое удельное давление на разрушаемую породу, диаметр долота и, как следствие, обеспечит увеличение как механической скорости бурения, так и ресурса бурового инструмента.

Список литературы

1. Палий П. А., Корнеев К. Е. *Буровые долота*. Справочник. 3-е изд. М.: Недра; 1971. 445 с.
2. Масленников И. К., Матвеев Г. И. *Инструмент для бурения скважин*. Справочное пособие. М.: Недра; 1981. 335 с.
3. Шигин А. О., Гилев А. В., Шигина А. А. Напряжения и стойкость шарошечных долот при бурении сложноструктурных массивов горных пород. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2013;(4):325–333.
4. Сериков Д. Ю., Пиканов К. А. Методика определения положения мгновенной оси вращения шарошки бурильного инструмента. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2014;(5):20–22.
5. Warran T. M. Penetration-rate performance of roller-cone bits. *SPE Drilling & Completion*. 1987;2(01):9–18. <https://doi.org/10.2118/13259-PA>
6. Hamrick T. R. *Optimization of operating parameters for minimum mechanical specific energy in drilling*. [Dissertation of Doctor of Philosophy.] Morgantown, West Virginia. 2011. 147 p.
7. Hea W., Chen Y., He J., Xiong W., Tang T., OuYang H. Spherical contact mechanical analysis of roller cone drill bits journal bearing. *Petroleum*. 2016;2(2):208–214. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2016.03.002>
8. Агошашвили Т. Г. Качественный анализ величин скольжений в долотах со смещенными осями шарошек. В: *Научные труды ВНИИБТ «Теория и техника бурения»*. 1967. Вып. 17. С. 144–154.
9. Близнюков В. Ю., Сериков Д. Ю. Шарошечное буровое долото со сфероконическими шарошками. *Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море*. 2020;(5):28–32. [https://doi.org/10.33285/0130-3872-2020-5\(329\)-28-32](https://doi.org/10.33285/0130-3872-2020-5(329)-28-32)
10. Богомолов Р. М. *Методы повышения эффективности разрушения горных пород при бурении шарошечными долотами*. [Дис... докт. техн. наук]. М.: НПО «Буровая техника»; 2001. 434 с.
11. Стеглянов Б. Л. *Повышение эффективности породоразрушающих буровых инструментов на основе сравнительного анализа кинетических характеристик их вооружения*. [Дис. ... докт. техн. наук]. М.; 1988. 393 с.
12. Повалихин А. С., Близнюков В. Ю. Освоение инновационных технологий строительства скважин на основе опорно-технологического бурения. *Инженер-нефтяник*. 2014;(2):5–9. URL: http://www.ids-corp.ru/files/oil_engineer/pdf/in2014-2.pdf
13. Быков И. Ю., Смирнов А. Л., Борейко Д. А. Компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния цилиндрических образцов с искусственными дефектами. *Инженер-нефтяник*. 2013;(1):40–43. URL: http://www.ids-corp.ru/files/oil_engineer/pdf/in2013-1.pdf
14. Богомолов Р. М., Носов Н. В. *Буровой инструмент. Энциклопедия изобретений*. В 2-х частях. М.: Инновационное машиностроение; 2015. 826 с.
15. Богомолов Р. М., Сериков Д. Ю. Совершенствование вооружения шарошечного бурового долота. *Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса*. 2018;(5):24–28. <https://doi.org/10.30713/1999-6934-2018-5-24-28>

References

1. Paliy P. A., Korneev K. E. *Drill bits*. Handbook. 3rd Ed., Moscow: Nedra Publ.; 1971. 445 p. (In Russ.)
2. Maslennikov I. K., Matveev G. I. *Tools for drilling boreholes*. Reference manual. Moscow: Nedra Publ.; 1981. 335 p. (In Russ.)



3. Shigin A. O., Gilev A. V., Shigina A. A. Stresses and stability of rolling cutter bits in complex-structure rock masses. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2013;(4):325–333. (In Russ.)
4. Serikov D. Yu., Pikanov K. A. Some methodology of determining location of momentary rotational axis of a drill bit cutter. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*. 2014;(5):20–22. (In Russ.)
5. Warran T. M. Penetration-rate performance of roller-cone bits. *SPE Drilling & Completion*. 1987;2(01):9–18. <https://doi.org/10.2118/13259-PA>
6. Hamrick T. R. *Optimization of operating parameters for minimum mechanical specific energy in drilling*. [Dissertation of Doctor of Philosophy.] Morgantown, West Virginia. 2011. 147 p.
7. Hea W., Chen Y., He J., Xiong W., Tang T., OuYang H. Spherical contact mechanical analysis of roller cone drill bits journal bearing. *Petroleum*. 2016;2(2):208–214. <https://doi.org/10.1016/j.petlm.2016.03.002>
8. Agoshashvili T. G. Qualitative analysis of teeth slippage values in offset roller cone bits. In: *Scientific works VNIIBT Publ. "Theory and technique of drilling"*. 1967. Rel. 17. Pp. 144–154. (In Russ.)
9. Bliznyukov V. Yu., Serikov D. Yu. A drill bit with sphero-conical rolling-cutter drill bits. *Construction of Oil and Gas Wells on Land and Sea*. 2020;(5):28–32. (In Russ.) [https://doi.org/10.33285/0130-3872-2020-5\(329\)-28-32](https://doi.org/10.33285/0130-3872-2020-5(329)-28-32)
10. Bogomolov R. M. *Methods to increase the efficiency of rock destruction when drilling with roller cone bits*. [Doctoral thesis in Engineering Science]. Moscow: NPO "Drilling Technics"; 2001. 434 p. (In Russ.)
11. Steklyanov B. L. *Increasing the performance of rock destruction drilling tools based on a comparative analysis of the kinetic characteristics of their cutting structures*. [Doctoral thesis in Engineering Science]. Moscow; 1988. 393 p. (In Russ.)
12. Povalihin A. S., Bliznyukov V. Yu. Learning to use novel technologies for well construction on the basis of key well drilling. *Inzhener-Neftyanik*. 2014;(2):5–9. (In Russ.) URL: http://www.ids-corp.ru/files/oil_engineer/pdf/in2014-2.pdf
13. Bykov I. J., Smirnov A. L., Borejko D. A. Stress-deformed state of cylindrical specimen with artificial defects: computer modeling. *Inzhener-Neftyanik*. 2013;(1):40–43. (In Russ.) URL: http://www.ids-corp.ru/files/oil_engineer/pdf/in2013-1.pdf
14. Bogomolov R. M., Nosov N. V. *Drilling tools. Encyclopedia of Inventions*. (In 2 parts). Moscow: Innovatsionnoe Mashinostroenie Publ.; 2015. 826 p. (In Russ.)
15. Bogomolov R. M., Serikov D. Yu. Improvement of the cutting structures of the rolling cutter drill bits. *Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*. 2018;(5):24–28. (In Russ.) <https://doi.org/10.30713/1999-6934-2018-5-24-28>

Информация об авторах

Дмитрий Андреевич Бореико – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности, Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-0248-4526](https://orcid.org/0000-0002-0248-4526), Scopus ID [56912272500](https://scopus.com/authorid/56912272500); e-mail diacont_dboreyko@mail.ru

Александр Анатольевич Лютоев – кандидат технических наук, доцент кафедры высшей математики, Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Российская Федерация; Scopus ID [57208719323](https://scopus.com/authorid/57208719323); e-mail allyutoev@yandex.ru

Дмитрий Юрьевич Сериков – доктор технических наук, доцент кафедры стандартизации, сертификации и управления качеством производства нефтегазового оборудования, Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина, г. Москва, Российская Федерация; ORCID [0000-0003-3256-580X](https://orcid.org/0000-0003-3256-580X), Scopus ID [6506405788](https://scopus.com/authorid/6506405788); e-mail serrico@yandex.ru

Information about the authors

Dmitry A. Boreiko – Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department of Machines and Equipment of Oil and Gas Industry, Ukhta State Technical University, Ukhta, Russian Federation; ORCID [0000-0002-0248-4526](https://orcid.org/0000-0002-0248-4526), Scopus ID [56912272500](https://scopus.com/authorid/56912272500); e-mail diacont_dboreyko@mail.ru

Alexander A. Lutoev – Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Advanced Mathematics, Ukhta State Technical University, Ukhta, Russian Federation; Scopus ID [57208719323](https://scopus.com/authorid/57208719323); e-mail allyutoev@yandex.ru

Dmitry Yu. Serikov – Dr. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Standardization, Certification and Quality Management of Oil and Gas Equipment Manufacturing, National University of Oil and Gas "Gubkin University", Moscow, Russian Federation; ORCID [0000-0003-3256-580X](https://orcid.org/0000-0003-3256-580X), Scopus ID [6506405788](https://scopus.com/authorid/6506405788); e-mail serrico@yandex.ru

Поступила в редакцию 23.03.2022
Поступила после рецензирования 28.08.2022
Принята к публикации 01.09.2022

Received 23.03.2022
Revised 28.08.2022
Accepted 01.09.2022



ПОДГОТОВКА ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ КАДРОВ. ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Обзорная статья

<https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-240-259>

УДК 622:378



Аналитический обзор системы подготовки горных инженеров в России

В.Л. Петров   

Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва, Российская Федерация

 petrovv@misis.ru

Аннотация

Подготовка специалистов для минерально-сырьевого комплекса в России является всегда одной из самых актуальных тем для дискуссий в академическом и профессиональном горном сообществе, в том числе и в международном контексте. Эксперты из многих стран регулярно представляют свои исследования о состоянии и достижениях высшего горного образования в национальных системах подготовки горных инженеров. Целью публикации являются анализ и количественная оценка системы подготовки горных инженеров в России. Для оценки количественных характеристик подготовки горных инженеров в России в исследовании использовались методы анализа, основанные на объективных данных государственной статистики выпуска горных инженеров во всех университетах, а также приема на соответствующие специальности и направления подготовки. Так, по специальностям «Прикладная геология»; «Технология геологической разведки»; «Горное дело»; «Физические процессы горного или нефтегазового производства» в 2021 г. в России был подготовлен 5031 горный инженер. По специальностям нефтегазового профиля – 10 789 бакалавров и магистров. Результаты анализа представлены в статье в разрезе конкретных университетов, специальностей и направлений подготовки, федеральных округов и страны в целом. Количественные параметры подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса в университетах России свидетельствуют о возможности формирования кадрового потенциала в системе высшего образования отрасли только за счет собственных научно-педагогических школ.

