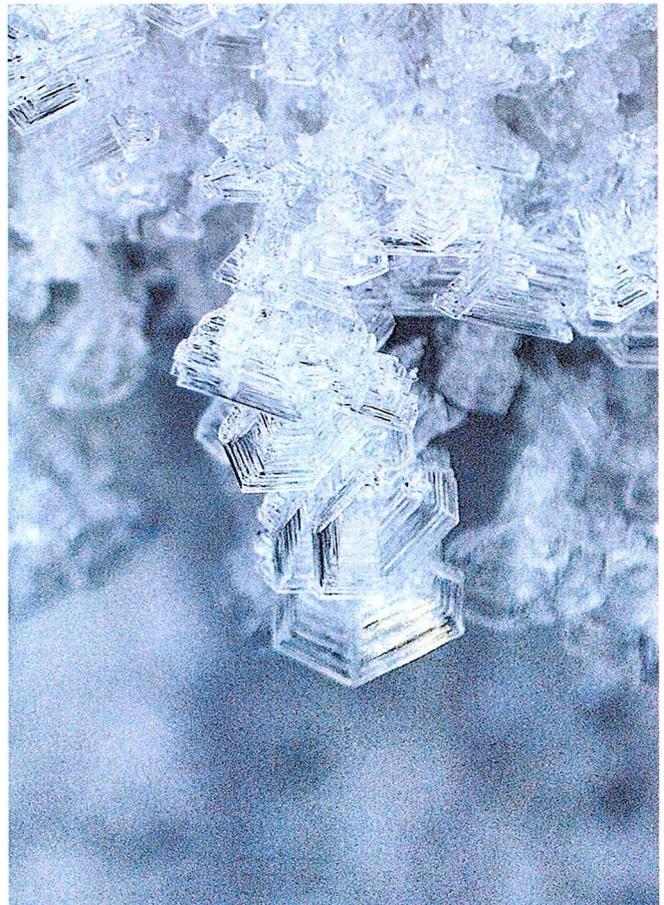
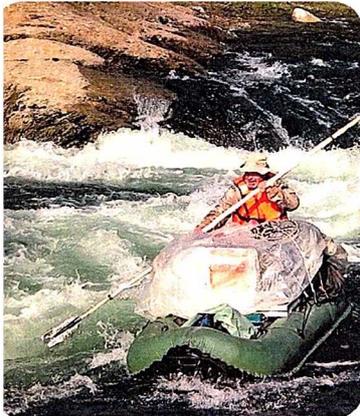
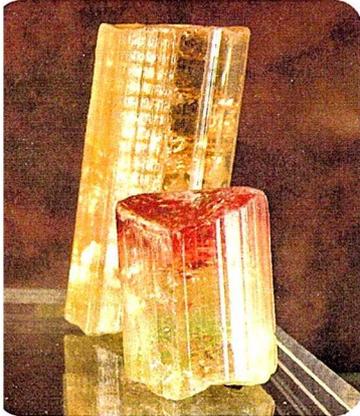
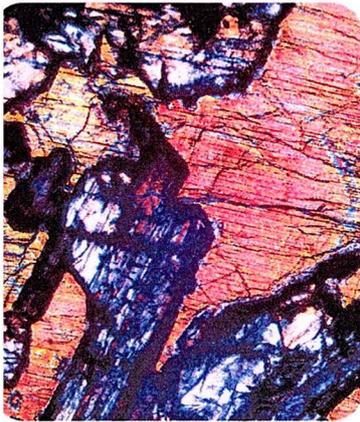
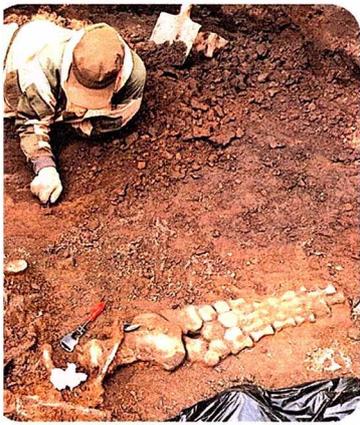


ISSN 2712-7761

№ 1 (349), январь 2024



Вестник геонаук



Геориты



Главный редактор *А. М. Асхабов*

Зам. главного редактора *И. Н. Бурцев*

Зам. главного редактора *О. Б. Котова*

Ответственный секретарь *И. В. Козырева*

Chief Editor *A. M. Askhabov*

Deputy Chief Editor *I. N. Burtsev*

Deputy Chief Editor *O. B. Kotova*

Executive Secretary *I. V. Kozyreva*

Редакционный совет

Л. Н. Андричева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
В. А. Жемчугова, Москва, Россия
А. В. Журавлев, Сыктывкар, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Оуро-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. И. Николаев, Апатиты, Россия
Б. М. Осовецкий, Пермь, Россия
Ю. Ф. Патраков, Кемерово, Россия
И. В. Пеков, Москва, Россия
Д. В. Пономарев, Сыктывкар, Россия
В. Н. Пучков, Екатеринбург, Россия
Д. Ю. Пуцаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сан, Мянъян, Китай
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Екатеринбург, Россия

Технический редактор *Г. Н. Каблис*

Заведующий редакцией *Т. А. Некучаева*

Editorial Board

L. N. Andreicheva, Syktyvkar, Russia
A. I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
T. M. Beznosova, Syktyvkar, Russia
M. A. Bogdasarov, Brest, Belarus
M. A. T. M. Broeckmans, Trondheim, Norway
D. A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yu. L. Voytekhovsky, Apatity, Russia
A. D. Gvishiani, Moscow, Russia
V. A. Zhemchugova, Moscow, Russia
A. V. Zhuravlev, Syktyvkar, Russia
V. A. Kashirtcev, Novosibirsk, Russia
M. Komac, Ljubljana, Slovenia
S. V. Krivovichev, St. Petersburg, Russia
S. K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
M. Martins, Ouro Preto, Brazil
T. P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
P. Männik, Tallinn, Estonia
A. I. Nikolaev, Apatity, Russia
B. V. Osovetsky, Perm, Russia
Yu. F. Patrakov, Kemerovo, Russia
I. V. Pekov, Moscow, Russia
D. V. Ponomarev, Syktyvkar, Russia
V. N. Puchkov, Yekaterinburg, Russia
D. Yu. Pushcharovsky, Moscow, Russia
A. M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Sh. Sun, Mianyang, China
C. M. Soja, Hamilton, NY, USA
O. V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
A. G. Shelomentsev, Ekaterinburg, Russia

Technical Editor *G. N. Kablis*

Managing Editor *T. A. Nekuchaeva*

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Выходит ежемесячно. Основан в 1995 году
академиком Н. П. Юшкиным.

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2022) – 0.385



SCIENTIFIC JOURNAL

Monthly issued. Founded in 1995
by Academician N. P. Yushkin.

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI
impact factor (2022) – 0.385

Содержание

Content

Вступая в 2024 год: в ожидании российского списка
рейтингов научных журналов
А. М. Асхабов.....3

Heading into 2024: waiting for the Russian list
of scientific journal ratings
A. M. Askhabov.....3

Научные статьи

Scientific articles

Стадийность формирования кварц-альбит-алланит-
фукситовых прожилков на Au-Pd-месторождении
Чудное (Приполярный Урал)
С. А. Онищенко, Н. В. Сокерина,
С. К. Кузнецов, С. И. Исаенко, Е. М. Тропников4

Stages of formation of quartz-albite-allanite-
fuchsite veins at the Chudnoe Au-Pd deposit
(Subpolar Urals)
S. A. Onishchenko, N. V. Sokerina,
S. K. Kuznetsov, S. I. Isaenko, E. M. Tropnikov4

Геологическое строение четвертичных отложений
в долине нижней Печоры
Л. Н. Андричева..... 16

Geological structure of Quaternary sediments
in the lower Pechora river valley
L. N. Andreicheva..... 16

Подземные воды среднеюрских отложений южных
районов Республики Коми
Ю. А. Кокшарова, О. Е. Амосова..... 24

Groundwater of Middle Jurassic deposits
of the southern regions of the Komi Republic
Yu. A. Koksharova, O. Ye. Amosova..... 24

Сейсмические события в Воркутском
углепромышленном районе в 2023 году
Н. Н. Носкова, Ф. Г. Верхоланцев,
В. Э. Асминг, Н. В. Ваганова, И. В. Попов 34

Seismic events in the Vorkuta coal
industrial district in 2023
N. N. Noskova, F. G. Verkholtantsev,
V. E. Asming, N. V. Vaganova, I. V. Popov 34

Из опыта преподавания.
XIII. Имя кристаллического полиэдра.
К 130-летию со дня рождения А. Ф. Лосева
и 100-летию «Философии имени»
Ю. Л. Войтеховский..... 43

From teaching experience.
XIII. Name of crystal polyhedron. On the occasion
of the 130th anniversary of A. F. Losev's birth
and the 100th anniversary of the «Philosophy of the Name»
Yu. L. Voytekhovsky..... 43

Хроника, события, факты. История науки

Chronicle, events, facts. History of Science

XVI Российский семинар
«Технологическая минералогия: комплексная оценка
нетрадиционных видов минерального сырья
и их рациональное использование»50

The 16th Russian Seminar
«Technological mineralogy: comprehensive assessment
of non-traditional types of mineral raw materials
and their rational use»..... 50

У истоков современной тектонической науки
(90 лет со дня рождения
Николая Иосифовича Тимонина)51

At the origins of modern tectonic science
(90 years since the birth
of Nikolay Iosifovich Timonin) 59

План научных мероприятий в ИГ ФИЦ
Коми НЦ УрО РАН на 2024 год52

Scientific events at IG FRC
Komi SC UB RAS in 2024.....52

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Вступая в 2024 год: в ожидании российского списка рейтингов научных журналов

Дорогие друзья!

Прошёл очередной год, от которого мы многого ждали. Было ясно, что страна и вместе с ней российская академическая наука вступает в новый этап своего развития. От 2023 года мы ожидали перемен к лучшему, в том числе и в такой важной составляющей науки, как издание научных журналов, причём не только центральных академических, но и тех, которые издаются в регионах.

К сожалению, существенных положительных изменений в этом важном для науки деле не произошло. Не удалось решить обсуждавшийся вопрос об издательстве «Наука», не возвращены в лоно академии переводные российские академические журналы, хотя уже всем очевидно, что рассчитывать в этом вопросе на иностранных издателей чревато. Есть признаки того, что ситуация скоро изменится.

Что касается нашего *Вестника геонаук*, то вопрос, который очень долго нас волновал, — вхождение его в базы WoS и Scopus — перестал быть актуальным, по крайней мере на ближайшие годы. В связи с этим весьма актуален вопрос о создании собственной, российской системы оценки научных журналов. Наша задача — достойно войти не только в RSCI, но и в новые, формирующиеся сейчас списки рейтингов российских журналов.

Подводя итоги 2023 года и вступая в 2024 год, мы хотим смело заявить, что наш журнал в целом закрепился на достигнутых рубежах, а кое в чём он продвинулся дальше. «Вестник» узнаваем, его популярность растёт. Мы продолжаем думать о том, как повысить рейтинг журнала, его импакт-фактор, цитируемость. В конечном счёте мы хотим превратить *Вестник геонаук* в одно из лучших изданий геологического профиля, издаваемых в российских регионах. Наша задача — соответствовать запросам времени, совершенствовать нашу работу. Будем бороться за высокий уровень и качество публикуемых в журнале материалов.

С наступившим 2024 годом, с юбилейным годом РАН! Всем новых открытий!

Ждём хороших статей в наш журнал!