Ключевые слова

горный инженер, минерально-сырьевой комплекс, нефтегазовое дело, горное дело, прикладная геология, высшее горное образование, горные университеты, регионы России, обучение, горные специальности, престиж, прием в университет, статистика приема, качество, анализ

Для цитирования

Petrov V.L. Analytical review of the training system for mining engineers in Russia. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):240–259. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-240-259>

PROFESSIONAL PERSONNEL TRAINING

Review paper

Analytical review of the training system for mining engineers in Russia

V.L. Petrov   

National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation

 petrovv@misis.ru

Abstract

Personnel training for the mineral resources sector in Russia has always been one of the most relevant topics for discussion in academic and professional mining community, including the international context. Experts from many countries regularly present their research on the state and achievements of higher education in mining in the national training systems for mining engineers. The purpose of this paper is to analyze and quantify the system of training for mining engineers in Russia. To assess the quantitative characteristics of the training of mining engineers in Russia, the research used methods of analysis based on the objective data of state statistics on the graduation of mining engineers in all universities, as well as admission to the corresponding professions and training programs. Thus, 5,031 mining engineers were trained in Russia in the specialties “Applied Geology”; “Geological Exploration”; “Mining”; “Physical Processes of Mining and Oil and Gas Production” in 2021. 10,789 bachelors and masters were trained under oil and gas directions of training. The results of the analysis are presented in the paper in the context of particular universities, specializations and directions of training of Federal Districts and the country as a whole. The quantitative parameters of personnel training for the mineral resource sector at Russian universities indicate the opportunity for the formation of human resources potential within the higher education system of the industry exclusively at the expense of their own academic schools.

**Keywords**

mining engineer, mineral resource sector, oil and gas, mining, applied geology, higher education in mining, mining universities, regions of Russia, training, mining professions, prestige, university admission, admission statistics, quality, analysis

For citation

Petrov V.L. Analytical review of the training system for mining engineers in Russia. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(3):240–259. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-3-240-259>

Введение

Подготовка специалистов для минерально-сырьевого комплекса в России является всегда одной из самых актуальных тем для дискуссий в академическом и профессиональном сообществах [1–3], в том числе и в международном контексте [1, 4, 5]. Эксперты из многих стран регулярно представляют свои исследования о состоянии и достижениях высшего горного образования в Австралии [4, 6], Украине [7], ЮАР [8], Румынии [9], Турции [10], Словакии [11], а также в ряде других стран. Активные публичные дискуссии ведутся на таких авторитетных площадках, как например, Сообщество профессоров в области горного дела (SOMP), на международных конференциях горного и горно-геологического профиля, а также в рамках Международного горного конгресса. Сборники трудов указанных научных событий дают представление о прогрессивных решениях по тем или иным направлениям развития систем подготовки горных инженеров, реализуемых в университетах и странах, возможность узнать об объективных кризисах, с которыми сталкиваются отдельные страны, развивая свои национальные системы подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса [9]. Конечно, высшему горному образованию приходится отвечать на очень серьезные вызовы, которые определяются следующими факторами:

- нередко в некоторых регионах и странах горная отрасль приходит в упадок, промышленность добычи твердых полезных ископаемых сворачивается и становится непопулярной. Это объективно снижает востребованность в специалистах и приводит к стагнации горных академических школ;

- горным специальностям в университетах сложно конкурировать с многими другими направлениями подготовки, например IT-специальностями, по привлечению талантливых молодых людей на свои программы горно-геологического профиля;

- новый технологический уклад в значительной степени изменяет профессию и роль горного инженера. Высокая скорость этих изменений не всегда позволяет университетам гибко реагировать на них в своих программах подготовки, что приводит к возникновению разрыва между требованиями к подготовке специалистов со стороны горного бизнеса и возможностями по обеспечению этих требований со стороны университетов.

Автор не претендует на детальный анализ всех факторов, снижающих престиж высшего горного образования и его привлекательность, в статье представлены лишь основные причины, лежащие на поверхности. Возможно, анализ этих факторов при-

влечет внимание других экспертов, которые выскажут свое мнение по этому вопросу.

Передовые университеты, которые реализуют образовательные программы на основе своих научно-педагогических школ, стараются обеспечивать возрастающие потребности добывающей промышленности с точки зрения количественных и качественных показателей, занимая передовые позиции в части своевременного ответа на новые вызовы. Мы видим, что активно внедряются в учебный процесс передовые технологии, основанные на новых цифровых решениях, в том числе на VR [12–15] и AR-технологиях [16]. Традиционно и практически повсеместно особое внимание уделяется формированию компетенций горного инженера, связанных с технологической безопасностью [17–19], а также с практической подготовкой [20, 21]. Нельзя не отметить, что методические аспекты on-line обучения в высшем горном образовании обсуждались экспертами задолго до начала пандемии Covid-19 [22].

Давая оценку аспектам развития части минерально-сырьевого комплекса, которая связана с добычей и первичной переработкой твердых полезных ископаемых (горное дело), нельзя не затронуть нефтегазовую отрасль.

Проблемы высшего горного и нефтегазового образования в большинстве своем очень схожи. Однако, следует отметить, что нефтегазовое дело в России более привлекательно как область профессиональной деятельности, что и создает условия для интенсивного развития системы нефтегазового образования [23–25].

Важную роль в развитии и гармонизации глобальной системы подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса играют общественные, академические и профессиональные институты [26, 27]. Среди международных, конечно, следует отметить Сообщество профессоров в области горного дела, тематика работы которого тесно связана не только с концепциями развития горного образования, но и с его содержанием, с выработкой общих подходов к реализации образовательных программ.

В Российской Федерации государство учредило специальный общественно-государственный институт в системе высшего образования – Федеральные учебно-методические объединения по образовательным областям, среди которых есть и Федеральное учебно-методическое объединение в системе высшего образования «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия». На это общественное объединение возложена функция разработки научно-методического обеспечения



соответствующей области образования, включая разработку федеральных образовательных стандартов, а также участие в формировании и реализации государственной политики в сфере высшего образования.

Количественные показатели оценки выпуска горных инженеров в России

Вопросы, связанные с оценкой количественных показателей подготовки кадров для отрасли, всегда привлекали интерес экспертного сообщества. Представители промышленности часто заявляют о нехватке горных инженеров в промышленности. Университеты всеми силами старались нарастить их выпуск, стараясь не снижать качество подготовки. Тем не менее экспертных аналитических материалов, связанных с количественными оценками потребности в подготовке горных инженеров, не так много. Последняя такая информация в России была представлена в исследованиях автора в 2017 г. [3, 28]. Эти же материалы вошли в основу доклада автора о высшем горном образовании в России в рамках 28-й конференции Международного сообщества профессоров в области горного дела (SOMP), которое проходило в г. Турине (Италия) в 2017 г.

Достаточно интересные данные о количественных оценках потребности в горных инженерах приведены в исследовании [29]. Это одно из немногих исследований, которое дает оценку потребности в горных инженерах не в России. В исследовании приводится пример формирования кадрового инженерного корпуса горной индустрии в Австралии, где дефицит в горных инженерах покрывается за счет специалистов из других стран, таких как: Польша, Россия, Украина, Перу и т.д.

В России количественные оценки подготовки горных инженеров представлены в публичном пространстве с 2005 г. и являются предметом обсуждения на страницах многих публикаций [3, 28]. Эти же вопросы регулярно рассматриваются на публичных мероприятиях, советах Федерального учебно-методического объединения в системе высшего образования «Прикладная геология, горное дело, нефтегазовое дело и геодезия», Высшего горного совета России.

При представлении аналитических материалов авторы этой публикации учитывали интересы международных экспертов, которым для формирования полноценной картины о российской системе подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса, необходимо получить общее представление о некоторых особенностях системы высшего образования в России (прием в вузы, перечни специальностей и т.д.). В целом система государственного регулирования в части реализации образовательных программ в разных странах имеет много общего, но в каждой из них, в том числе и в России, есть свои нюансы.

В настоящем исследовании раскрываются обновленные данные и учитываются последние тенденции развития высшего инженерного образования в России.

Особенности приема

в высшие учебные заведения России

Высшие учебные заведения России планируют количество принимаемых для обучения граждан за 8–9 мес до начала основных процедур. Во многом это планирование осуществляется на уровне университетов, которые самостоятельно определяют конкурсные группы направлений подготовки, перечень вступительных испытаний и т.д. Ключевым параметром в этом процессе планирования является количество бюджетных мест, которые выделяются вузу для обучения граждан за счет средств федерального бюджета страны. Выделение бюджетных мест осуществляется на основе конкурсных процедур между университетами, учитывающих потребность в специалистах на федеральном и региональном уровнях, а также объективные показатели деятельности самих университетов. По итогам этих конкурсных процедур университетам спускаются «контрольные цифры приема» для обучения за счет средств федерального бюджета по направлениям подготовки, специальностям или группам направлений подготовки и специальностей (аналог персональных государственных грантов, которые часто используются в международных системах высшего образования) для приема на первый курс.

Прием на программы высшего образования в Российской Федерации осуществляется по итогам специализированного национального экзамена, который называется «Единый государственный экзамен» (ЕГЭ). Примерно за полгода до окончания общеобразовательной школы ее выпускник должен спланировать, какие предметы в рамках ЕГЭ он будет сдавать после окончания школы (июнь года окончания школы), для того чтобы поступать в университет (июль, август года поступления в вуз). Результаты ЕГЭ действительны и могут быть улучшены в течение четырех лет (можно комбинировать лучшие результаты по годам).

Государство определяет обязательные дисциплины, которые необходимо сдать абитуриенту при поступлении на определенные направления подготовки или специальности. Так, на специальности, связанные с горным делом и геологией, – это русский язык и математика. Университеты также могут установить дополнительные дисциплины или комбинации дисциплин на свое усмотрение. В некоторых университетах предлагается поступающим абитуриентам представлять результаты ЕГЭ по физике, химии или информатике (по выбору).

Процедуры и технологии проведения ЕГЭ в российском обществе являются источником самых жарких дискуссий, которые не уступают по накалу таким аспектам общественной жизни, например, как пенсионная реформа или трудовая занятость. Но этот механизм уже работает более 20 лет и он позволяет проводить прием в вузы на основе единых национальных критериев оценки знаний выпускников общеобразовательных школ по предметным областям.

Определенные исключения касаются выпускников средних специальных учебных заведений, которые завершили обучение по программам среднего профессионального образования (уровень профессионального образования в России, который находит-

ся перед высшим образованием). Выпускники этих учебных заведений могут выбирать траекторию поступления в университет: по результатам ЕГЭ или по результатам вступительных испытаний университета. Большинство из них при желании может поступать в университет, пройдя вступительные испытания университетов (не ЕГЭ). По результатам вступительных испытаний университетов поступают также лица, получившие среднее общее образование за рубежом, включая иностранных граждан.

Все поступающие в университет перед зачислением на первый курс проходят конкурс в соответствии с ранжированным списком, в котором практически все абитуриенты находятся в равных условиях. В конкурсе принимают участие только те лица, которые имеют положительные результаты вступительных испытаний или соответствующие результаты ЕГЭ.

Внеконкурсными льготами или преимущественными правами обладает небольшая категория граждан (сироты, инвалиды и т.д.), а победители всероссийских и международных предметных школьных профильных олимпиад могут зачисляться в университеты без экзаменов. Число лиц, пользующихся такими исключениями при реализации конкурсных процедур на направления подготовки или специальности подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса, незначительно, и в целом они не играют большой роли в повышении конкурсных показателей.

Если конкретный человек не прошел по конкурсу, у него есть возможность обучаться за счет собственных средств или средств юридических лиц (платное обучение), заключив договор с университетом. Вуз также планирует этот количественный показатель, объявляя проходные баллы и количество мест, проводя на эти места отдельные конкурсные процедуры.