*Главный редактор академик РАН
А. М. Асхабов*

Heading into 2024: waiting for the Russian list of scientific journal ratings

Dear friends!

Another year passed, from which we expected a lot. It was clear that the country and, together with it, the Russian academic science entered a new stage of development. We expected changes for the better in 2023, including in such an important component of science as the publication of scientific journals, not only central academic, but also regional ones.

Unfortunately, there was no significant positive changes in this important respect for the science. It was not possible to resolve the discussed issue of the Nauka Publishing house; translated Russian academic journals were not returned to the Academy, although it was already obvious to everyone that reliance on foreign publishers made for misery. There are signs that the situation will soon change.

As for our *Vestnik of Geosciences*, the problem that worried us for a very long time, — entry into the WoS and Scopus databases — is not topical any more, at least for the coming years. Hence the creation of our Russian journal ranking system is essential. Certain steps are being taken in this direction. Our task is to deservedly enter not only the RSCI, but also new, currently forming, Russian journal ratings.

Summing up the results of 2023 and heading into 2024, we want to declare that our journal consolidated on the achieved milestones, and in some areas moved further. *Vestnik* is recognizable and with growing popularity.

We continue to think about how to increase the journal rating, impact factor, and citations. Ultimately, we want to turn *Vestnik of Geosciences* into one of the best geological publications in the Russian regions. Our task is to meet the demands of the time and improve our work. We will fight for the high level and quality of materials published in the journal.

Happy 2024, happy Anniversary of the RAS! New discoveries to everyone!

We are waiting for good articles in our journal!

*Editor-in-Chief, Academician of RAS
A. M. Askhabov*



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.4+553.2(234.851)

DOI:10.19110/geov.2024.1.1

Стадийность формирования кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилков на Au-Pd-месторождении Чудное (Приполярный Урал)

С. А. Онищенко, Н. В. Сокерина, С. К. Кузнецов, С. И. Исаенко, Е. М. Тропников

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
mine222@ya.ru

Золотопалладиевое оруденение месторождения Чудное представлено минерализованными прожилковыми зонами в трещиноватых и брекчированных риолитах рифей-вендского возраста. Самородное золото и минералы палладия сосредоточены в основном в прожилках Cr-содержащего мусковита (фуксита), в которых в небольшом количестве присутствует алланит, отмечаются кварц, альбит, кальцит, калиевый полевой шпат, титанит, апатит, цинкохромит и другие минералы. В рудных зонах встречаются также прожилки алланит-альбит-кварцевого состава, в некоторых случаях содержащие обильные выделения фуксита. Установлено, что кварц-альбит-алланит-фукситовые и другие фукситсодержащие прожилки являются результатом наложения кварц-альбитового жильного выполнения на ранее образовавшиеся золотоносные фукситовые прожилки. Кварц-альбитовый материал выполняет центральные части комбинированных прожилков и цементирует обломки (ксенолиты) фуксита, при этом в некоторых случаях часть золота переотлагалась и фиксировалась в кварц-альбитовой части прожилков. Изучение структур распада твердых растворов в самородном золоте показало, что температура формирования золота в фукситовых прожилках превышала 220 °С. Температура отложения основной части прожилков кварц-альбитового состава была заметно ниже. Температура гомогенизации флюидных включений в жильных минералах (кварц, альбит, алланит, кальцит) заключена главным образом в интервале 96–168 °С, растворы были обогащены хлоридами магния и кальция. В этих условиях формировались и переотлагались алланит, апатит, монацит, ксенотим, молибдошеелит, происходила перекристаллизация фуксита.

Ключевые слова: фукситсодержащие прожилки, фукситовые прожилки, стадия минералообразования, риолит.

Stages of formation of quartz-albite-allanite-fuchsite veins at the Chudnoe Au-Pd deposit (Subpolar Urals)

S. A. Onishchenko, N. V. Sokerina, S. K. Kuznetsov, S. I. Isaenko, E. M. Tropnikov

Institute of Geology FRC Komi SC UB HFS, Syktyvkar

The gold-palladium mineralization of the Chudnoe deposit is represented by mineralized veined zones in fractured and brecciated rhyolites of the Riphean-Vendian age. Native gold and palladium minerals are concentrated mainly in veins of Cr-containing muscovite (fuchsite), in which allanite is present in small amounts; quartz, albite, calcite, potassium feldspar, titanite, apatite, zincochromite and other minerals are also found. Veins of allanite-albite-quartz composition are found in ore zones, in some cases containing abundant fuchsite secretions. It has been established that quartz-albite-allanite-fuchsite and other fuchsite-containing veins are the result of the superposition of quartz-albite vein execution on previously formed gold-bearing fuchsite veins. Quartz-albite vein material fills central parts of the combined veins and cements fragments (xenoliths) of fuchsite, while in some cases part of the gold was redeposited and fixed in the quartz-albite part of the veins. Based on the study of the decomposition structures of solid solutions in native gold, it was previously established that the temperature of gold formation in fuchsite veinlets exceeded 220 °C. The deposition temperature of the main part of the quartz-albite veins was noticeably lower. The homogenization temperature of fluid inclusions in vein minerals (quartz, albite, allanite, calcite) was mainly in the range of 96–168 °C, solutions were enriched with magnesium and calcium chlorides. Under these conditions, allanite, apatite, monazite, xenotime, and molibdosheelite were formed and redeposited, and fuchsite recrystallized.

Keywords: fuchsite-containing veins, fuchsite veins, stage of mineral formation, rhyolite.

Введение

Золотопалладиевое месторождение Чудное, находящееся на западном склоне Приполярного Урала, представлено минерализованными прожилковыми зонами в трещиноватых и брекчированных риолитах рифей-вендского возраста. Месторождение заметно отличается от других золотопалладиевых или золоторуд-

ных месторождений, что было установлено в начальной стадии его изучения (Тарбаев и др., 1996). При дальнейших исследованиях получены дополнительные сведения о закономерностях развития золотопалладиевой минерализации; особенностях морфологии, состава и строения золота; характере сростаний золота с минералами палладия, жильными и пороодообра-

Для цитирования: Онищенко С. А., Сокерина Н. В., Кузнецов С. К., Исаенко С. И., Тропников Е. М. Стадийность формирования кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилков на Au-Pd-месторождении Чудное (Приполярный Урал) // Вестник геонаук. 2024. 1 (349). С. 4–15. DOI: 10.19110/geov.2024.1.1

For citation: Onishchenko S. A., Sokerina N. V., Kuznetsov S. K., Isaenko S. I., Tropnikov E. M. Stages of formation of quartz-albite-allanite-fuchsite veins at the Chudnoe Au-Pd deposit (Subpolar Urals). Vestnik of Geosciences, 2024, 1 (349), pp. 4–15, doi: 10.19110/geov.2024.1.1



зующими минералами; выявлены существенные различия в составе золота отдельных рудных зон (Кузнецов и др., 1999; Шумилов, Осташенко, 2000; Моралев и др., 2005; Palyanova et al., 2021; Онищенко, Кузнецов, 2023).

Специфические черты месторождения заключаются в необычной ассоциации Cu-Pd-содержащего золота и минералов палладия с Cr-содержащим мусковитом (фукситом) при практически полном отсутствии сульфидов. Присутствие в породах кислого состава прожилков, сложенных Cr-содержащими минералами, обуславливает дискуссионность генетических вопросов, касающихся, в частности, источников Cr, Au и Pd.

Самородное золото и минералы палладия приурочены главным образом к прожилкам фуксита, в которых в подчиненном количестве присутствует алланит (в том числе Cr-содержащий), отмечаются кварц, альбит, кальцит, калиевый полевошпат, титанит, апатит, цинкохромит и другие минералы.

Кроме фукситовых прожилков в рудных зонах встречаются прожилки альбит-кварцевого, гематит-алланит-кварцевого состава, в некоторых случаях содержащие обильные выделения фуксита. В задачи наших исследований входило изучение строения и минерального состава таких прожилков, взаимоотношений кварц-альбитовых агрегатов с фукситом, установление последовательности и условий минералообразования.

Геологическое строение месторождения

Золотопалладиевое месторождение Чудное находится в пределах Центрально-Уральского поднятия и приурочено к осевой зоне Малдинской антиклинали, осложненной разрывными нарушениями. Ядро антиклинали сложено рифей-вендскими вулканогенными породами эффузивной и субвулканической фаций кислого и основного состава, а крылья — нижнепалеозойскими терригенными отложениями алькесвожской, обезской и саледской свит нижнего-среднего ордовика. Все породы претерпели метаморфизм зеленосланцевой фации, проявившийся в послеордовикское время.

Площадь месторождения Чудное сложена риолитами и породами основного состава рифей-вендского возраста, среди которых преобладают базальты, реже долериты (рис. 1). В виде самостоятельных тел отмечены андезиты, присутствующие как в базитах, так и риолитах. Разрывные нарушения имеют преобладающее северо-восточное простирание и крутое северо-западное падение, совпадающее со сланцеватостью пород. Вдоль разрывных нарушений риолиты преобразованы в кварц-серицитовые и серицитовые метасоматиты. В зонах контакта риолитов с базитами развиты породы альбит-кварцевого, альбит-кварц-серицитового и хлорит-серицитового состава. В риолитах распространена мелкая вкрапленность гематита.

Промышленное золотое оруденение приурочено к минерализованным прожилковым зонам в трещиноватых и брекчированных риолитах. Риолиты характеризуются относительно стабильными содержаниями SiO₂ (73–79 мас. %) и Al₂O₃ (10–13 мас. %) при значительных вариациях в содержании щелочей, при этом K₂O чаще всего преобладает над Na₂O. Второстепенным компонентом риолитов является железо, содержание Fe₂O₃ в среднем составляет 1.8 мас. %, FeO — около 1 мас. %.

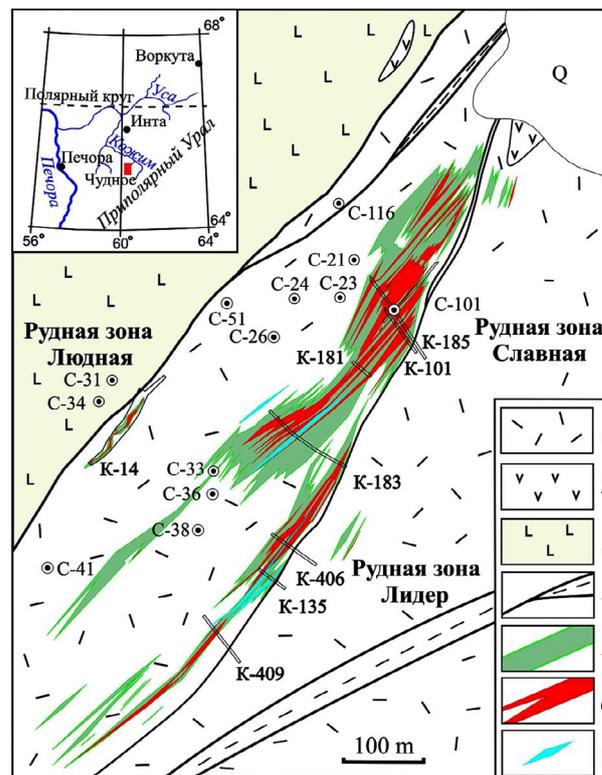


Рис. 1. Геологическая карта месторождения Чудное: 1 — риолиты; 2 — андезиты; 3 — базиты (базальты и долериты); 4 — разрывные нарушения (кварц-серицитовые и серицитовые метасоматиты); 5 — зоны фукситовой минерализации; 6 — рудные тела (Au > 1 г/т); 7 — кварцевые жилы (вне масштаба)

Fig. 1. Geological map of the Chudnoe deposit: 1 — rhyolites; 2 — andesites; 3 — mafic rocks (basalts and dolerites); 4 — faults (quartz-sericite and sericite metasomatites); 5 — zones of fuchsite mineralization; 6 — orebodies (Au > 1 ppm); 7 — quartz veins (out of scale)

В пределах месторождения выделяются три золоторудные зоны, имеющие северо-восточное простирание и крутое (50–70°) северо-западное падение. Зоны Славная и Лидер протягиваются в центральной части месторождения, сменяя друг друга, на расстояние около 900 м при ширине выходов до 60 м. На глубину эти зоны прослежены до 200 м без признаков выклинивания. Вблизи контакта риолитов с базитами расположена маломощная (до 5 м) зона Людная длиной около 80 м. Золото в рудных зонах распределено неравномерно, образуя линзовидные, чередующиеся между собой и расщепляющиеся рудные тела, которые разделяются некондиционными рудами или безрудными интервалами. Золотоносные риолиты по составу незначительно отличаются от безрудных, что свидетельствует о малой роли объемных метасоматических процессов при образовании руд (Онищенко и др., 2014).