Специальности и направления подготовки специалистов

для минерально-сырьевого комплекса России

В Российской Федерации функционирует собственная система классификации специальностей и направлений подготовки в высшем образовании. На федеральном уровне утверждается перечень направлений подготовки и специальностей, который фиксируется в распорядительном акте ведомства, формирующего и реализующего государственную политику в системе высшего образования страны (Министерство науки и высшего образования Российской Федерации). Следует отметить, что в России функционирует уровневая система высшего образования, но она имеет определенную специфику.

Федеральным законом зафиксированы следующие уровни высшего образования:

- высшее образование – бакалавриат (срок обучения 4 года);
- высшее образование – специалитет (срок обучения 5–5,5 лет);
- высшее образование – магистратура (срок обучения 2 года), получить его возможно после любого ранее полученного уровня высшего образования, обычно бакалавриата);
- высшее образование – подготовка кадров высшей квалификации (аспирантура).

Программы бакалавриата и магистратуры реализуются по направлениям подготовки, программы специалитета – по специальностям. На рис. 1 представлена структура классификации направлений подготовки и специальностей в высшем образовании в России.

Программы специалитета (подготовка ведется по специальностям) и программы магистратуры относятся к программам второго уровня высшего образования.

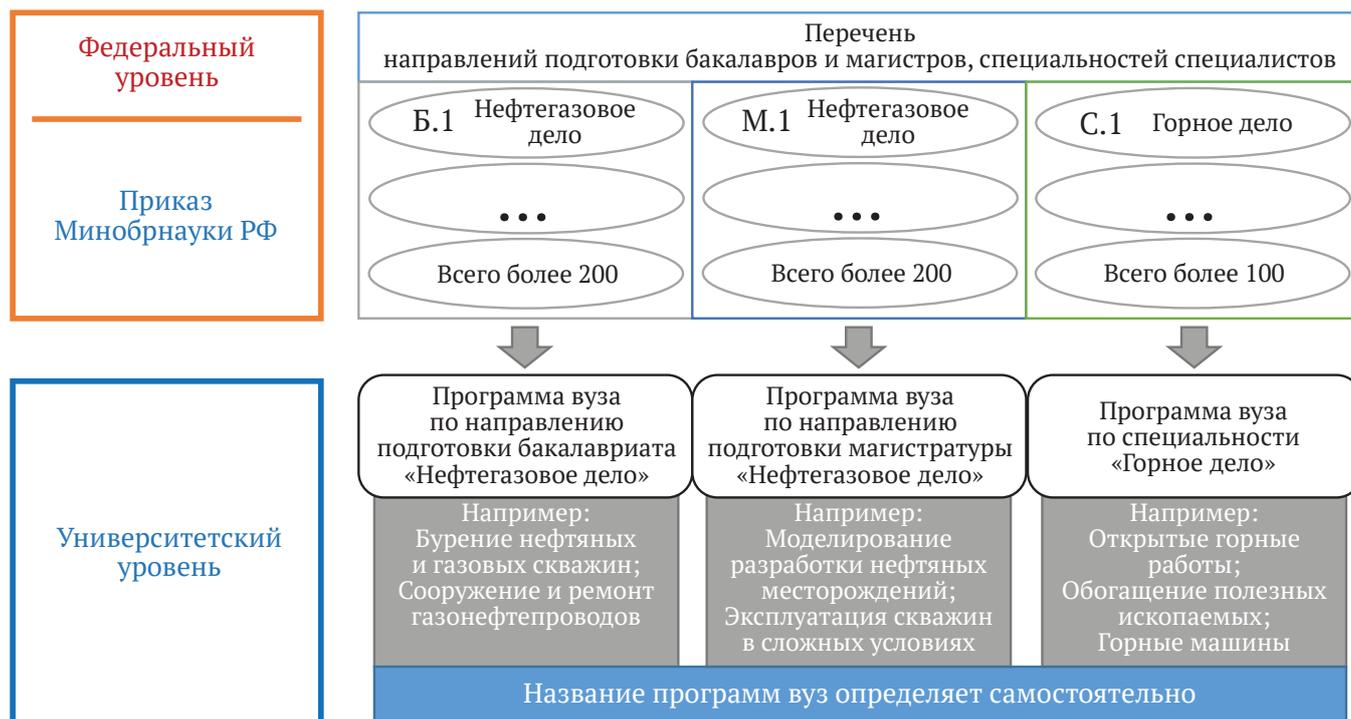


Рис. 1. Структура классификации направлений подготовки и специальностей в высшем образовании в России



Программы специалитета реализуются не после бакалавриата, как магистратура, а одновременно с ним.

Абитуриент, поступающий на программы высшего образования, может выбрать, куда ему поступать: на бакалавриат или на специалитет. После бакалавриата он может продолжить обучение в магистратуре, а затем и в аспирантуре. После специалитета можно сразу поступать в аспирантуру. Программы бакалавриата и магистратуры реализуются по направлениям подготовки, программы специалитета – по специальностям (см. рис. 1).

Университеты разрабатывают и реализуют основные профессиональные образовательные программы высшего образования по направлениям подготовки или специальностям, формируя самостоятельно специализацию (см. рис. 1). Например, в рамках специальности «Горное дело» университеты часто придерживаются классических названий программ «Открытые горные работы», «Подземная разработка месторождений полезных ископаемых», «Маркшейдерское дело», «Обогащение полезных ископаемых», «Горные машины», «Технологическая безопасность и горноспасательное дело», «Шахтное и подземное строительство», «Взрывное дело», «Электрификация горных производств» и т.д. В последние 10 лет под влиянием разных факторов стали появляться и новые специализации, такие как: «Горно-геологические информационные системы», «Горнопромышленная экология» и т.д. Таким образом, университеты, пользуясь своей свободой в части формирования новых программ подготовки специалистов, могут смотреть в будущее и пытаться предвидеть новые профессии горного инженера.

Подготовка кадров для минерально-сырьевого комплекса в российских вузах в настоящее время осуществляется по следующим основным специальностям подготовки:

- «Прикладная геология» с присвоением квалификации горный инженер (5 лет обучения);
- «Технология геологической разведки» с присвоением квалификации горный инженер (5 лет обучения);
- «Горное дело» с присвоением квалификации горный инженер (5,5 лет обучения);
- «Физические процессы горного или нефтегазового производства» с присвоением квалификации горный инженер (5,5 лет обучения);
- «Нефтегазовая техника и технологии» с присвоением квалификации горный инженер (5,5 лет обучения).

В рамках направлений бакалавриата и магистратуры основным направлением является «Нефтегазовое дело» (4 года обучения бакалавриат и 2 года магистратура).

Названия основных направлений подготовки и специальностей созвучны с названиями областей профессиональной деятельности – геологическая разведка, добыча и переработка минерального сырья и др.

Однако это не означает, что выпускники только основных направлений подготовки и специальностей могут заниматься инженерной деятельностью в минерально-сырьевом комплексе. Конечно, компа-

нии этой отрасли экономики нуждаются в инженерах из смежных отраслей – энергетиках, экономистах, специалистах в области информационных систем и технологий, технологических машин, транспорта и многих других, желающих реализовать себя в сфере геологии, горного дела или нефтегазового дела.

В некоторых секторах минерально-сырьевого комплекса, например добычи твердых полезных ископаемых, для выполнения должностных обязанностей, связанных с руководством и ведением горных работ, руководством и ведением взрывных работ, кадровому персоналу необходимо соответствовать требованиям Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор). Это ведомство предъявляет особые требования к базовому высшему образованию таких специалистов. В частности, для вышеописанного случая лица, осуществляющие руководство горными работами, должны иметь базовое высшее горное образование – диплом горного инженера по специальности «Горное дело». Именно такие особенности ограничивают деятельность на горных предприятиях специалистов даже из очень близких областей. Например, бакалавр или магистр, закончивший направление подготовки «Геология» в рамках классического образования (без присвоения квалификации горный инженер или горный инженер-геолог), не сможет руководить горными работами, но безусловно будет востребован в качестве специалиста, эксперта, деятельность которого может быть связана с анализом, апробированием, поисковыми работами, проектным оформлением и т.д. Аналогичные ситуации есть и в нефтегазовой области.

Университеты, пользуясь своими свободами в части формирования профилей образовательных программ, создают и реализуют программы, ориентированные на минерально-сырьевой комплекс на базе неосновных направлений и специальностей подготовки. Этот процесс особенно характерен для регионов с доминирующим горнопромышленным сектором экономики. Так, в рамках направления подготовки магистратуры «Информатика и вычислительная техника» в вузах рождается и реализуется программа с названием «Горно-геологические информационные системы» (аналог специализации или профиля специалитета, о котором было сказано выше). Такой подход позволяет привлечь дополнительные кадры в отрасль, используя выпускников разных направлений подготовки, а также дает возможность университетам быстро реагировать на нужды компаний при реализации проектов, связанных с развитием и освоением минерально-сырьевой базы в регионах.

Университеты, ведущие подготовку кадров для минерально-сырьевого комплекса. Анализ количественных характеристик подготовки кадров

На протяжении последних 15 лет развитие университетов в России осуществлялось на основе специальных правительственных программ, целью которых стало повышение конкурентоспособности как университетов, так и системы высшего образования



страны в целом. В итоге была сформирована национальная сеть университетов, основу которых составили федеральные университеты, национально-исследовательские университеты [16].

Федеральные университеты организуются в федеральных округах, обычно один университет на федеральный округ. Однако в Дальневосточном федеральном округе, с учетом его масштабов и особого внимания государства к развитию этого региона, было создано два федеральных университета: в г. Якутске (Северо-Восточный федеральный университет) и в г. Владивостоке (Дальневосточный федеральный университет)). Всего в Российской Федерации 10 федеральных университетов. Они учреждаются в целях обеспечения подготовки кадров для комплексного социально-экономического развития субъектов Российской Федерации.

Деятельность национально-исследовательских университетов имеет своей целью кадровое обеспечение приоритетных направлений развития науки, технологий, техники, отраслей экономики, социальной сферы, развитие и внедрение в производство «высоких» технологий. Всего в Российской Федерации 29 таких университетов.

Все федеральные и национально-исследовательские университеты развиваются на основании программ развития, которые утверждаются для федеральных университетов правительством страны, а для национально-исследовательских – профильными министерствами. Развитие эти университетов осуществляется в условиях дополнительного финансирования. К сожалению, на Дальнем Востоке России нет университетов, имеющих статус национально-исследовательских.

В соответствии с федеральным законодательством России национально-исследовательские университеты имеют больше академических свобод. Например, они имеют возможность разрабатывать и реализовывать свои образовательные программы на основе собственных образовательных стандартов, в то время как остальные вузы должны строго следовать федеральным государственным образовательным стандартам высшего образования (ФГОС ВО).

Это позволяет им более гибко реагировать на запросы рынка труда, творчески подходить к созданию программ, которые могут быть составной частью больших промышленных проектов, а также «не оглядываться» на некоторые ограничения, сдерживающие развитие инновационного образования из-за бюрократических формальных требований некоторых документов. Справедливости ради следует отметить, что на протяжении последних десяти лет федеральные нормативные документы, включая сами ФГОС ВО, сильно эволюционировали в направлении передачи значительных полномочий университетам, развития их свобод, в том числе и академических, что позволяет вузам более гибко реагировать на новые вызовы.