Самородное золото и минералы палладия приурочены главным образом к прожилкам Cr-содержащего мусковита (фуксита) в риолитах. Толщина фукситовых прожилков колеблется от долей миллиметра до 1–1.5 см, риолиты вдоль зальбандов часто осветлены в зоне шириной 3–5 мм. Количество прожилков в рудных интервалах составляет 3–10 на погонный метр. Фуксит представлен тонкочешуйчатыми агрегатами изумрудно-зеленого цвета, содержание Cr₂O₃ обычно составляет 1–7 мас. %. Самородное золото образует

в фуксите выделения чешуйчатой, уплощенной и неправильной формы, размер их варьирует от 1–2 мкм до 2 мм, крайне редко до 8 мм.

Кроме фукситовых прожилков золото присутствует также в пятнах осветления — зонах локального (5–10 см) метасоматического изменения риолитов, в которых отсутствует пигментирующий породу гематит (Кузнецов, Онищенко, 2018). Бедная Au-Pd-минерализация, расположенная ниже по падению рудных тел, выявлена в сульфидсодержащих андезитах (Онищенко, Кузнецов, 2019).

Самородное золото месторождения Чудное характеризуется значительными вариациями состава и строения. Содержание Au заключено в интервале от 65.8 до 92.7 мас. % (51.5–85.7 ат. %), Ag — от 0.4 до 33.8 мас. % (0.6–47.7 ат. %), почти всегда присутствует Cu — до 12.7 мас. % (30.6 ат. %) и Pd — до 2.9 мас. %, отмечается Hg (Онищенко, Кузнецов, 2023). Самородное золото формировалось в виде твердого гомогенного Au-Ag-Cu-раствора при высокой температуре, при понижении которой в зависимости от исходного состава твердый раствор остается гомогенным, или при содержании Cu, превышающем 1.1–2.5 мас. %, распадается на две или три фазы. Матрица в пластинчато-решетчатых и табличчатых структурах распада имеет Ag-Au-состав, пластинки или таблички соответствуют фазам Au₂Cu и AuCu. Процесс распада твердого раствора сопровождался собирательной перекристаллизацией золота с образованием зернистых структур (Онищенко, Кузнецов, 2022).

Материал и методы исследования

Образцы для исследований отобраны из керна скважин, полотно траншей и элювиальных развалов в двух рудных зонах месторождения — Славной и Людой. Тектурно-структурные особенности и минеральный состав пород изучались в кернах скважин, шлифованных образцах, прозрачных препаратах, петрографических и полированных шлифах. Детально изучено 10 образцов руд с фукситсодержащими кварц-альбитовыми прожилками. Лабораторные исследования проведены в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН с использованием оптического микроскопа Nikon Eclipse LV 100 ND. Состав минералов определялся на электронном микроскопе Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром X-Max 50 Oxford Instruments (операторы Е. М. Тропников, А. А. Кряжев, А. С. Шуйский и С. С. Шевчук). Напряжение 20 кВ, диаметр электронного зонда 1 мкм. Время набора спектров составляло 60–80 сек (600 тыс. импульсов). Эталоны — чистые металлы для Au, Ag, Fe, Cr, Ti, Mn и Y, KBr — для K, альбит — для Na, GaP — для P, InAs — для As, LaB₆ — для La, CeO₂ — для Ce, волластонит — для Ca, SrF₂ — для Sr и F, Al₂O₃ — для Al, SiO₂ — для Si. Выполнено 250 определений состава минералов.

Изучение флюидных включений в минералах проведено в двусторонне полированных пластинах методами гомогенизации и криометрии с использованием термоксиостлика THMSG600 фирмы Linkam. По-

грешность измерений: ± 0.2 °C при отрицательных температурах и ± 0.5 °C при положительных. Всего изучено 10 пластинок толщиной 0.3–0.5 мм. Соленость растворов во включениях измерялась по температуре плавления льда (Bodnar, Vityk, 1994). Солевой состав включений определялся по температуре эвтектики водно-солевой системы (Борисенко, 1977). Газовый состав индивидуальных включений изучался на высоко разрешающем рамановском спектрометре LabRam HR800 (Horiba Jobin Yvon) при комнатной температуре. Для регистрации спектров применялась решетка спектрометра 600 ш/мм, размер конфокального отверстия составлял 300 и 500 мкм, щель — 100 мкм, мощность возбуждающего излучения He-Ne-лазера (длина волны 632.8 нм) — 20 мВт, Ar⁺-лазера — 120 мВт (514.5 нм).

Кварц-альбит-алланит-фукситовые прожилки

На месторождении присутствуют кварцевые и серицит-кварцевые жилы, а также прожилки кварцевого, альбит-кварцевого, алланит-кварцевого, гематит-алланит-кварцевого и гематит-кварцевого состава, которые отмечаются как в рудных зонах, так и за их пределами. Толщина прожилков обычно не превышает 5–10 см, но в зонах тектонических нарушений кварцевые и серицит-кварцевые жилы достигают мощности 2.6 м. Для рудных зон характерны фукситовые прожилки толщиной до 1.5 см, с которыми связаны самородное золото и минералы палладия. Кроме того, в рудных зонах встречаются фукситсодержащие прожилки в основном кварц-альбит-алланит-фукситового состава, иногда с заметным количеством гематита и кальцита. Прожилки характеризуются различными количественными соотношениями между фукситом и остальной жильной массой, в которой обычно преобладает кварц и альбит. Фукситсодержащие прожилки имеют мощность от 2–3 мм до 3–5 см, длина их не превышает 15–20 см, форма прямолинейная, линзовидная или неправильная. Отмечается субпараллельное расположение фукситовых и кварц-альбитовых прожилков, но часто кварц-альбитовые прожилки развиваются по трещинам, образующимся вдоль прожилков фуксита.

Относительно простым строением обладают прожилки, в которых фукситом сложена периферическая часть, тогда как центральная часть выполнена кварцем, альбитом, кальцитом и алланитом (рис. 2, а). Нередко кварц, альбит и кальцит образуют в фукситсодержащих риолитах гнезда и раздувы, при этом фуксит распространен в зальбанде прожилков, и только отдельные фрагменты фукситовых прожилков отмечаются в альбит-кварцевом жильном агрегате (рис. 2, б). В прожилках брекчиевидного строения обломки фукситсодержащих риолитов и обломки фукситовых прожилков цементируются кварцевым, альбит-кварцевым или кальцит-кварцевым жильным материалом (рис. 2, с, д). Самородное золото заключено в фуксите. Ксенолиты фукситсодержащих риолитов отмечаются и в мощных кварцевых жилах. Так, по данным разведочных работ¹,

¹ Промышленная оценка золоторудных проявлений Алькесвожского участка на хребте Малдынырд: Отчет ГРП за 1997–2005 гг. / Л. И. Ефанова, Л. В. Онищенко, А. Ф. Карчевский, С. А. Онищенко и др. Сыктывкар, Комигеолфонд, 2005.

¹ Industrial assessment of gold ore occurrences at the Alkesvozhsky site on the Maldynyrd ridge: exploration crew report for 1997–2005. L. I. Efanova, L. V. Onishchenko, A. F. Karchevsky, S. A. Onishchenko et al. Syktyvkar, Komigeolfond, 2005.



в приконтактной части кварцевой жилы мощностью 2.6 м (канавка 183) зафиксированы ксенолиты фукситсодержащих риолитов размером до 10 см.

Для кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилков характерно зональное строение, позволяющее определить последовательность минералообразования. На стенки трещин, сложенных риолитом или фукситовым прожилком, нарастает полоса белого пластинчатого альбита, которая сменяется серым среднекрупнозернистым кварцем (рис. 3). Радиально-лучистые агрегаты темно-коричневого алланита обычно приурочены

к границе между альбитовой и кварцевой зонами, но нередко развиваются в зернистом кварце. В прожилках брекчиевидного строения на обломки фукситсодержащих риолитов и фукситовых прожилков также нарастают крустификационные каймы альбита, алланита и кварца, иногда присутствуют зерна калиевого полевого шпата. Фукситовые обломки в одних случаях имеют четко очерченные контуры, но нередко они образуют облачные размытые скопления в альбит-кварцевом агрегате. В образце (рис. 3, а) фуксит малохромистый (0.4–0.9 мас. % Cr₂O₃), в образцах

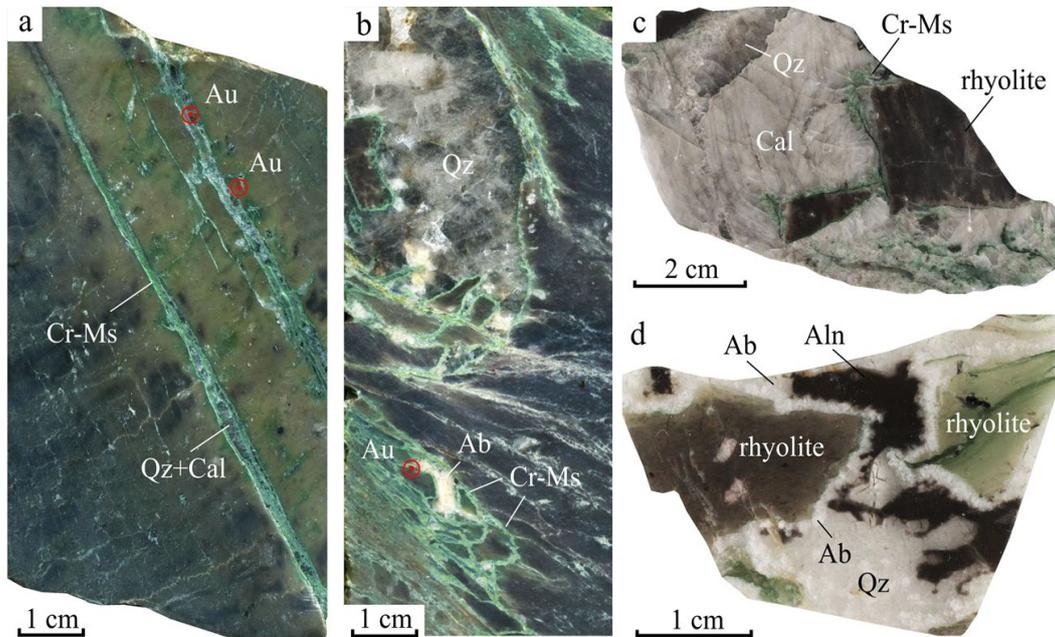


Рис. 2. Фукситсодержащие прожилки в риолитах месторождения Чудное: а – прямолинейные фукситовые прожилки, выполненные в осевой части кварцем и кальцитом; б – сеть золотоносных фукситовых прожилков осложнена альбитовыми и альбит-кварцевыми гнездами; с – кварц-кальцитовая жила с обломками риолита и фуксита; д – альбит-кварц-алланитовый прожилок в фукситсодержащем риолите (проходящий свет). Cr-Ms – фуксит, Au – самородное золото, Qz – кварц, Aln – алланит, Ab – альбит, Cal – кальцит. Обр. 51235 (а), 23031 (б), 722402 (с), 21102 (д)