В настоящем исследовании представлены результаты анализа данных государственной статистики Российской Федерации в системе высшего образования. Университеты ежегодно представляют данные об основных статистических показателях по соответствующим направлениям подготовки и специальностям. Автором статьи эти данные получены в Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации. В настоящей публикации они представлены для публичного обсуждения (данные приведены на 2021 г.). В табл. 1 и 2 дана информация об университетах и количестве выпускников по направлениям подготовки и специальностям для минерально-сырьевого комплекса в 2021 г. Статистические данные представлены с точностью до одной единицы учета (один выпускник) и приводятся в таблицах без округления, так как отражают абсолютные значения показателей из системы государственной статистики Российской Федерации. В таблице не приводятся данные по выпуску горных инженеров по специальности подготовки «Нефтегазовая техника и технология», что связано с тем, что эта специальность является новой. Подготовка по ней открыта только пять лет назад, а первый выпуск в профильных российских университетах состоится только в 2022 г. Аналитический обзор подготовки горных инженеров по этой специальности будет представлен Федеральным учебно-методическим объединением в следующих публикациях. Данные сгруппированы по федеральным округам России.

Таблица 1
Количество выпускников по специальностям: «Прикладная геология»; «Технология геологической разведки»; «Горное дело»; «Физические процессы горного или нефтегазового производства» в 2021 г.

Название университета	Специальности подготовки								
	Горное дело		Прикладная геология		Технология геологической разведки		Физические процессы горного или нефтегазового производства		
	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	
Центральный федеральный округ									
1	Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород								
	52	17	22	7	–	–	–	–	–
2	Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, г. Белгород; филиал в г. Губкине, Белгородская обл.								
	22	43	–	–	–	–	–	–	–



Продолжение табл. 1

Название университета	Специальности подготовки								
	Горное дело		Прикладная геология		Технология геологической разведки		Физические процессы горного или нефтегазового производства		
	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	
3 Воронежский государственный университет, г. Воронеж	–	–	9	–	–	–	–	–	–
4 Московский политехнический университет, г. Москва	49	92	–	47	–	17	–	–	–
5 Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва; филиал в г. Старом Осколе, Белгородская обл.	117	52	203	95	77	74	20	9	–
6 Российский университет дружбы народов, г. Москва	24	15	23	22	–	–	–	–	–
7 Российский университет нефти и газа им. И.М. Губкина (национально-исследовательский университет), г. Москва	–	–	79	54	54 (84*)	49 (75*)	25	21	–
8 Тверской государственный технический университет, г. Тверь	16	10	–	–	–	–	–	–	–
9 Тульский государственный университет, г. Тула	44	27	–	–	–	–	–	–	–
10 Университет «Дубна», г. Дубна, Московская область	–	–	–	–	19	17	–	–	–
11 Университет науки и технологий МИСИС, г. Москва; филиал – Старооскольский технологический институт им. А.А. Угарова; филиал в г. Губкине, Белгородская обл.	303 (408**)	260	–	–	–	–	26	22	–
12 Юго-Западный государственный университет, г. Курск	29	24	–	–	–	–	–	–	–
Итого	656	540	336	225	150	157	71	52	–

Итого по Центральному федеральному округу ведут подготовку 12 университетов**Южный федеральный округ**

1 Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань	–	–	29	16	–	–	–	–	–
2 Астраханский государственный университет, г. Астрахань	–	–	–	–	–	–	–	–	–
3 Кубанский государственный университет, г. Краснодар	–	–	–	–	23	–	–	–	–
4 Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М. И. Платова, г. Новочеркасск; филиал – Шахтинский автодорожный институт в г. Шахты, Ростовская обл.	79	106	58	62	–	–	–	–	–
5 Южный федеральный университет, г. Ростов-на-Дону	–	–	23	15	–	–	–	–	–
Итого	79	106	110	93	23	–	–	–	–

Итого по Южному федеральному округу ведут подготовку 5 университетов**Северо-Западный федеральный округ**

1 Мурманский арктический университет, г. Мурманск, филиал в г. Апатиты, Мурманская обл.	53	36	–	–	–	–	10	–	–
2 Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск	–	–	–	–	–	–	22	3	–
3 Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Республика Карелия	37	38	–	–	–	–	–	–	–
4 Санкт-Петербургский горный университет (национальный исследовательский университет), г. Санкт-Петербург	392	296	129	88	52	47	–	–	–
5 Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, г. Архангельск	19	11	15	10	–	–	–	–	–
6 Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Республика Коми; филиал в г. Воркуте	38	15	18	20	–	11	–	–	–
Итого	539	396	162	118	52	58	32	3	–

Итого: по Северо-Западному федеральному округу ведут подготовку 6 университетов

* Российский университет нефти и газа им. И.М. Губкина (национально-исследовательский университет) ведет подготовку специалистов по специальности “Технология геологической разведки” в филиале в г. Ташкенте, Республика Узбекистан. В 2021 г. прием на направление составил 30 чел., выпуск – 26 чел. В общей статистике по Российской Федерации эти цифры не учитываются.

** Университет науки и технологий МИСИС ведет подготовку специалистов по специальности “Горное дело” в филиале в г. Алмалык, Республика Узбекистан. В 2021 г. прием на специальность составил 105 чел. Первый выпуск в филиале планируется в 2023 г. В общей статистике по Российской Федерации эти цифры не учитываются.



Продолжение табл. 1

Название университета	Специальности подготовки								
	Горное дело		Прикладная геология		Технология геологической разведки		Физические процессы горного или нефтегазового производства		
	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	
Дальневосточный федеральный округ									
1	Амурский государственный университет, г. Благовещенск, Амурская обл.	–	7	35	31	–	–	–	–
2	Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Республика Бурятия	8	–	–	–	–	–	–	–
3	Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток	–	68	–	–	–	–	–	–
4	Северо-Восточный государственный университет, г. Магадан	78	43	24	7	–	–	–	–
5	Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова, г. Якутск, Республика Саха-Якутия; филиал в г. Мирном, филиал в г. Нерюнгри	212	179	46	24	46	23	–	–
6	Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск	27	14	–	–	–	–	–	–
	Итого	325	311	105	62	46	23	–	–
Итого по Дальневосточному федеральному округу ведут подготовку 6 университетов									
Сибирский федеральный округ									
1	Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, г. Кемерово, Кузбасс; филиал в г. Прокопьевске; филиал в г. Междуреченске; филиал в г. Новокузнецке; филиал в г. Белове, Кемеровская обл.	591	402	–	8	–	–	19	17
2	Сибирский федеральный университет, г. Красноярск	158	136	70	44	75	32	–	–
3	Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Кемеровская обл.	261	140	20	14	–	–	–	–
4	Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск	366	147	25	18	27	21	–	–
5	Иркутский национальный исследовательский государственный университет, г. Иркутск	–	–	24	26	–	–	–	–
6	Заполярный государственный университет им. Н.М. Федоровского, г. Норильск, Красноярский край	66	37	–	–	–	–	–	–
7	Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск	117	29	–	–	–	–	–	–
8	Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск; филиал – Юргинский технологический институт, г. Юрга, Кемеровская обл.	–	8	83	57	51	30	–	–
9	Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск	–	–	–	9	–	–	–	–
10	Тувинский государственный университет, г. Кызыл, Республика Тыва	38	–	–	–	–	–	–	–
11	Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), г. Новосибирск ¹	–	–	–	–	–	–	–	–
12	Забайкальский государственный университет, г. Чита	169	158	40	7	–	8	–	–
	Итого	1766	1057	262	183	153	91	19	17
Итого по Сибирскому федеральному округу ведут подготовку 12 университетов									
Уральский федеральный округ									
1	Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова, Челябинская обл.	247	140	–	–	–	–	–	–

¹ В университете не производился прием и выпуск в 2021 г., но имеется лицензия и аккредитация по специальности “Горное дело”. По информации университета Минобрнауки РФ выделило для набора студентов в 2023 г. 10 бюджетных мест.



Окончание табл. 1

Название университета	Специальности подготовки								
	Горное дело		Прикладная геология		Технология геологической разведки		Физические процессы горного или нефтегазового производства		
	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	
2	Технический университет УГМК, г. Верхняя Пышма, Свердловская обл.								
3	Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень								
4	Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Свердловская обл.								
5	Югорский государственный университет, г. Ханты-Мансийск, Ханты-Мансийский автономный округ								
6	Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет), филиал в г. Миассе, Челябинская обл.								
	Итого	947	510	213	218	163	121	-	-
Итого по Уральскому федеральному округу ведут подготовку 6 университетов									
Приволжский федеральный округ									
1	Башкирский государственный университет, Республика Башкортостан, г. Уфа, филиал в г. Стерлитамаке								
2	Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан								
3	Оренбургский государственный университет, г. Оренбург								
4	Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь								
5	Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь, филиал в г. Березниках, Пермский край								
6	Самарский государственный технический университет, г. Самара								
7	Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов								
8	Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Республика Удмуртия								
9	Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Республика Башкортостан								
	Итого	131	86	352	289	67	83	59	31
Итого по Приволжскому федеральному округу ведут подготовку 9 университетов									
Северо-Кавказский федеральный округ									
1	Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, г. Грозный, Чеченская Республика								
2	Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Республика Северная Осетия								
3	Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь								
	Итого	106	69	99	74	43	58	-	-
Итого по Северо-Кавказскому федеральному округу ведут подготовку 3 университета									
Итого в Российской Федерации ведут подготовку 59 университетов									
	Общий итог	4549	3075	1639	1262	697	591	181	103



Таблица 2

Количество выпускников по направлениям подготовки «Нефтегазовое дело» (бакалавриат, магистратура) и специальности «Нефтегазовые техника и технологии» (специалитет) в 2021 г.

Название университета	Специальности и направления подготовки						
	Нефтегазовое дело, бакалавриат		Нефтегазовые техника и технологии, специалитет		Нефтегазовое дело, магистратура		
	прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск	
Центральный федеральный округ							
1	Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж	110	128	–	–	60	49
2	Московский политехнический университет, г. Москва	10	63	–	–	–	–
3	Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, г. Москва, филиал в г. Старом Осколе, Белгородская обл.	36	54	–	–	42	69
4	Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (национальный исследовательский университет), г. Москва	388 (604*)	329 (508*)	53	–	323	384
5	Российский университет дружбы народов, г. Москва	83	56	–	–	17	7
6	Сколковский институт науки и технологий, г. Москва	–	–	–	–	12	13
7	Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов	3	11	–	–	2	2
	Итого	630	641	53	–	456	524
Итого по Центральному федеральному округу ведут подготовку 7 университетов							
Южный федеральный округ							
1	Астраханский государственный технический университет, г. Астрахань	109	132	–	–	52	108
2	Донской государственный аграрный университет, Ростовская область, поселок Персиановский; филиал – Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А.К. Кортумова – г. Новочеркасск, Ростовская обл.	29	–	–	–	–	–
3	Кубанский государственный технологический университет, г. Краснодар, филиал в г. Армавире, Краснодарский край	213	276	–	–	86	137
4	Майкопский государственный технологический университет, г. Майкоп, филиал в пос. Яблоновском, Республика Адыгея	115	136	–	–	19	–
5	Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, г. Новочеркасск, Ростовская обл.	62	47	24	–	–	–
	Итого	528	591	24	–	157	245
Итого по Южному федеральному округу ведут подготовку 5 университетов							
Северо-Западный федеральный округ							
1	Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск	17	10	–	–	–	–
2	Санкт-Петербургский горный университет (национальный-исследовательский университет), г. Санкт-Петербург	317	227	92	–	137	109
3	Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург	16	8	–	–	9	13
4	Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск	100	68	–	–	24	9
5	Ухтинский государственный технический университет, г. Ухта, Республика Коми; филиал в г. Воркуте, филиал в г. Усинске	263	287	69	–	75	44
	Итого	713	600	161	–	245	175
Итого по Северо-Западному федеральному округу ведут подготовку 5 университетов							
Дальневосточный федеральный округ							
1	Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Хабаровск, филиал в г. Свободном, Хабаровская обл.	34	44	–	–	1	–
2	Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Дальневосточный край	52	92	–	–	30	35

* Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина (национальный исследовательский университет) ведет подготовку бакалавров по направлению «Нефтегазовое дело» в филиале в г. Ташкенте, Республика Узбекистан. В 2021 г. прием на направление составил 216 чел., выпуск – 179 чел. В общей статистике по Российской Федерации эти цифры не учитываются.



Продолжение табл. 2

Название университета		Специальности и направления подготовки					
		Нефтегазовое дело, бакалавриат		Нефтегазовые техника и технологии, специалитет		Нефтегазовое дело, магистратура	
		прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск
3	Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, г. Владивосток, Дальневосточный край ²	–	–	–	–	–	–
4	Сахалинский государственный университет, г. Южно-Сахалинск	39	60	–	–	–	–
5	Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова, г. Якутск, Республика Саха-Якутия, филиал в г. Мирном	42	49	33	–	–	–
6	Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск	25	56	–	–	–	–
Итого		192	301	33	–	31	35
Итого по Дальневосточному федеральному округу ведут подготовку 6 университетов							
Сибирский федеральный округ							
1	Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск	112	292	107	–	37	4
2	Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск	182	205	–	–	125	99
3	Омский государственный технический университет, г. Омск	209	153	–	–	80	85
4	Сибирский федеральный университет, г. Красноярск	33	88	–	–	–	–
5	Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск	81	34	–	–	–	–
Итого		617	772	107	–	242	188
Итого по Сибирскому федеральному округу ведут подготовку 5 университетов							
Уральский федеральный округ							
1	Нижневартовский государственный университет, г. Нижневартовск, Ханты-Мансийский автономный округ	62	122	–	–	–	–
2	Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, филиал в г. Ноябрьске, филиал в г. Сургуте, филиал в г. Нижневартовске, Ханты-Мансийский автономный округ	411	1137	493	–	216	669
3	Югорский государственный университет, г. Югра, Ханты-Мансийский автономный округ	262	363	–	–	–	–
Итого		735	1622	493	–	216	669
Итого по Уральскому федеральному округу ведут подготовку 3 университета							
Приволжский федеральный округ							
1	Альметьевский государственный нефтяной институт, г. Альметьевск, Республика Татарстан	135	176	–	–	60	73
2	Ижевский государственный технический университет им. М. Т. Калашникова, Республика Удмуртия	22	–	–	–	8	–
3	Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Республика Татарстан	102	57	–	–	52	38
4	Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Республика Татарстан	51	78	–	–	–	–
5	Камский институт гуманитарных и инженерных технологий, г. Ижевск, Республика Удмуртия	9	23	–	–	–	–
6	Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева, г. Нижний Новгород	54	10	–	–	7	5
7	Пермский национальный исследовательский политехнический университет, г. Пермь	124	234	50	–	75	31
8	Поволжский государственный технологический университет, г. Йошкар-Ола, Республика Марий Эл	43	9	–	–	–	–

² В университете в 2021 г. не производился прием и выпуск по данным специальностям, однако есть определенное число студентов, обучающихся на разных курсах, зачисленных в предыдущие годы (59 чел.).



Окончание табл. 2

Название университета		Специальности и направления подготовки					
		Нефтегазовое дело, бакалавриат		Нефтегазовые техника и технологии, специалитет		Нефтегазовое дело, магистратура	
		прием	выпуск	прием	выпуск	прием	выпуск
9	Самарский государственный технический университет, г. Самара	688	726	–	–	232	210
10	Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов, филиал в г. Энгельсе, Саратовская обл.	100	200	–	–	–	–
11	Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского, г. Саратов	61	31	–	–	–	–
12	Удмуртский государственный университет, г. Ижевск, Республика Удмуртия, филиал в г. Воткинске	235	408	186	–	69	63
13	Ульяновский государственный технический университет, г. Ульяновск	18	16	–	–	14	3
14	Ульяновский государственный университет, г. Ульяновск	38	68	–	–	14	–
15	Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Республика Башкортостан, филиал в г. Стерлитамаке, филиал в г. Октябрьском, филиал в г. Салавате	475	732	805	–	367	495
16	Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) им. И. М. Губкина, филиал в г. Оренбурге	128	185	–	–	–	–
17	Чебоксарский институт (филиал) «Московского политехнического университета», г. Чебоксары, Чувашская Республика	45	–	–	–	–	–
Итого		2328	2953	1041	–	898	918
Итого по Приволжскому федеральному округу ведут подготовку 17 университетов							
Северо-Кавказский федеральный округ							
1	Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова, Чеченская Республика	75	106	71	–	28	20
2	Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Республика Дагестан	95	66	–	–	14	32
3	Ингушский государственный университет, г. Магас, Республика Ингушетия	54	–	–	–	–	–
4	Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), г. Владикавказ, Республика Северная Осетия ³	–	–	–	–	–	–
5	Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь	161	233	–	–	55	98
6	Чеченский государственный университет им. А. А. Кадырова, г. Грозный, Чеченская Республика	3	–	–	–	–	–
Итого		388	405	71	–	97	150
Итого по Северо-Кавказскому федеральному округу ведут подготовку 6 университетов							
Итого в Российской Федерации ведут подготовку 54 университета							
Общий итог		6131	7885	1983	–	2342	2904

³ В университете в 2021 г. не производился прием и выпуск по данным специальностям, однако есть определенное число студентов, обучающихся на разных курсах, зачисленных в предыдущие годы (41 чел.).

Среди университетов, которые ведут подготовку кадров для минерально-сырьевого сектора экономики, есть разные категории вузов. Существуют сложившиеся исторически вузы горного, геологического или нефтегазового профиля, например, Санкт-Петербургский горный университет (национально-исследовательский университет, Российский университет нефти и газа имени И.М. Губкина (национально-исследовательский университет) (г. Москва), Университет науки и технологий МИСиС (г. Москва), Уральский государственный

горный университет, также федеральные университеты, такие как Северо-Восточный федеральный университет (г. Якутск), Сибирский федеральный университет (г. Красноярск), Дальневосточный федеральный университет (г. Владивосток) и т.д. В каждом федеральном округе есть университеты, в которых ведется подготовка кадров для минерально-сырьевого комплекса страны, что свидетельствует о возможности поддержки реализации проектов геологической разведки и освоения новых месторождений полезных ископаемых.



На основе данных, представленных в таблице, можно сделать следующие выводы:

- Всего в Российской Федерации подготовку специалистов для минерально-сырьевого комплекса ведут 85 университетов во всех федеральных округах.

- Подготовку специалистов для добычи, переработки твердых полезных ископаемых (Горное дело) ведут 36 университетов во всех федеральных округах.

- Подготовку специалистов для добычи, первичной переработки и транспортировки жидких и газообразных полезных ископаемых (Нефтегазовое дело) ведут 49 университетов во всех федеральных округах.

- Подготовку специалистов для обеспечения геологоразведочных работ (прикладная геология, технология геологической разведки) ведут 37 университетов во всех федеральных округах.

- Среди университетов, ведущих подготовку специалистов для минерально-сырьевого комплекса, 7 – федеральных университетов, 13 – национальных исследовательских университетов России.

- Наибольшее число университетов, ведущих подготовку кадров по направлениям подготовки и специальностям минерально-сырьевого комплекса, сосредоточено в Центральном федеральном округе – 15, что определяется концентрацией масштабных предприятий отрасли, формирующих десятки тысяч рабочих мест, в том числе для инженерного персонала (Лебединский горно-обогатительный комбинат, Стойленский горно-обогатительный комбинат, Михайловский горно-обогатительный комбинат и другие предприятия).

Среди университетов, вносящих значительный вклад в формирование количественных характеристик подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса, следует отметить следующие университеты.

Горное дело: Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева (13,7 % от общей подготовки специалистов); Уральский государственный горный университет (11,38 %); Санкт-Петербургский горный университет (9,63 %); Университет науки и технологий МИСИС (8,46 %); Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова (5,82 %); Забайкальский государственный университет (5,14 %); Иркутский национальный исследовательский технический университет (4,78 %); Сибирский государственный индустриальный университет (4,55 %); Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова (4,55 %); Сибирский федеральный университет (4,42 %); Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова (3,45 %), – обеспечивающие подготовку более чем 75 % от общего выпуска соответствующих кадров по стране.

Прикладная геология: Тюменский индустриальный университет (8,48 %); Оренбургский государственный университет (7,61 %); Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (7,53 %); Уральский государственный горный университет (7,05 %); Санкт-Петербургский горный университет (6,97 %); Южно-Российский государственный политехниче-

ский университет (НПИ) имени М.И. Платова (4,91 %); Уфимский государственный нефтяной технический университет (4,91 %); Национальный исследовательский Томский политехнический университет (4,52 %); Российский университет нефти и газа им. И.М. Губкина – Национальный исследовательский университет (4,28 %); Московский политехнический университет (3,72 %); Сибирский федеральный университет (3,49 %); Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского (3,25 %); Самарский государственный технический университет (3,17 %); Пермский национальный исследовательский политехнический университет (2,77 %); Амурский государственный университет (2,46 %); Северо-Кавказский федеральный университет (2,46 %), обеспечивающие подготовку более чем 75 % от общего выпуска соответствующих кадров по стране.

Технология геологической разведки: Уральский государственный горный университет (14,55 %); Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (12,52 %); Российский университет нефти и газа им. И.М. Губкина Национальный исследовательский университет (8,29 %); Башкирский государственный университет (8,29 %); Санкт-Петербургский горный университет (7,95 %); Тюменский индустриальный университет (5,92 %); Северо-Кавказский федеральный университет (5,92 %); Уфимский государственный нефтяной технический университет (5,75 %); Сибирский федеральный университет (5,41 %); Национальный исследовательский Томский политехнический университет (5,08 %); Грозненский государственный нефтяной технический университет имени академика М.Д. Миллионщикова (3,89 %); Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова» (3,89 %); Иркутский национальный исследовательский технический университет (3,55 %), обеспечивающие подготовку более чем 90 % от общего выпуска соответствующих кадров по стране.