Fig. 2. Fuchsite-containing veins in the rhyolites of the Chudnoe deposit: а – rectilinear fuchsite veins made in the axial part by quartz and calcite; б – a network of gold-bearing fuchsite veins complicated by albite and albite-quartz nests; с – quartz-calcite vein with fragments of rhyolite and fuchsite; д – albite-quartz-allanite veins in fuchsite-containing rhyolite (transmitted light). Cr-Ms – fuchsite, Au – native gold, Qz – quartz, Aln – allanite, Ab – albite, Cal – calcite. Samples 51235 (a), 23031 (b), 722402 (c), 21102 (d)

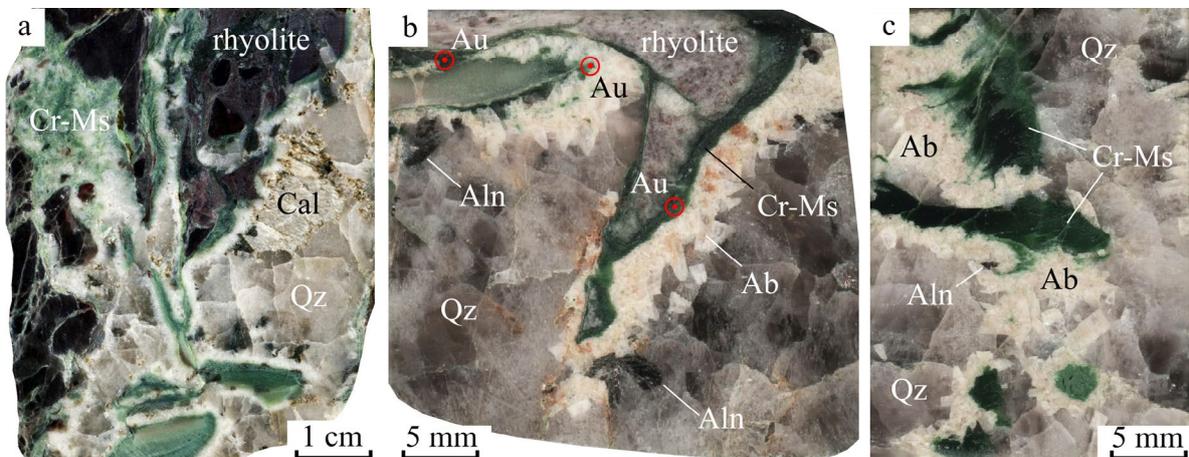


Рис. 3. Строение кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилков: Cr-Ms – фуксит, Au – самородное золото, Qz – кварц, Aln – алланит, Ab – альбит, Cal – кальцит. Обр. 33135 (а), 722416 (б), 722414 (с)

Fig. 3. Structure of quartz-albite-allanite-fuchsite veins: Cr-Ms – fuchsite, Au – native gold, Qz – quartz, Aln – allanite, Ab – albite, Cal – calcite. Samples 33135 (a), 722416 (b), 722414 (c)

(рис. 3, b, c) содержание Cr_2O_3 в фуксите заключено в интервале 0.5–3.9 мас. %. Самородное золото в кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилках приурочено к фукситу, в обр. 722416 (рис. 3, b) присутствуют частицы золота размером 10–30 мкм, содержащие 2.4–3.7 мас. % Cu и 9.5–9.8 мас. % Ag, в них отмечаются структуры распада твердого раствора.

Жильный кварц присутствует в прожилках различного состава, что обусловлено его неоднократным отложением, но роль кварца в минеральном выполнении прожилков значительно варьирует. Жильный кварц в подчиненном количестве участвует в строении фукситовых прожилков, при этом отмечено, что относительно крупные частицы золота приурочены к алланит-кварцевым линзам и обособлениям в фукситовом агрегате, содержащем 1–2 мас. % Cr_2O_3 (рис. 4, a). Самородное золото содержит 4.0 мас. % Cu, имеет двухфазную структуру распада твердого раствора: в Au-Ag-матрице заключены пластинки Au_3Cu . Характерно, что выделения золота в сростании с кварцем и алланитом имеют изометричную и неправильную форму, в то время как для золота, заключенного в фуксите, типичны уплощенные формы.

Взаимоотношения золотофукситовых и кварц-альбитовых прожилков видны на рис. 4, где представлены два сечения одного образца из рудной зоны

Людной. В первом сечении (рис. 4, b) золотофукситовый и кварц-альбитовый прожилки в общем параллельны между собой, во втором сечении (рис. 4, c) кварц-альбитовый прожилок содержит обломки золотофукситового прожилка и вмещающего риолита. Мелкие обломки фуксита подвергаются перекристаллизации с образованием идиоморфных пластинок фуксита в кварце (рис. 4, d). Золото, заключенное в фуксите, низкопробное, состав варьирует в небольших пределах: Au – 66.8–72.6, Ag – 26.9–30.7 мас. %, Cu и Pd не обнаружены. В сростании с золотом присутствует мертиит состава $\text{Pd}_{7.84}\text{Sb}_{2.63}\text{As}_{0.53}$. Содержание Cr_2O_3 в фуксите заключено в интервале 1–5 мас. %, в перекристаллизованных агрегатах фуксита (рис. 4, d) содержание Cr_2O_3 составляет 2 мас. %. В кварц-альбитовом прожилке находятся веерообразные агрегаты пластинчатого гематита и сноповидные сростки алланита, самородное золото не обнаружено, но выявлены единичные выделения минерала Pd-Ag-S-состава. В пластинчатом гематите содержится 0.5 мас. % Cr_2O_3 ; в мелких зернах гематита, распространенных в риолите, хром не обнаружен. В риолите в зальбандах прожилка и на удалении от него присутствуют струйчатые агрегаты мусковита, хром в них также не обнаружен.

Обычно самородное золото в кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилках находится в фуксите,

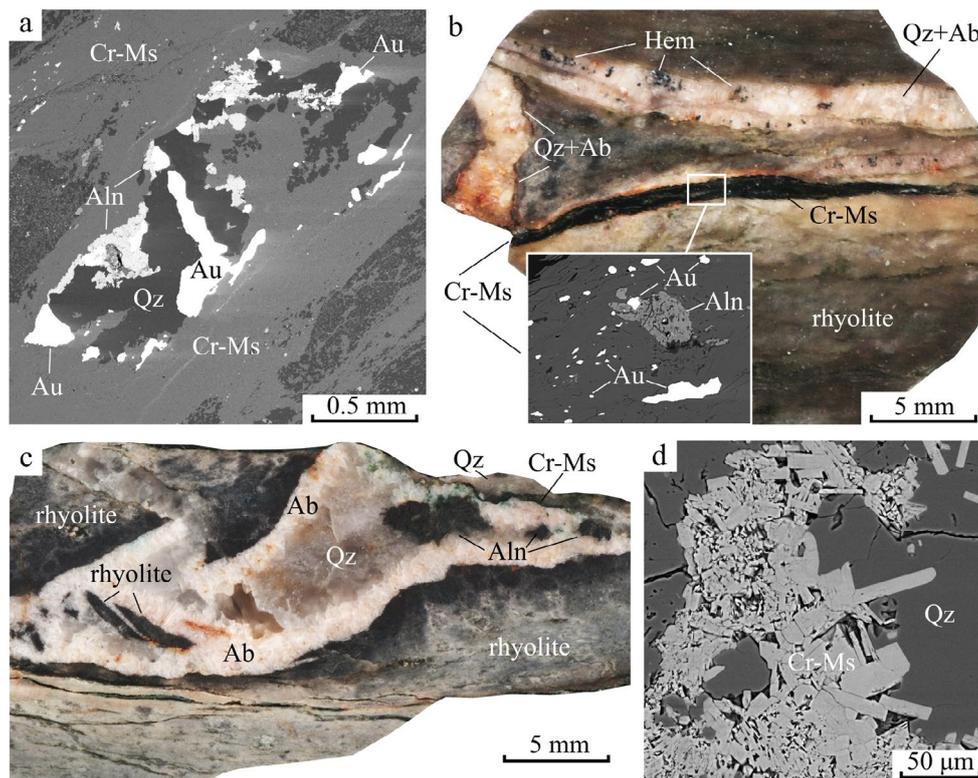


Рис. 4. Кварц в золотофукситовом прожилке и взаимоотношения золотофукситовых и кварц-альбитовых прожилков: а – в фукситовом прожилке крупные частицы золота находятся в к алланит-кварцевой линзе; б – субпараллельное расположение золотофукситового и кварц-альбитового прожилков; с – кварц-альбитовый прожилок содержит обломки золотофукситового прожилка и вмещающего риолита; д – идиоморфные пластинчатые зерна фуксита в кварце Cr-Ms – фуксит, Au – самородное золото, Qz – кварц, Aln – алланит, Hem – гематит. Полированные шлифы: 722413 (a), K-14-1 (b), K-14-2 (c, d). Изображения в отраженных электронах: a, b (врезка) и d

Fig. 4. Quartz in gold-fuchsite vein and the relationship of gold-fuchsite and quartz-albite veins: a – in the fuchsite vein, large gold particles are confined to the allanite-quartz lens; b – a sub-parallel arrangement of gold-fuchsite and quartz-albite veins; c – quartz-albite veins contains fragments of gold-fuchsite vein and host rhyolite; d – idiomorphic plate grains of fuchsite in quartz: Cr-Ms – fuchsite, Au – native gold, Qz – quartz, Aln – allanite, Hem – hematite. Polished sections: 722413 (a), K-14-1(b), K-14-2(c,d). BSE images: a, b (inset) and d

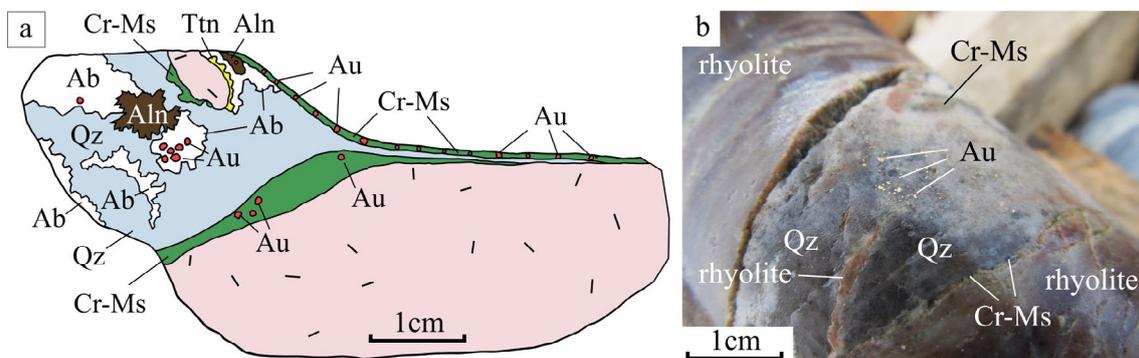


Рис. 5. Самородное золото в линзах фуксит-альбит-алланит-кварцевого (а) и фуксит-кварцевого (b) состава в риолитах. Cr-Ms — фуксит, Au — самородное золото, Qz — кварц, Aln — алланит, Ab — альбит, Ttn — титанит. Зарисовка образца из K-101 (а) и фотография ядра скв. 41, глубина 194.3 м (b)

Fig. 5. Native gold in lenses of fuchsite-albite-allanite-quartz (a) and fuchsite-quartz (b) composition in rhyolites. Cr-Ms — fuchsite, Au — native gold, Qz — quartz, Aln — allanite, Ab — albite, Ttn — titanite. A sketch of a sample from K-101 (a) and a photo of the core of well 41, depth 194.3 m (b).