Нефтегазовое дело (бакалавриат): Тюменский индустриальный университет (14,42 %); Уфимский государственный нефтяной технический университет (9,28 %); Российский государственный университет нефти и газа имени И.М. Губкина – национальный исследовательский университет (6,52 %); Самарский государственный технический университет (9,21 %); Удмуртский государственный университет (5,17 %); Югорский государственный университет (4,60 %); Иркутский национальный исследовательский технический университет (3,70 %); Ухтинский государственный технический университет (3,64 %); Кубанский государственный технологический университет (3,50 %); Пермский национальный исследовательский политехнический университет (2,97 %); Северо-Кавказский федеральный университет (2,95 %); Санкт-Петербургский горный университет (2,88 %); Томский Национальный исследовательский политехнический университет (2,60 %); Саратовский государственный технический университет имени Ю.А. Гагарина (2,54 %); Альметьевский государственный нефтяной



институт (2,23 %), обеспечивающие подготовку более чем 75 % от общего выпуска соответствующих кадров по стране.

Нефтегазовое дело (магистратура): Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень (23,04 %); Уфимский государственный нефтяной технический университет (17,05 %); Самарский государственный технический университет (13,22 %); Удмуртский государственный университет (7,23 %); Югорский государственный университет (4,72 %); Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И. М. Губкина (3,75 %); Иркутский национальный исследовательский технический университет (3,72 %); Ухтинский государственный технический университет (3,41 %); Кубанский государственный технологический университет (3,37 %); Пермский национальный исследовательский политехнический университет (2,93 %), обеспечивающие подготовку более чем 80 % от общего выпуска соответствующих кадров по стране.

Важное значение при исследовании системы подготовки горных инженеров в стране имеет региональный аналитический разрез. В Российской Федерации региональная аналитика представляется на уровне субъектов федерации. Учитывая, что в стране таких субъектов 89, приводить соответствующие результаты исследований по подготовке горных инженеров во всех этих регионах было бы громоздко. Поэтому приведем указанные данные на уровне федеральных округов. Сгруппированная информация по выпуску из университетов кадров для минерально-сырьевого комплекса в разрезе федеральных округов представлена в табл. 3.

Количественные характеристики подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса в вузах России в разрезе федеральных округов демонстрируют не только возможности университетов в регионах вести подготовку профессиональных кадров, но и их востребованность в регионах. Так, нефтегазовое направление концентрируется в крупных нефтегазовых регионах страны Уральского (20,57 %) и Приволжского (37,45 %) федеральных округов. Горное дело, соответственно, в Сибирском федеральном округе (34,38 %). Специальности, связанные с геологической разведкой полезных ископаемых, востребованы и в горных компаниях, и в нефтегазовом секторе одновременно, что отражает более равномерный характер распределения подготовки специалистов по федеральным округам.

При оценке количественных характеристик определенный интерес вызывают аналитические данные, отражающие динамику подготовки кадров по годам.

В Федеральном учебно-методическом объединении в системе высшего образования ведется статистический учет количественных характеристик выпуска горных инженеров по горным специальностям с 1992 г. [28, 30]. Обновленные данные динамики суммарного выпуска горных инженеров по годам по специальностям Горное дело и Физические процессы горного или нефтегазового производства представлены на рис. 2.

Аналогичные данные для выпуска специалистов по другим направлениям подготовки и специальностям кадрового обеспечения минерально-сырьевого комплекса представлены на рис. 3, 4.

Анализ представленных данных позволяет сделать следующие выводы:

Таблица 3

Данные по выпуску горных инженеров по главным специальностям и направлениям подготовки минерально-сырьевого комплекса по федеральным округам России

Федеральный округ	Нефтегазовое дело, бакалавриат	Нефтегазовое дело, магистратура	Прикладная геология, специалитет	Технология геологической разведки, специалитет	Горное дело, специалитет	Физические процессы горного или нефтегазового производства, специалитет
Центральный федеральный округ	641 (8,13 %)	524 (18,04 %)	225 (17,83 %)	157 (26,57 %)	540 (17,56 %)	52 (50,49 %)
Южный федеральный округ	591 (7,50 %)	245 (8,44 %)	93 (7,37 %)	–	106 (3,45 %)	–
Северо-Западный федеральный округ	600 (7,61 %)	175 (6,03 %)	118 (9,35 %)	58 (9,81 %)	396 (12,88 %)	3 (2,91 %)
Дальневосточный федеральный округ	301 (3,82 %)	35 (1,21 %)	62 (4,91 %)	23 (3,89 %)	311 (10,12 %)	–
Сибирский федеральный округ	772 (9,79 %)	188 (6,47 %)	183 (14,50 %)	91 (15,40 %)	1057 (34,37 %)	17 (16,50 %)
Уральский федеральный округ	1622 (20,57 %)	669 (23,04 %)	218 (17,27 %)	121 (20,47 %)	510 (16,59 %)	–
Приволжский федеральный округ	2953 (37,45 %)	918 (31,61 %)	289 (22,90 %)	83 (14,04 %)	86 (2,80 %)	31 (30,10 %)
Северо-Кавказский федеральный округ	405 (5,14 %)	150 (5,17 %)	74 (5,86 %)	58 (9,81 %)	69 (2,24 %)	–
Итого	7885 (100 %)	2904 (100 %)	1262 (100 %)	591 (100 %)	3075 (100 %)	103 (100 %)



1. Наблюдается тенденция к снижению выпуска горных инженеров в университетах России по специальностям Горное дело, Прикладная геология, Технология геологической разведки. Причиной этого являются несколько факторов, среди которых следует отметить:

- ухудшение имиджа профессии горняка и геолога, что сказывается на привлекательности указанных специальностей в университетах;
- относительно невысокие показатели качества студентов, поступивших на первый курс горных и геологических специальностей, что определяется усред-

ненными показателями Единого государственного экзамена. Значение этого показателя в наибольшей степени определяет способность студента успешно осваивать образовательную программу высшего образования – его «академическая выживаемость».

2. Наблюдаются достаточно стабильные показатели выпуска специалистов для нефтегазовой отрасли практически всех уровней высшего образования (бакалавриат и магистратура).

3. Очевидно, что показатели подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса в Дальнево-

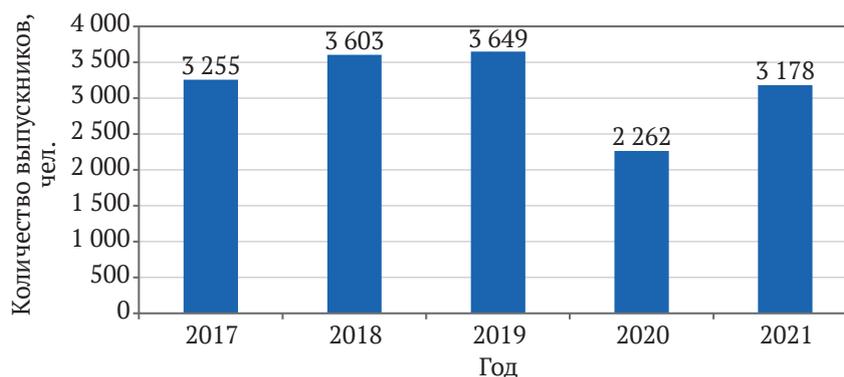


Рис. 2. Выпуск горных инженеров в России по специальностям “Горное дело” и “Физические процессы горного или нефтегазового производства” с 2017 по 2021 г.

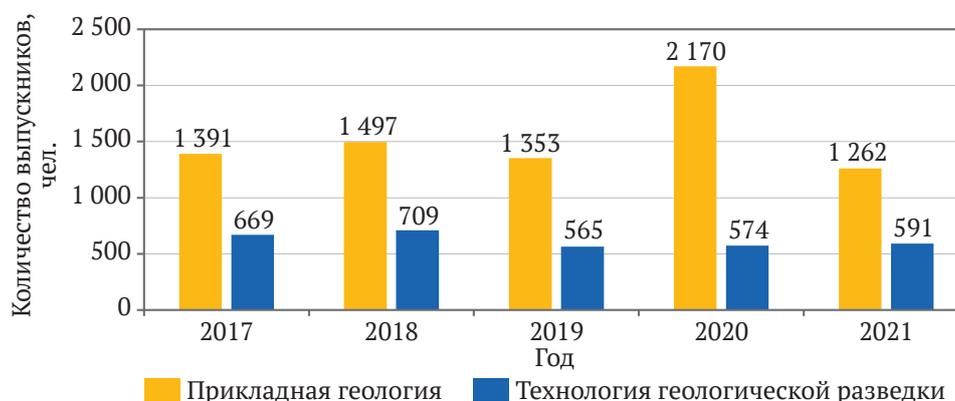


Рис. 3. Выпуск горных инженеров в России по специальностям “Прикладная геология” и “Технология геологической разведки” с 2017 по 2021 г.

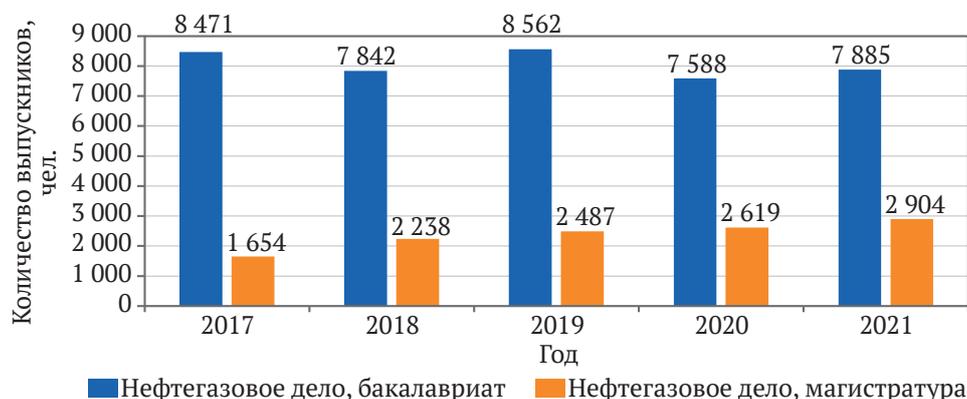


Рис. 4. Выпуск бакалавров и магистров в России по направлению подготовки “Нефтегазовое дело” с 2017 по 2021 г.



сточном федеральном округе (ДФФО) (см. табл. 3) не соответствуют потребностям, необходимым для решения тех задач, которые сейчас формализуются на уровне государственного вектора развития экономики страны. ДВФО занимает доминирующую позицию по запасам и добыче основных видов полезных ископаемых среди других регионов РФ. В регионе сосредоточены крупные запасы углеводородного сырья, 49,1 % запасов угля, 73,85 % запасов урана, практически все запасы олова (100 % от добычи РФ), 65,8 % запасов вольфрама (100 % от добычи РФ), 34,6 % запасов меди, 54,3 % запасов свинца, 57,4 % запасов цинка, 61,06 % запасов молибдена, 64,8 % запасов ртути, 97 % запасов мышьяка (100 % добычи в РФ), 87 % запасов сурьмы, 62,7 % запасов висмута, 59,8 % запасов германия, 76,45 % запасов алмазов, 73,2 % запасов железа, 99,68 % запасов бора, 91,5 % запасов нефрита, 97 % запасов перлита, что формирует значительный промышленный и экспортный потенциал территории [31]. Существенный рост количества горных предприятий ожидается в сегменте общераспространенных полезных ископаемых, что связано с развитием региональной строительной индустрии и производством местных стройматериалов [31]. По официальным данным, представленным в аналитической записке Минвостокразвития России «Расчет кадровой потребности ключевых отраслей экономики Дальневосточного федерального округа с распределением по регионам с учетом требований к уровню образования на 2020–2025 годы и предложения по объему и структуре подготовки кадров с высшим образованием и средним профессиональным образованием на 2020–2025 гг.», потребность в специалистах с высшим образованием и опытом работы для сферы добычи угля, металлических руд и алмазов на 2020–2025 гг. составила 1876 чел. В Аналитической записке Корпорации развития Дальнего Востока и Арктики (КРДВ) о кадровой потребности в ключевых отраслях экономики Дальнего Востока указывается, что на 01.01.2021 в отрасли добычи угля, металлических руд и алмазов среднесписочная численность персонала составила 114 112 чел. Прирост занятости в отрасли ожидается самым большим и составит 20–25 % к 2027 г. При этом дополнительная потребность составит от 30 000 сотрудников [31].

Примечательно, что увеличение востребованности в специалистах на Дальнем Востоке России прогнозировалось еще 2005 г. [30]. Обоснование прогноза было проведено в Московском государственном горном университете (ныне Университет науки и технологий МИСИС) и представлено в ряде публикаций. К сожалению, за прошедшее время ситуация только усугубилась, сформированные федеральные университеты в г. Якутске и г. Владивостоке не смогли нарастить выпуск горных инженеров, а целевая подготовка для нужд Дальнего Востока в других регионах фактически не работает. Сказывается разрозненность регионов страны, отток населения в другие регионы, слабая привлекательность рабочих мест на Дальнем Востоке для молодого поколения. Остается надеяться, что ситуация изменится.

Все эти факты свидетельствуют о необходимости дополнительных государственных мер, связанных с планированием развития этого сегмента высшего образования на Дальнем Востоке России [30].

Анализ приема в университеты на направления подготовки и специальности минерально-сырьевого комплекса

Характеристики выпуска и приема в вузы могут в значительной степени отличаться. Это связано не только с наличием запаздывания, определяемого временем самого процесса обучения (4–6 лет), но и изменениями в управленческих решениях на федеральном и вузовском уровнях. Анализ количественных характеристик приема дает возможность спрогнозировать предстоящий выпуск с учетом вероятного «отсева» студентов в процессе обучения.

В табл. 4 отражены данные по приему в вузы по направлениям подготовки и специальностям минерально-сырьевого комплекса в 2021 г.

Данные, приведенные в табл. 4, отражают более высокий уровень внебюджетного обучения на направлениях подготовки, относящихся к нефтегазовому делу, что опять же свидетельствует о их более высокой привлекательности. Открытие специальности Нефтегазовая техника и технологии для подготовки кадров в нефтегазовой отрасли было оправданным, что подтверждает ее популярность у абитуриентов. Большая часть поступивших на первый курс этой специально-

Таблица 4

Прием в вузы по направлениям подготовки и специальностям минерально-сырьевого комплекса

Наименование НПС	Прием в 2021/22 учебном году		
	Всего	Бюджет	Доля принятых студентов на первый курс для обучения за счет средств государственного бюджета России, %
Нефтегазовое дело (бакалавриат)	6 131	3 138	51
Нефтегазовое дело (магистратура)	2 342	1 247	53
Прикладная геология (специалитет)	1 639	1 252	76
Технология геологической разведки (специалитет)	697	603	87
Горное дело (специалитет)	4 549	2 781	61
Физические процессы горного или нефтегазового производства (специалитет)	181	160	88
Нефтегазовые техника и технологии (специалитет)	1 983	444	22



Таблица 5

Средний предметный балл ЕГЭ зачисленного на первый курс горно-геологических специальностей студента

Форма обучения	Максимальное значение среднего предметного балла ЕГЭ в университетах России при приеме на горно-геологические специальности	Минимальное значение среднего предметного балла ЕГЭ в университетах России при приеме на горно-геологические специальности
Обучение за счет средств Российской Федерации (государственный грант)	84,7 из 100 возможных	47,4 из 100 возможных
Обучение за счет средств частных и юридических лиц	72,9 из 100 возможных	48,2 из 100 возможных

сти студентов учится за счет физических и юридических лиц (фактически около 80 %). Это не говорит о том, что программы бакалавриата в этой области не востребованы. Скорее всего, профильные университеты и компании определились с функционалом и зонами ответственности выпускников бакалавриата и специалитета при трудоустройстве, и эффективно используют оба уровня высшего образования для формирования кадрового инженерного потенциала отрасли.

Анализ данных, представленных в табл. 2 и 4, свидетельствует о том, что объемы выпуска бакалавров по направлению Нефтегазовое дело намного превышают значение приема в этом году. Это явление в значительной степени объясняется тем, что на федеральном уровне в рамках всех направлений подготовки и специальностей в области нефтегазового дела принято решение о прекращении обучения в заочной форме. Эксперты обратили внимание, что подготовка кадров по этим направлениям подготовки и специальностям с использованием заочных программ приняла гипертрофированные формы. Этот контингент студентов стал доминировать, что стало сказываться в целом на качестве отраслевой подготовки кадров. На уровне Федерального учебно-методического объединения было принято решение исключить возможность подготовки по заочной форме обучения по всем направлениям подготовки и специальностям в области нефтегазового дела. Решение было принято коллегиально и было отражено в требованиях федеральных государственных образовательных стандартов.

Экспресс-анализ качества приема на программы высшего образования горно-геологического профиля

При описании некоторых особенностей поступления в вуз России автор указывал на необходимость наличия результатов Единого государственного экзамена (ЕГЭ) у абитуриента при поступлении в университет. Университеты конкурируют друг с другом за привлечение абитуриентов с высокими баллами ЕГЭ или победителей олимпиад. Индикаторы, определяющие средний балл ЕГЭ зачисленного в университет студента, включены в показатели качества приема в федеральные системы мониторинга и национальные системы рейтингов университетов.

Многие процессы и процедуры при приеме в университет реализуются на базе информационных платформ, что позволяет вести системный сбор объемной

информации и проводить ее анализ. Информация, отражающая средний балл ЕГЭ по дисциплинам зачисленного абитуриента, также аккумулируется в информационных системах, группируется и представляется публично (<https://ege.hse.ru/rating>).

Приведем некоторые данные, которые позволят провести экспресс-оценку качества приема на горно-геологические специальности в России.

В табл. 5 представлены данные среднего предметного балла ЕГЭ зачисленного на первый курс горно-геологических специальностей студента в 2021 г.

Данные табл. 5 свидетельствуют о том, что профильные университеты достигают разных результатов в качественных характеристиках набора студентов на первый курс горно-геологических специальностей. Очевидно, что в этой конкурентной борьбе выигрывают университеты Москвы и Санкт-Петербурга. Столичные университеты всегда притягивали одаренную молодежь из регионов, да и профильная подготовка в средних общеобразовательных школах в данных регионах в целом выше.

В то же время статус университетов не всегда позволяет гарантированно выигрывать в конкурентной борьбе. Порой и федеральные, и национальные исследовательские университеты сталкиваются со значительными сложностями при привлечении хорошо подготовленных абитуриентов.

Особо сложная ситуация в этом плане складывается в отдаленных горнопромышленных регионах и моногородах – городах, в экономике которых доминирует горнопромышленный сектор. Примером таких регионов являются Магадан, Мурманская область, Республика Коми, Красноярский край (Норильск) и др. Университетам и их филиалам приходится проводить большую работу по привлечению абитуриентов с высокими показателями ЕГЭ. Нужно иметь в виду, что эта проблема имеет и социальный оттенок.

Выводы

1. Система формирования кадрового потенциала минерально-сырьевого комплекса России опирается на национальную сеть университетов, представленных фактически во всех регионах с развитым горнопромышленным комплексом.

2. По специальностям «Прикладная геология», «Технология геологической разведки», «Горное дело», «Физические процессы горного или нефтегазового производства» в 2021 г. в России был под-



готовлен 5031 горный инженер; по специальностям нефтегазового профиля – 10 789 бакалавров и магистров.

3. Количественные параметры подготовки кадров для минерально-сырьевого комплекса в университетах России свидетельствуют о возможности формирования кадрового потенциала отрасли только за счет собственных научно-педагогических школ в системе высшего образования.

4. Система подготовки горных инженеров в России развивается в условиях острой конкуренции с другими направлениями подготовки высшего образования в части привлечения на горно-геологические специальности наиболее подготовленной и талантливой молодежи, способной

эффективно осваивать образовательные программы и занимать рабочие места в отрасли после окончания вуза.

5. Университеты и горнопромышленный бизнес должны предпринять значительные усилия для повышения имиджа профессии горного инженера в обществе, включая аспекты оплаты его труда и социального позиционирования в обществе.

6. Особое внимание необходимо уделить развитию системы формирования кадрового потенциала минерально-сырьевого комплекса Дальнего Востока России, где предстоит реализовать масштабные проекты по добыче и переработке минерального сырья, требующие новых кадров, подготовленных в региональных университетах.

Список литературы

1. Казанин О.И., Дребенштедт К. Горное образование в XXI веке: глобальные вызовы и перспективы. *Записки Горного института*. 2017;225:369–375. <https://doi.org/10.18454/pmi.2017.3.369>
2. Твердов А.А., Иванов И.А. Проблемы, задачи и перспективы развития горного образования в России. *Горный журнал*. 2015;(12):80–83. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.12.18>
3. Puchkov L.A., Petrov V.L. The system of higher mining education in Russia. *Eurasian Mining*. 2017;(2):57–60. <https://doi.org/10.17580/em.2017.02.14>
4. Kizil M.S. New developments in the Australian mining education. *Madencilik*. 2017;56(1):33–40.
5. Spearing S., Hall S. Future mining issues and mining education. *AusIMM Bulletin*. 2016;(4).
6. Saydam S., Mitra R., Daly C., Hagan P.A. Collaborative approach to mining education in Australia. *International Journal of Learning*. 2009;16(3):13–30. <https://doi.org/10.18848/1447-9494/cgp/v16i03/46181>
7. Pivnyak G.G. High mining education in Ukraine. *Ugol'*. 2003;(4):60–63.
8. Phillips H.R. Mining education in South Africa – past, present and future. *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 1998;46(11):412–418.
9. Bud I., Duma S., Pasca I., Gusat D. Arguments for the need of mining education continuity and development in Romania. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;294(1):012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/294/1/012061>
10. Deniz V. Problems of Mining Education at Turkish Universities: Past, Present and Future. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015;174:441–447. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.687>
11. Ilkovičová L., Ilkovič J. Mining Educational Trail in Slovakia. *Land*. 2022;11:936. <https://doi.org/10.3390/land11060936>
12. Janiszewski M., Uotinen L., Merkel J. et al. Virtual reality learning environments for rock engineering, geology and mining education. In: *54th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. June 28, 2020. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/ARMA-2020-1101>
13. Onsel I.E., Donati D., Stead D., Chang O. Applications of virtual and mixed reality in rock engineering. In: *52nd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. June 17, 2018. URL: <https://onepetro.org/ARMAUSRMS/proceedings-abstract/ARMA18/All-ARMA18/ARMA-2018-798/122603>
14. Chirgwin P. Skills development and training of future workers in mining automation control rooms. *Computers in Human Behavior Reports*. 2021;4:100115. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100115>
15. Kerridge A., Kizil M., Howarth D. Use of virtual reality in mining education. In: *The AusIMM Young Leaders Conference*. 30 April – 2 May 2003. Vol. 2. 15 p.
16. Vavenkov M.V. VR/AR technologies and staff training for mining industry. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):180–187. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-180-187>
17. Kazanin O.I., Korshunov G.I., Rudakov M.L. The implementation of modern occupational safety and health system as an element of sustainable development of coal mining enterprises. In: *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11th conference of the Russian-German Raw Materials*. Potsdam, 07–08 November 2018. Pp. 571–577.
18. Zujovic L., Kecojevic V., Bogunovic D. Interactive mobile equipment safety task-training in surface mining. In: *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021;31(4):743–751. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.05.011>
19. Zujovic L., Kecojevic V., Bogunovic D. Application of a content management system for developing equipment safety training courses in surface mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2020;120(8):467–474. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1233/2020>