а в кварце и альбите отсутствует, но при документации канав и керн скважин в единичных случаях фиксировалось видимое самородное золото в жильных минералах (рис. 5).

В линзе фуксит-альбит-алланит-кварцевого состава (рис. 5, а) доминирующим жильным минералом является полупрозрачный крупнозернистый кварц. В кварце находятся агрегатные скопления альбита и алланита. Белый альбит образует пластинчатые зерна размером 2—3 мм, часто отмечаются простые двойники. Для темно-коричневого алланита характерны радиально-лучистые сростки. Зона контакта между вмещающим риолитом и кварцево-жильной массой выполнена тонкочешуйчатым фукситом. Среди жильной массы находится обломок риолита размером около 1 см, окаймлённый агрегатами фуксита, альбита и грязно-желтого титанита. Частицы золота размером 0.1—0.4 мм заключены в фуксите, альбите, алланите и кварце.

В керне скв. 41 (рис. 5, b) многочисленные частицы золота размером до 0.5 мм заключены в линзе серого и светло-серого кварца, в зальбандах которой находятся

фрагменты фукситового прожилка. В кварцево-жильной массе присутствуют единичные обломки риолита.

Минералы кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилков

В составе прожилков преобладают кварц и альбит, почти всегда отмечается алланит, реже кальцит, гематит и калиевый полевой шпат. Фуксит обычно присутствует в зальбандах прожилков, но нередко отмечается в виде ксеногенных обломков в жильной массе. Второстепенные и редкие минералы прожилков представлены апатитом, титанитом, кайсикхитом-(Y), монацитом, ксенотимом, молибдошеелитом, лантанитом и неидентифицированным минералом Pd-Ag-S-состава.

Алланит в альбит-кварцевой массе обычно образует шестоватые и радиально-лучистые агрегаты (рис. 6, а), реже создает скопления призматических кристаллов (рис. 6, с). Алланит имеет неоднородное, иногда зональное строение (рис. 6, b), хорошо заметное в отраженных электронах. Состав алланита

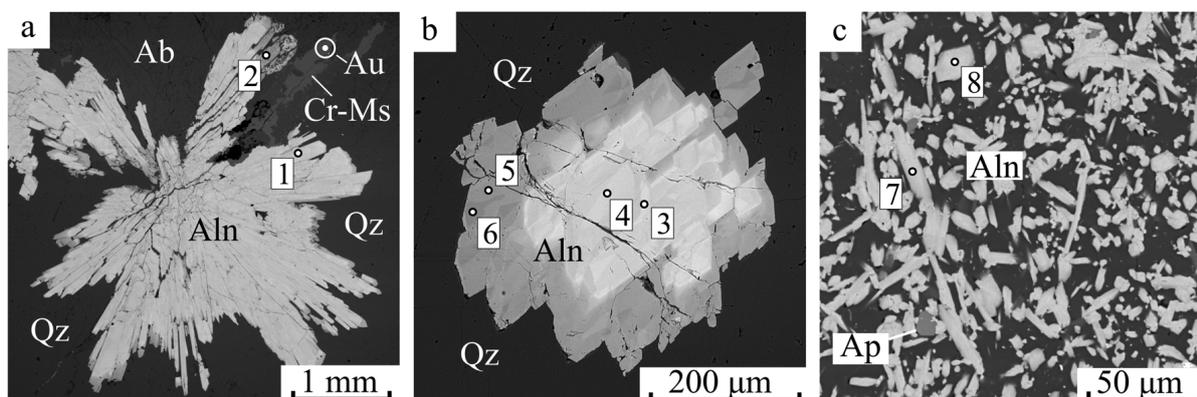


Рис. 6. Алланит в кварц-альбит-фукситовых прожилках: а — алланит радиально-лучистого строения в кварце и альбите. В фуксите — частица золота; b — алланит зонального строения в кварце; с — призматические кристаллы алланита в альбит-кварцевой массе. Цифрами обозначены точки анализа (табл. 1). Au — золото, Qz — кварц, Ab — альбит, Aln — алланит, Cr-Ms — фуксит, Ap — апатит. Изображения в отраженных электронах. Полированные шлифы 722416 (а, b), 21102 (с)

Fig. 6. Allanite in quartz-albite-fuchsite veins: a — allanite of radially radiant structure in quartz and albite. In fuchsite — a gold particle; b — allanite of zonal structure in quartz; c — prismatic crystals of allanite in albite-quartz mass. The numbers indicate the analysis points (Table 1). Au — gold, Qz — quartz, Ab — albite, Aln — allanite, Cr-Ms — fuchsite, Ap — apatite. BSE images. Polished sections 722416 (a, b), 21102 (c)



в зональных кристаллах изменяется в значительных пределах. Содержание редкоземельных элементов (REE) от центра к периферии закономерно уменьшается, а содержание железа и CaO последовательно возрастает, причем если в ядерной части преобладает двухвалентное железо, то в краевой зоне — железо в трехвалентной форме (табл. 1). Таким образом, от ядерной части к периферии кристаллов содержание алланитовой составляющей уменьшается, а эпидотовой — увеличивается. Наличие хрома для алланитов в альбит-кварцевых прожилках не характерно, но в единичном случае отмечено 0.5 мас. % Cr₂O₃ в периферической части алланита зонального строения.

Для алланита в фукситовых прожилках также характерно неоднородное, иногда зональное строение;

причем для внешних зон, в отличие от алланита в альбит-кварцевых прожилках, более характерны повышенные содержания редкоземельных элементов. В целом распределение хрома в алланите фукситовых прожилков неравномерно и неоднотипно. Так, в обр. 722413 (рис. 4, а) в алланите преобладает Cr-содержащая разновидность (2.0—2.7 мас. % Cr₂O₃) с высоким содержанием REE, в которой присутствуют более темные пятна или ядра с пониженным содержанием REE, хром в них не обнаружен. Более четко зональное строение проявлено в обр. К-14-1 (врезка на рис. 4, b), где алланит в центральной части содержит около 4 мас. % REE₂O₃, хром не обнаружен, а во внешней части при содержании 14.6 мас. % REE₂O₃ фиксируется 2.6 мас. % Cr₂O₃. Иная ситуация наблюдается в ксено-

Таблица 1. Состав алланита в кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилках (мас. %)

Table 1. Composition of allanite in quartz-albite-allanite-fuchsite veins (wt. %)

Оксид Oxide	722416						21102		722402	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO ₂	33.48	36.69	32.49	32.77	35.54	36.38	32.62	32.66	34.48	33.33
Al ₂ O ₃	18.79	21.77	18.18	18.03	21.41	20.84	18.59	18.50	18.12	16.16
Cr ₂ O ₃	—	—	—	—	—	0.50	—	—	1.83	0.98
Fe ₂ O ₃	0.52	9.73	2.14	2.35	7.55	9.78	1.91	0.36	10.06	7.89
FeO	9.35	3.67	7.96	7.85	4.08	3.40	9.84	10.21	5.28	8.37
MnO	1.15	—	1.51	1.49	1.10	0.37	1.27	0.71	1.12	1.10
CaO	12.90	20.11	13.07	13.42	18.18	19.89	11.76	12.05	16.40	13.40
La ₂ O ₃	4.86	1.87	4.35	3.90	2.74	1.21	3.93	3.13	2.39	4.48
Ce ₂ O ₃	12.29	3.49	11.19	10.95	5.12	3.41	11.13	11.67	5.06	7.47
Pr ₂ O ₃	1.17	—	—	—	—	—	1.03	1.15	0.64	1.29
Nd ₂ O ₃	4.33	0.93	3.51	2.97	1.58	1.18	4.02	4.76	3.53	4.94
Sm ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0.87	0.98	0.83	0.96
Gd ₂ O ₃	—	—	—	—	—	—	0.55	0.49	—	—
∑	98.84	98.26	94.40	93.73	97.30	96.96	97.52	96.67	99.74	100.37
Кoeffициенты в формулах в расчете на 8 катионов / Coefficients in formulas based on 8 cations										
Si	3.08	3.03	3.08	3.10	3.03	3.05	3.04	3.08	2.99	3.02
Al	2.04	2.13	2.03	2.01	2.15	2.06	2.05	2.05	1.85	1.73
Cr	—	—	—	—	—	0.03	—	—	0.13	0.07
Fe ³⁺	0.04	0.61	0.15	0.17	0.49	0.62	0.13	0.03	0.66	0.54
Fe ²⁺	0.72	0.25	0.63	0.62	0.29	0.24	0.77	0.80	0.38	0.63
Mn	0.09	—	0.12	0.12	0.08	0.03	0.10	0.06	0.08	0.08
Ca	1.27	1.78	1.33	1.36	1.66	1.79	1.18	1.22	1.52	1.30
La	0.17	0.06	0.15	0.14	0.09	0.04	0.14	0.11	0.08	0.15
Ce	0.41	0.11	0.39	0.38	0.16	0.10	0.38	0.40	0.16	0.25
Pr	0.04	—	—	—	—	—	0.03	0.04	0.02	0.04
Nd	0.14	0.03	0.12	0.10	0.05	0.04	0.13	0.16	0.11	0.16
Sm	—	—	—	—	—	—	0.03	0.03	0.02	0.03
Gd	—	—	—	—	—	—	0.02	0.02	—	—
∑ REE	0.76	0.20	0.66	0.62	0.30	0.18	0.73	0.76	0.39	0.63

Примечания: прочерк — содержание элемента ниже порога обнаружения. Содержание Fe²⁺ и Fe³⁺ рассчитано по стехиометрии. Номера анализов 1—8 соответствуют точкам анализа на рис. 6. Ан. 9 и 10 — центральная и периферическая части кристалла алланита в фуксите.

Notes: dash means the element content is below the detection limit. The content of Fe²⁺ and Fe³⁺ is calculated by stoichiometry. The analysis numbers 1—8 correspond to the analysis points in Fig. 6. Analysis 9 and 10 — central and peripheral parts of the allanite crystal in fuchsite.



литах фуксита, заключенных в кварц-кальцитовом прожилке (рис. 2, с). В фуксите присутствует цепочка мелких (15–20 мкм) идиоморфных кристаллов алланина зонального строения с внешней зоной, обогащенной, как и в предыдущих случаях, редкоземельными элементами, но хром (до 1.8 мас. % Cr₂O₃) концентрируется преимущественно в центральной части кристаллов (табл. 1, ан. 9–10).