20. Vercheba A.A. Personnel training for the mining and geological sector of Russia. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(2):144–153. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-144-153>
21. Lugoma F.M. On-campus mine surveying practicals: Their contribution in training mining engineering students in an open distance learning context. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017;117(3):207–214. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2017/v117n3a1>
22. Golosinski T.S. Online mining education: a reality. *Mineral Resources Engineering*. 2002;11(1):137–146. <https://doi.org/10.1142/S0950609802000847>
23. Мартынов В.Г., Кошелев В.Н., Майер В.В., Туманов А.А. Нефтегазовое образование в России: вчера, сегодня, завтра. *Высшее образование в России*. 2021;30(8–9):144–157. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2021-30-8-9-144-157>
24. Мартынов В.Г., Кошелев В.Н., Душин А.В. Современный вызов для нефтегазового образования. *Высшее образование в России*. 2021;29(12):9–20. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-12-9-20>
25. Andrews A., Playfoot J. *Education and training for the oil and gas industry: Building a technically competent workforce*. Elsevier Inc.; 2014. 148 p.
26. Казанин О.И., Сергеев И.Б. Подготовка современного горного инженера: задачи университетов и профессиональных сообществ. *Горный журнал*. 2017;(10):75–80. <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.10.16>
27. Hitch M. Mining education – curricular learning communities. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2011;25(2):103–105. <https://doi.org/10.1080/17480930.2011.581795>
28. Черникова А.А., Петров В.Л. Подготовка горных инженеров в российских университетах исследовательского типа. *Горный журнал*. 2015;(8):103–106. <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.08.22>
29. Knights P.F. Short-term supply and demand of graduate mining engineers in Australia. *Mineral Economics*. 2020;33(1–2):245–251. <https://doi.org/10.1007/s13563-019-00208-0>
30. Пучков Л.А., Петров В.Л. Развитие горного дела и высшего горного образования на Урале, в Сибири и на Дальнем Востоке России. *Известия высших учебных заведений. Горный журнал*. 2005;(4):125–148.
31. Белов А.В., Фаткулин А.А., Петров В.Л. и др. Состояние и перспективы развития кадрового потенциала минерально-сырьевой отрасли Дальневосточного федерального округа. В: *Материалы международной конференции «Современные проблемы комплексной и глубокой переработки минерального сырья природного и техногенного происхождения (Плаксинские чтения – 2022)»*. Владивосток, 04–07 октября 2022 г. С. 34–44. URL: <http://plaksin.ipkonran.ru/download/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%87%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-2022.pdf>

References

1. Kazanin O.I., Drebenstedt C. Mining education in the 21st century: Global challenges and prospects. *Journal of Mining Institute*. 2017;225:369–375. <https://doi.org/10.18454/pmi.2017.3.369>
2. Tverdov A.A., Ivanov I.A. Problems, goals and prospect of mining education development in Russia Information about authors. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(12):80–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.12.18>
3. Puchkov L.A., Petrov V.L. The system of higher mining education in Russia. *Eurasian Mining*. 2017;(2):57–60. <https://doi.org/10.17580/em.2017.02.14>
4. Kizil M.S. New developments in the Australian mining education. *Madencilik*. 2017;56(1):33–40.
5. Spearing S., Hall S. Future mining issues and mining education. *AusIMM Bulletin*. 2016;(4).
6. Saydam S., Mitra R., Daly C., Hagan P.A. Collaborative approach to mining education in Australia. *International Journal of Learning*. 2009;16(3):13–30. <https://doi.org/10.18848/1447-9494/cgp/v16i03/46181>
7. Pivnyak G.G. High mining education in Ukraine. *Ugol'*. 2003;(4):60–63.
8. Phillips H.R. Mining education in South Africa – past, present and future. *Journal of Mines, Metals and Fuels*. 1998;46(11):412–418.
9. Bud I., Duma S., Pasca I., Gusat D. Arguments for the need of mining education continuity and development in Romania. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018;294(1):012061. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/294/1/012061>
10. Deniz V. Problems of Mining Education at Turkish Universities: Past, Present and Future. *Procedia – Social and Behavioral Sciences*. 2015;174:441–447. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.01.687>
11. Ilkovičová L., Ilkovič J. Mining Educational Trail in Slovakia. *Land*. 2022;11:936. <https://doi.org/10.3390/land11060936>
12. Janiszewski M., Uotinen L., Merkel J. et al. Virtual reality learning environments for rock engineering, geology and mining education. In: *54th U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. June 28, 2020. URL: <https://www.onepetro.org/conference-paper/ARMA-2020-1101>
13. Onsel I.E., Donati D., Stead D., Chang O. Applications of virtual and mixed reality in rock engineering. In: *52nd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium*. June 17, 2018. <https://onepetro.org/ARMAUSRMS/proceedings-abstract/ARMA18/All-ARMA18/ARMA-2018-798/122603>
14. Chirgwin P. Skills development and training of future workers in mining automation control rooms. *Computers in Human Behavior Reports*. 2021;4:100115. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2021.100115>



15. Kerridge A., Kizil M., Howarth D. Use of virtual reality in mining education. In: *The AusIMM Young Leaders Conference*. 30 April – 2 May 2003. Vol. 2. 15 p.
16. Vavenkov M.V. VR/AR technologies and staff training for mining industry. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2022;7(2):180–187. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2022-2-180-187>
17. Kazanin O.I., Korshunov G.I., Rudakov M.L. The implementation of modern occupational safety and health system as an element of sustainable development of coal mining enterprises. In: *Innovation-Based Development of the Mineral Resources Sector: Challenges and Prospects – 11th conference of the Russian-German Raw Materials*. Potsdam, 07–08 November 2018. Pp. 571–577.
18. Zujovic L., Kecojec V., Bogunovic D. Interactive mobile equipment safety task-training in surface mining. In: *International Journal of Mining Science and Technology*. 2021;31(4):743–751 <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2021.05.011>
19. Zujovic L., Kecojec V., Bogunovic D. Application of a content management system for developing equipment safety training courses in surface mining. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2020;120(8):467–474. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/1233/2020>
20. Vercheba A.A. Personnel training for the mining and geological sector of Russia. *Mining Science and Technology (Russia)*. 2021;6(2):144–153. <https://doi.org/10.17073/2500-0632-2021-2-144-153>
21. Lugoma F.M. On-campus mine surveying practicals: Their contribution in training mining engineering students in an open distance learning context. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 2017;117(3):207–214. <https://doi.org/10.17159/2411-9717/2017/v117n3a1>
22. Golosinski T.S. Online mining education: a reality. *Mineral Resources Engineering*. 2002;11(1):137–146. <https://doi.org/10.1142/S0950609802000847>
23. Martynov V.G., Koshelev V.N., Mayer V.V., Tumanov A.A. Oil and gas education in Russia: Yesterday, today, tomorrow. *Vysshee Obrazovanie v Rossii*. 2021;30(8–9):144–157. (In Russ.) <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2021-30-8-9-144-157>
24. Martynov V.G., Koshelev V.N., Dushin A.V. Modern challenges for oil and gas education. *Vysshee Obrazovanie v Rossii*. 2021;29(12):9–20. (In Russ.) <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-12-9-20>
25. Andrews A., Playfoot J. *Education and training for the oil and gas industry: Building a technically competent workforce*. Elsevier Inc.; 2014. 148 p.
26. Kazanin O.I., Sergeev I.B. Training a modern mining engineer: Objectives of universities and professional communities. *Gornyi Zhurnal*. 2017;(10):75–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2017.10.16>
27. Hitch M. Mining education – curricular learning communities. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*. 2011;25(2):103–105. <https://doi.org/10.1080/17480930.2011.581795>
28. Chernikova A.A., Petrov V.L. Training of mining engineers at the Russian research universities. *Gornyi Zhurnal*. 2015;(8):103–106. (In Russ.) <https://doi.org/10.17580/gzh.2015.08.22>
29. Knights P.F. Short-term supply and demand of graduate mining engineers in Australia. *Mineral Economics*. 2020;33(1–2):245–251. <https://doi.org/10.1007/s13563-019-00208-0>
30. Puchkov L.A., Petrov V.L. Development of the mining art and higher mining education in Ural, Siberian, and Far Eastern regions. *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Gornyi Zhurnal*. (In Russ.) 2005;(4):125–148.
31. Belov A.V., Fatkulin A.A., Petrov V.L. et al. The state and prospects of human resources development in mining industry in Far Eastern Federal District of Russia. In: *Modern Problems of Integrated and Deep Processing of Natural and Technogenic Mineral Raw Materials (Plaksinsky readings – 2022). Proceedings of International Conference*. Vladivostok, 4–7 October, 2022. Pp. 34–44. URL: <http://plaksin.ipkonran.ru/download/%D0%A1%D0%B1%D0%BE%D1%80%D0%BD%D0%B8%D0%BA%20%D0%9F%D0%BB%D0%B0%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%BD%D1%81%D0%BA%D0%B8%D0%B5%20%D1%87%D1%82%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D1%8F-2022.pdf>

Информация об авторе

Вадим Леонидович Петров – доктор технических наук, профессор, проректор, Университет науки и технологий МИСИ, г. Москва, Российская Федерация; ORCID [0000-0002-6474-5349](https://orcid.org/0000-0002-6474-5349), Scopus ID [8919065900](https://scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8919065900), ResearcherID [P-9984-2015](https://orcid.org/P-9984-2015); e-mail petrovv@misis.ru

Information about the author

Vadim L. Petrov – Dr. Sci. (Eng.), Professor, Vice Rector, National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russian Federation; ORCID [0000-0002-6474-5349](https://orcid.org/0000-0002-6474-5349), Scopus ID [8919065900](https://scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8919065900), ResearcherID [P-9984-2015](https://orcid.org/P-9984-2015); e-mail petrovv@misis.ru

Поступила в редакцию	08.05.2022	Received	08.05.2022
Поступила после рецензирования	09.07.2022	Revised	09.07.2022
Принята к публикации	25.08.2022	Accepted	25.08.2022