Апатит в кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилках обычно встречается в фукситовой их части, в том числе во фрагментах фуксита в кварц-альбитовой массе, отмечен также в альбит-кварцевом прожилке совместно с призматическими кристаллами алланита (рис. 6, с). Многочисленные зерна апатита наблюдаются в фуксите, окружающем обломок риолита в альбитовой жильной массе (рис. 7, а). В некоторых случаях, как отмечено в скв. 21 на глубине 96.0 м, обломки риолитов в брекчии окаймляются широкими (до 4 мм) полосами апатитового состава. В качестве второстепенных минералов в апатитовых полосах присутствуют алланит и альбит. Апатит по составу является фторапатитом, содержание фтора составляет 3.2–5.9 мас. %, часто отмечается примесь мышьяка (до 1.2 мас. % As₂O₅),

замещающего фосфор в структуре минерала. Типичный состав апатита (обр. 51235, мас. %): CaO — 54.57, P₂O₅ — 41.18, As₂O₅ — 0.35, F — 4.13, сумма — 100.23, поправка O = F — 1.74, сумма — 98.49.

Монацит встречается в кварц-альбитовых прожилках среди пятен фуксита в виде двух разновидностей, резко различающихся по составу. **Монацит-(Ce)** образует агрегатные выделения размером до 0.3 мм, развивающиеся между зернами альбита и цементирующие идиоморфные пластинки фуксита (рис. 7, б). Состав монацита-(Ce) (мас. %): Ce₂O₃ — 36.5, La₂O₃ — 13.5, Nd₂O₃ — 10.9, Pr₂O₃ — 2.7, Sm₂O₃ — 1.2, P₂O₅ — 27.8, SO₃ — 2.3, As₂O₅ — 1.8. **Монацит-(Nd)** образует в альбит-фукситовом агрегате выделения размером до 50 мкм, в составе минерала заметную роль играют иттрий и тяжелые лантаноиды (мас. %): Nd₂O₃ — 18.3, La₂O₃ — 17.2, Ce₂O₃ — 9.6, Y₂O₃ — 6.9, Pr₂O₃ — 4.4, Sm₂O₃ — 4.6, Gd₂O₃ — 2.7, Dy₂O₃ — 1.8, CaO — 1.0, FeO — 1.1, P₂O₅ — 32.9, SO₃ — 1.1, SiO₂ — 1.1.

Ксенотим образует в кварц-кальцит-фукситовом прожилке удлинённые скопления, как мономинеральные, так и в сростании с алланитом, в последнем присутствуют многочисленные очень мелкие включе-

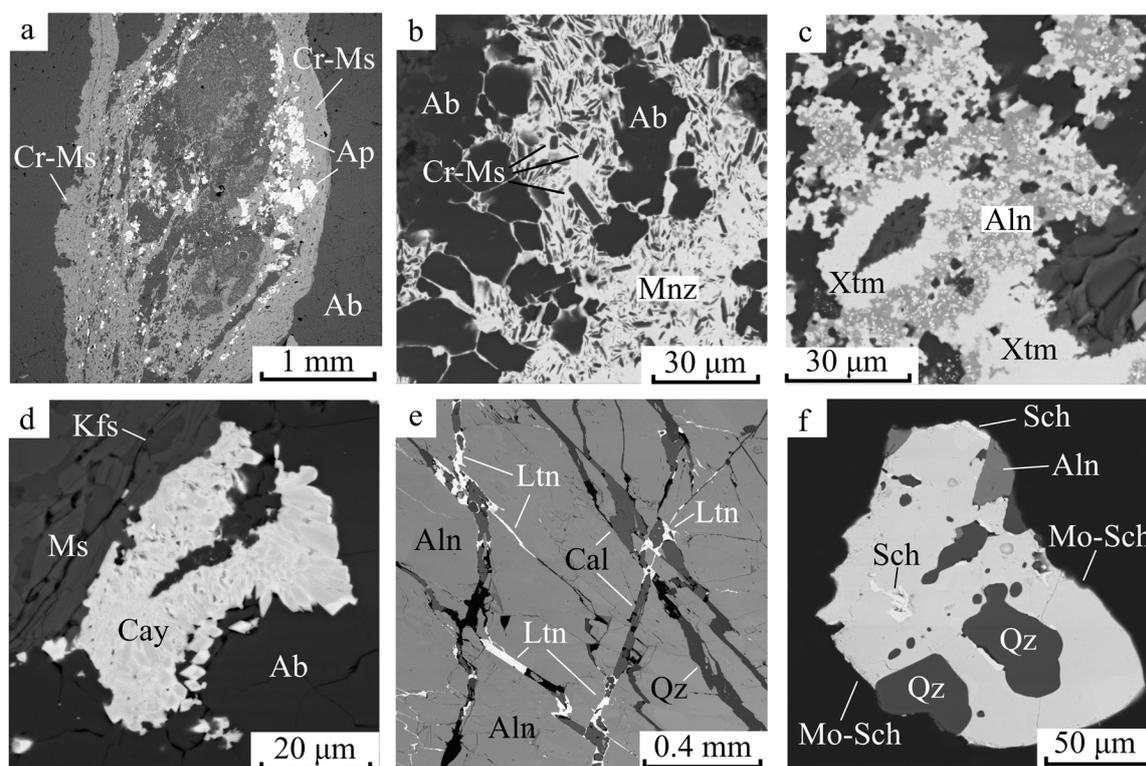


Рис. 7. Минералы кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилков: а — обломок риолита в альбитовой жильной массе окружен фукситом с многочисленными зернами апатита; б — скопление монацита-Ce среди альбита содержит пластинки фуксита; с — ксенотим-алланитовое скопление в кварц-кальцит-фукситовом прожилке; д — кайсикхит-(Y) неоднородного строения в альбите; е — сеть кварц-кальцит-лантанитовых прожилков в алланите; ф — молибдошеелит с каймой и пятнами более яркого шеелита в сростании с алланитом и кварцем. Изображения в отраженных электронах. Полированные шлифы 33135 (а), 722414 (б), 51235 (с), 21102 (д), 33135 (е), полированный монтированный шлиф 31-65-70 (ф). Oz — кварц, Ab — альбит, Aln — алланит, Ap — апатит, Ms — мусковит, Cr-Ms — фуксит, Kfs — калиевый полевой шпат, Cay — кайсикхит-(Y), Mnz — монацит-(Ce), Xtm — ксенотим-(Y), Ltn — лантанит-(Nd, Ce), Sch — шеелит, Mo-Sch — молибдошеелит

Fig. 7. Minerals of quartz-albite-allanite-fuchsite veins: а — fragment of rhyolite in an albite vein mass is surrounded by fuchsite with numerous grains of apatite; б — an accumulation of monazite-Ce among albite contains plates of fuchsite; с — xenotime-allanite cluster in quartz-calcite-fuchsite vein; д — caysichite-(Y) of heterogeneous structure in albite; е — network of quartz-calcite-lanthanite veins in allanite; ф — molybdenum sheelite with a border and spots of brighter sheelite in fusion with allanite and quartz. BSE images. Polished sections 33135 (a), 722414 (b), 51235 (c), 21102 (d), 33135 (e), polished mounted sections 31-65-70 (f). Oz — quartz, Ab — albite, Aln — allanite, Ap — apatite, Ms — muscovite, Cr-Ms — fuchsite, Kfs — potassium feldspar, Cay — caysichite-(Y), Mnz — monazite-(Ce), Xtm — xenotime-(Y), Ltn — lanthanite-(Nd, Ce), Sch — scheelite, Mo-Sch — molybdoscheelite

ния монацита (рис. 7, с). Состав ксенотима (мас. %): Y_2O_3 — 47.3, Dy_2O_3 — 5.2, Er_2O_3 — 3.6, Yb_2O_3 — 3.3, Gd_2O_3 — 2.3, Ho_2O_3 — 1.1, P_2O_5 — 32.3, As_2O_5 — 3.7, сумма — 98.8, формула $(Y_{0.85}Dy_{0.06}Er_{0.04}Yb_{0.03}Gd_{0.03}Ho_{0.01})_{1.02}(P_{0.92}As_{0.06})_{0.98}O_{4.00}$.

В алланите (обр. 722414, рис. 3, с) отмечены скопления мелких (до 20 мкм) зерен As-содержащего ксенотима, в котором черновитовый минал ($YAsO_4$) составляет 25 мол. %: $(Y_{0.86}Dy_{0.05}Er_{0.05}Yb_{0.03}Gd_{0.02} \times Ho_{0.01})_{1.00}(P_{0.74}As_{0.25})_{0.99}O_{4.00}$. В кварц-фукситовом агрегате, в кварце и альбите отмечены мелкие зерна еще одного фосфата иттрия, отличающегося наличием кремния, кальция и урана. Типичный анализ минерала (обр. К-14, мас. %): Y_2O_3 — 31.9, Dy_2O_3 — 3.9, Er_2O_3 — 2.5, Yb_2O_3 — 2.0, Gd_2O_3 — 2.2, Ho_2O_3 — 1.0, Nd_2O_3 — 1.5, Sm_2O_3 — 1.0, Ce_2O_3 — 0.5, P_2O_5 — 24.6, SiO_2 — 5.7, CaO — 3.2, UO_2 — 9.4, F — 1.2, сумма — 90.6, поправка $O = F - 0.5$, сумма — 90.1.

Кайсикхит-(Y), иттриевый карбосиликат, в виде мелких зерен обнаружен в альбит-кварцевом прожилке совместно с призматическими кристаллами алланита, но чаще встречается на контакте прожилков с риолитовой матрицей (рис. 7, d). Кайсикхит-(Y) имеет неоднородное строение, на темные в отраженных электронах центральные части нарастают более светлые зоны, отличающиеся более высоким содержанием Y_2O_3 . Состав темной разности (мас. %): SiO_2 — 29.2, CaO — 8.8, MnO — 0.6, FeO — 2.1, Y_2O_3 — 24.9, Ce_2O_3 — 1.6, Nd_2O_3 — 2.2, Sm_2O_3 — 2.1, Gd_2O_3 — 3.7, Tb_2O_3 — 0.7, Dy_2O_3 — 3.5, Er_2O_3 — 1.4, Yb_2O_3 — 1.1, сумма — 81.9. Состав светлой разности (мас. %): SiO_2 — 27.4, CaO — 3.8, FeO — 2.4, Y_2O_3 — 35.2, Sm_2O_3 — 1.0, Gd_2O_3 — 3.8, Dy_2O_3 — 4.9, Ho_2O_3 — 0.9, Er_2O_3 — 2.9, Yb_2O_3 — 1.6, сумма — 83.9.

Лантанит, редкоземельный карбонат, наблюдается в кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилках в виде тонких прожилков в алланите и кальците. Состав минерала очень сильно варьирует даже в пределах одного образца. В образце 33135 лантанит образует тонкие прожилки в алланите, в одном случае состав минерала соответствует **лантаниту-(Nd)** (мас. %): Nd_2O_3 — 23.2, La_2O_3 — 17.4, Ce_2O_3 — не обн., Pr_2O_3 — 3.8, Sm_2O_3 — 5.7, Gd_2O_3 — 4.2, Y_2O_3 — 1.6, CaO — 5.2, в другом — **лантаниту-(Nd, Ce)** (рис. 7, е, мас. %): Nd_2O_3 — 15.2, La_2O_3 — 9.3, Ce_2O_3 — 14.1, Pr_2O_3 — 2.4, Sm_2O_3 — 5.1, Gd_2O_3 — 5.6, Dy_2O_3 — 1.8, Y_2O_3 — 3.0, CaO — 5.5, SrO — 1.1. В образце 21102 лантанит образует прожилковидные выделения в кальците, состав минерала отвечает **лантаниту-(La)** (мас. %): La_2O_3 — 27.8, Nd_2O_3 — 13.0, Ce_2O_3 — не обн., Pr_2O_3 — 1.9, Sm_2O_3 — 3.4, Gd_2O_3 — 3.3, Y_2O_3 — 2.8, CaO — 1.2.

Молибдошеелит в альбит-кварцевых прожилках образует зерна размером до 0.15 мм, которые находятся в сростании с кварцем, альбитом, титанитом, алланитом и гематитом. В полированных срезах руд минерал наблюдается редко, чаще отмечается при изучении концентратов тяжелых минералов в монтированных полированных шлифах (рис. 7, f). Содержание повеллитового минала в молибдошеелите со-

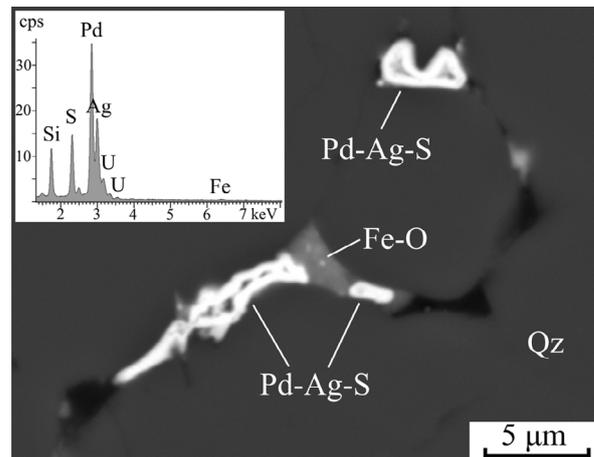


Рис. 8. Минерал Pd-Ag-S в жильном кварце и его энергодисперсионный спектр (врезка). Изображение в отраженных электронах. Полированный шлиф К-14-2. Oz — кварц, Fe-O — оксид-гидроксид железа

Fig. 8. Mineral Pd-Ag-S in vein quartz and its energy dispersion spectrum (inset). BSE image. Polished section K-14-2. Oz — quartz, Fe-O — iron oxide-hydroxide

ставляет 22—45 %. Формула минерала — $Ca_{1.00-1.02} \times (W_{0.55-0.76}Mo_{0.22-0.45})O_4$. В молибдошеелите отмечаются каймы и отдельные выделения практически чистого шеелита, почти не содержащего молибдена, состав шеелита — $Ca_{1.03}(W_{0.94}Mo_{0.03})O_4$. В шеелитах возможна примесь стронция, замещающего кальций, но в связи с наложением линий Sr и W в энергодисперсионном спектре его содержание не может быть определено.

Минерал Pd-Ag-S отмечен в альбит-кварцевом прожилке в виде межзерновых натечных образований в кварцевом агрегате (рис. 8). Наиболее качественный анализ (мас. %): Pd — 66.9, Ag — 8.8, S — 9.0, Fe — 0.6, U — 1.6, Si — 6.7, Al — 0.5, сумма — 94.1. Следует отметить схожий характер локализации минерала Pd-Ag-S и ранее обнаруженного самородного палладия². Оба минерала выполняют интерстиции между зернами кварца, их образование отражает, вероятно, наиболее поздний эпизод благороднометалльной минерализации на месторождении.

Флюидные включения в жильных минералах

Флюидные включения присутствуют в кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилках в алланите, кварце, альбите и кальците во всех изученных образцах (рис. 2—4). Для определения условий минералообразования нами изучены первичные двухфазовые флюидные включения в алланите, кварце, альбите и кальците. К первичным отнесены те включения, которые встречаются поодиночке, небольшими группами или имеют площадное распространение. Размер флюидных включений обычно не превышает 10—15 мкм, форма неправильная, угловатая, иногда с элементами огранки (рис. 9).

² Борисов А. В. Геолого-генетические особенности Au-Pd-REE-рудопоявлений хребта Малдынырд (Приполярный Урал): Автореф. дисс. ... к. г.-м. н. М.: МГУ, 2005. 27 с.

² Borisov A. V. Geological and genetic features of the Au-Pd-REE ore occurrences of the Maldynyrd ridge (Subpolar Urals). Ph. D. Thesis, 2005, Moscow: MSU, 27 p. (in Russian)

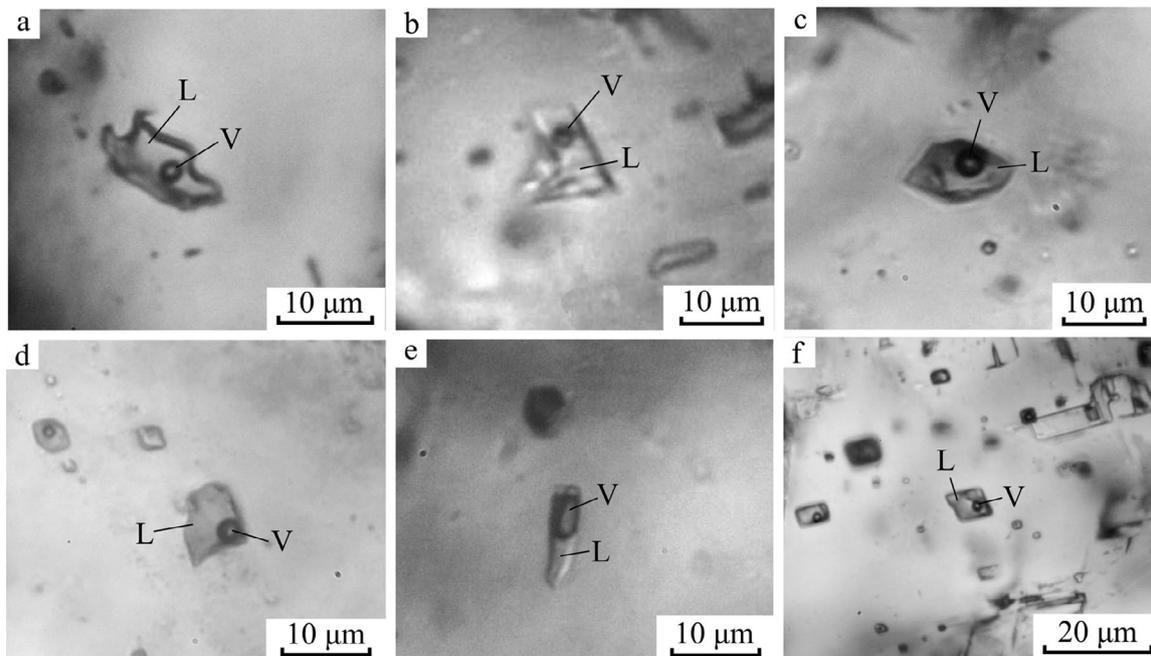


Рис. 9. Типичные двухфазовые флюидные включения в алланите (а); альбите (b); кварце (с–е) и кальците (f). V – газовая фаза, L – жидкая фаза. Образцы 722416 (a, c), 33135(b), 13736 (d, e), 722402 (f)

Fig. 9. Typical two-phase fluid inclusions in allanite (a); albite (b); quartz (c–e) and calcite (f). V – gas phase, L – liquid phase. Samples 722416 (a, c), 33135(b), 13736 (d, e), 722402 (f)

Двухфазовые включения в алланите имеют газовую фазу до 5, редко до 10 об. % (рис. 9, а). Температура гомогенизации изменяется в пределах 123–168 °С, гомогенизация этих и всех нижеописанных включений происходит в жидкую фазу. Температура эвтектики водно-солевого раствора (–42...–57), вероятно, свидетельствует о присутствии в жидкой фазе хлоридов кальция с примесями. Концентрация солей варьирует от 12.2 до 22.5 мас. %-экв. NaCl (рис. 10).

Двухфазовые включения в альбите содержат газовую фазу до 5, редко до 10 об. % (рис. 9, b).

Гомогенизация происходит при температурах 110–147 °С. По температуре эвтектики водно-солевого раствора (–37...–55 °С) определили присутствие хлоридов кальция с примесями. Концентрация солей варьирует от 16.1 до 19.0 мас. %-экв. NaCl.

Двухфазовые включения в кварце обычно имеют газовую фазу до 5 об. %. Температура гомогенизации изменяется в пределах 96–168 °С (рис. 9, c, d), температура эвтектики водно-солевого раствора заключена в интервале –31...–55 °С, что указывает на присутствие в жидкой фазе хлоридов магния и кальция с примесями. Концентрация солей изменяется от 8.5 до 17.6 мас. %-экв. NaCl. Кроме того, в образцах К-14 и 13736 встречаются единичные включения с более высокими температурами гомогенизации до 520 °С (рис. 9, e; 10) и соленостью жидкой фазы до 19.7 мас. %-экв. NaCl.

Двухфазовые включения в кальците содержат газовую фазу до 5, реже до 10 об. % (рис. 9, f). Гомогенизация происходит при температурах 122–140 °С, эвтектика водно-солевого раствора наблюдается при –32...–50 °С, что указывает на присутствие хлоридов магния и кальция с примесями. Концентрация солей изменяется от 13.6 до 17.5 мас. %-экв. NaCl.

Методом рамановской спектроскопии проведено исследование газовой фазы флюидных включений в алланите, кварце, кальците и альбите (12 анализов). Часто в полученных спектрах отмечается повышенный фон, но пики индивидуальных газов (например, CO₂, N₂ или CH₄) на спектрах не проявлены даже при слабом фоне.

Обсуждение результатов

Строение фукситсодержащих прожилков (кварц-альбит-алланит-фукситовых или гематит-кварц-альбит-алланит-фукситовых) показывает, что их образование

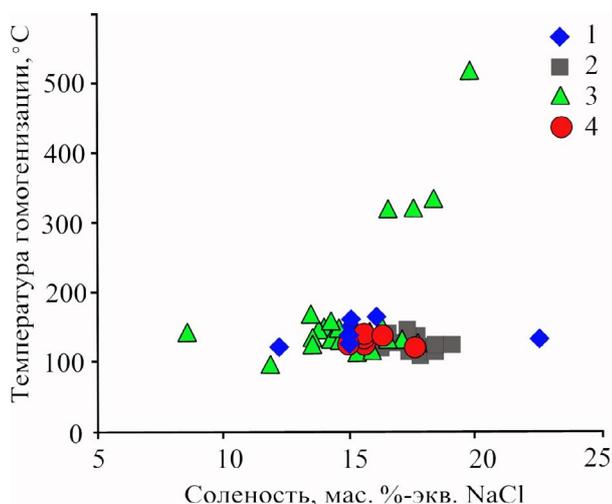


Рис. 10. Соотношение температуры гомогенизации и солености жидкой фазы во флюидных включениях: 1 – в алланите; 2 – альбите; 3 – кварце; 4 – кальците

Fig. 10. The ratio of the homogenization temperature and the salinity of the liquid phase in fluid inclusions: 1 – in allanite; 2 – albite; 3 – quartz; 4 – calcite

обусловлено сочетанием как минимум двух стадий минералообразования. На первой стадии были сформированы золотофукситовые прожилки, содержащие некоторое количество алланита, на второй стадии — альбит-кварц-алланитовые, содержащие также гематит, кальцит и другие минералы. Образование таких комбинированных прожилков обусловлено тектоническими подвижками, при которых происходит образование трещин вдоль фукситовых прожилков с последующим заполнением полостей кварцем, альбитом, алланитом и другими минералами (рис. 2—5). Кварцевые и кварц-альбитовые прожилки выполняют вновь образованные трещины, а также накладываются на золотофукситовые прожилки, при этом фрагменты последних частично заключены в кварц-альбитовом жильном материале в виде ксенолитов (рис. 2—5).

Обломки фукситовых прожилков не являются пассивным субстратом для отложения кварца и альбита, напротив, фукситовый материал активно преобразуется, подвергается перекристаллизации с образованием идиоморфных пластинок (рис. 4, d и 7, b). При этом основная часть хрома наследуется перекристаллизованным фукситом, а некоторая часть изредка фиксируется во внешних зонах кристаллов алланита и жильном гематите. Формирование кварц-альбитовых прожилков сопровождалось миграцией редкоземельных и ряда других элементов, о чем свидетельствует изменение состава алланита, а также отложение апатита, монацита, ксенотима, кайсикхита-(Y), молибдошеелита.

Золото, как указывалось, в основном связано с первой (золотофукситовой) стадией рудообразования и в составе кварц-альбит-алланит-фукситовых или гематит-кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилков заключено в их фукситовой части. Вместе с тем достоверно задокументированы включения золота в альбит-кварцевых и кварцевых внутренних частях прожилков (рис. 5). Эти наблюдения свидетельствуют, что золото подвергалось локальному переотложению или, что менее вероятно, некоторая часть альбит-кварцевых и кварцевых прожилков формировалась на фоне продолжающегося привноса золота гидротермальными флюидами.

Следует отметить, что сотрудниками ИГЕМ РАН Г. В. Моралевым, А. В. Борисовым², С. В. Суренковым³ последовательность минералообразования представляется иначе. Ксенолиты фукситового материала в кварц-альбитовых прожилках интерпретировались ими как новые (вторая и третья) генерации фуксита, образовавшиеся в кварц-альбитовых прожилках. При этом золотопалладиевое оруденение связывается с наиболее поздним гидротермальным событием.

Изучение флюидных включений в жильных минералах показало, что температура гомогенизации в них составляет в основном 96—168 °С, что в целом соответствует ранее полученным данным³ (Palyanova et al., 2021). Газовая составляющая флюидов пред-

ставлена водяным паром, другие газы не обнаружены. Таким образом, флюид, из которого сформировалась основная масса жильных минералов, представлен водным раствором соленостью от 8.5 до 22.5 мас. %-экв. NaCl.

Присутствие в кварце единичных первичных включений (рис. 9, e; 10) с более высокой температурой гомогенизации (до 520 °С) и соленостью жидкой фазы до 19.7 мас. %-экв. NaCl может указывать на существование реликтов его более ранней генерации. Это согласуется с ранее полученными данными³ о том, что в раннем жильном кварце температура гомогенизации псевдопервичных и первичных включений варьирует от 230 до 400 °С, концентрация солей — от 2.1 до 17 мас. %-экв. NaCl.

Важную информацию об эволюции температурных условий минералообразования дает изучение структур распада твердых растворов в самородном золоте в фукситовых прожилках. Температура распада первичного твердого раствора Au-Ag-Cu с содержанием Cu около 25 ат. % составляет примерно 220 °С (Онищенко, Кузнецов, 2022). Видимо, оценка нижнего предела температуры формирования самородного золота может быть распространена на золото любого состава, локализующегося в фукситовых прожилках. Таким образом, золотофукситовые прожилки формировались при заметно более высокой температуре, чем основная часть прожилков кварц-альбитового состава.

Заключение

В истории развития гидротермальных процессов на месторождении Чудное нами рассмотрены закономерности формирования фукситсодержащих кварц-альбитовых прожилков, в образовании которых выделяются две стадии. На первой стадии были сформированы золотофукситовые прожилки. Температура отложения золота в фукситовых прожилках превышала 220 °С. На второй стадии развивались кварцевые и кварц-альбитовые прожилки, выполняя вновь образованные трещины, а также накладываются на золотофукситовые прожилки. Кварц-альбитовый жильный материал выполняет центральные части комбинированных прожилков и цементирует обломки (ксенолиты) фуксита. При этом в некоторых случаях часть золота переотлагалась и фиксировалась не только в фукситовой, но и кварц-альбитовой части прожилков. В целом температура гидротермальных процессов с течением времени снижалась. Температура гомогенизации флюидных включений в жильных минералах кварц-альбит-алланитовых или гематит-кварц-альбит-алланитовых прожилков в основном заключена в интервале 96—168 °С. В этих условиях формировались и переотлагались алланит, апатит, монацит, ксенотим, молибдошеелит, происходила перекристаллизация фуксита.

³ Суренков С. В. Условия образования и источники рудного вещества Au-PGE-REE рудопоявлений Аلكесвожской площади (Приполярный Урал): Автореф. дисс. ... к. г.-м. н. М., ИГЕМ РАН, 2003, 23 с.

³ Surenkov S. V. Formation Conditions and Sources of Ore Matter Au-PGE-REE of Ore Occurrences in Alkesvozhskaya Area (Subpolar Urals). Ph. D. Thesis, IGEM RAS, Moscow, 2003, 23 p. (in Russian)



Исследование проведено в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ГР №12204060009-2), с использованием оборудования ЦКП «Геонаука».

Литература / References

- Борисенко А. С. Изучение солевого состава растворов газозово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16—27.
- Borisenko A. S. Study of the salt composition solutions of gas—liquid inclusions in mineralas by the cryometric method. *Geology and Geophysics*, No. 8, pp. 16—27. (in Russian)
- Кузнецов С. К., Тарбаев М. Б., Соболева А. А. Минералогическо-геохимические особенности золотофукситовых прожилков в риолитах хребта Малдынырд // Сыктывкарский минералогический сборник № 28. Сыктывкар, 1999. С. 146—154.
- Kuznetsov S. K., Tarbaev M. B., Soboleva A. A., Mineralogy and geochemistry of gold—fuchsite veinlets in rhyolites of the Maldynyrd Ridge. *Syktvykar mineralogical collection*, No. 28, Syktvykar, 1999, pp. 146—154. (in Russian)
- Кузнецов С. К., Онищенко С. А. Золотоносность локальных участков метасоматического изменения риолитов месторождения Чудное (Приполярный Урал) // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 12. С. 39—45. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-12-39-45
- Kuznetsov S. K., Onishchenko S. A. Gold content of local areas of metasomatic alteration of rhyolites of the Chudnoe deposit (Subpolar Urals). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2018, No. 12, pp. 39—45. (in Russian)
- Моралев Г. В., Борисов А. В., Суренков С. В., Нагаева С. П., Тарбаев М. Б., Кузнецов С. К., Онищенко С. А., Ефанова Л. И., Соболева А. А. Распределение и формы нахождения редкоземельных элементов на Au-Pd-REE-рудопроявлениях Чудное и Нестеровское (хребет Малдынырд, Приполярный Урал) // Геохимия. 2005. № 11. С. 1175—1195.
- Moralev G. V., Borisov A. V., Surenkov S. V., Nagaeva S. P., Tarbaev M. B., Kuznetsov S. K., Onishchenko S. A., Efanova L. I., Soboleva A. A. Distribution and modes of occurrence of REE at the Chudnoe and Nesterovskoe occurrences of Au-Pd-REE ore mineralization in the Maldynyrd Range, Nether-Polar Urals. *Geochem. Int.*, 2005, No.11, pp. 1078—1097.
- Онищенко С. А., Кузнецов С. К. Палладий-золотосульфидная минерализация в андезитах на месторождении Чудное (Приполярный Урал) // Вестник Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. 2019. № 6. С. 20—27. DOI: 10.19110/2221-1381-2019-6-20-27
- Onishchenko S. A., Kuznetsov S. K. Palladium-gold-sulphide mineralization in andesites at Chudnoe deposit (Subpolar Urals). *Vestnik IG Komi SC UB RAS*, 2019, No. 6, pp. 20—27. (in Russian)
- Онищенко С. А., Онищенко Л. В., Ефанова Л. И., Артеева Т. А. Золоторудное месторождение Чудное на Приполярном Урале // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVI съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2014. Т. III. С. 172—175.
- Onishchenko S. A., Onishchenko L. V., Efanova L. I., Arteeva T. A. The Chudnoe gold deposit in the Subpolar Urals. *Geology and Mineral Resources of the European Northeast of Russia. Proceedings of the 16th Komi Republic Meeting*, V. 3, Syktvykar, IG Komi SC UB RAS, 2014, pp. 172—175. (in Russian)
- Онищенко С. А., Кузнецов С. К. Распад твердого раствора в системе Au-Ag-Cu в богатой золотом области // Геохимия. 2022. № 7. С. 639—654. DOI: [10.31857/S0016752522060061](https://doi.org/10.31857/S0016752522060061)
- Onishchenko S. A., Kuznetsov S. K. Exsolution in the Au-Ag-Cu system in a gold-rich area. *Geochem. Int.*, 2022. V. 60, No. 7, pp. 657—671. DOI: [10.1134/0016702922060064](https://doi.org/10.1134/0016702922060064)
- Онищенко С. А., Кузнецов С. К. Самородное золото Au-Pd-месторождения Чудное (Приполярный Урал, Россия) // Геология и геофизика. 2023. № 2. С. 233—254. DOI: [10.15372/GiG2022122](https://doi.org/10.15372/GiG2022122)
- Onishchenko S. A., Kuznetsov S. K. Native Gold of the Chudnoe Gold-Palladium Deposit (Subpolar Urals, Russia). *Russian Geology and Geophysics*, 2023, No. 2, pp. 192—209. DOI: [10.2113/RGG20214452](https://doi.org/10.2113/RGG20214452)
- Тарбаев М. Б., Кузнецов С. К., Моралев Г. В., Соболева А. А., Лапутина И. П. Новый золотопалладиевый тип минерализации в Кожимском районе Приполярного Урала (Россия) // Геология рудн. месторождений. 1996. № 1. С. 15—30.
- Tarbaev M. B., Kuznetsov S. K., Moralev G. V., Soboleva A. A., Laputina I. P. A new gold-palladium type of mineralization in the Kozhim region of the Circumpolar Urals (Russia). (1996). *Geol. Ore Deposits*, No. 1, pp. 11—25.
- Шумилов И. Х., Остащенко Б. А. Минералогическо-технологические особенности Au-Pd-TR-оруденения на Приполярном Урале. Сыктывкар: Геопринт, 2000. 104 с.
- Shumilov I. Kh., Ostashchenko B. A. Mineral and technological features of Au-Pd-TR mineralization in the Subpolar Urals. *Syktvykar: Geoprint*, 2000, 104 p. (in Russian)
- Боднар Р. Я., Витык М. О. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. *Fluid inclusions in minerals: methods and applications*. Pontignano: Siena. 1994. pp. 117—130.
- Palyanova G., Murzin V., Borovikov A., Karmanov N., Kuznetsov S. Native gold in the Chudnoe Au-Pd-REE deposit (Subpolar Urals, Russia): Composition, minerals in intergrowth and genesis. *Minerals*. 2021. v. 11. 451.

Received / Поступила в редакцию 31.10.2023



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 551.79(282.247.11.044)

DOI:10.19110/geov.2024.1.2

Геологическое строение четвертичных отложений в долине нижней Печоры

Л. Н. Андреичева

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, andreicheva@geo.komisc.ru

Установлено геологическое строение отложений неоплейстоцена на 19-километровом отрезке правобережья нижней Печоры между деревнями Гаревое и Сергеево-Щелья. В береговых обнажениях выявлено наличие трех ледниковых и двух межледниковых горизонтов и изучен вещественный состав слагающих их осадков. Формирование наиболее древнего горизонта морены связано с Фенноскандинавией и происходило в раннеоплейстоценовое помусовское (окское) время. На помусовской морене с размывом залегают чирвинские (лихвинские) межледниковые аллювиальные и озерные осадки. В среднеоплейстоценовом ледниковом комплексе выделяются две разновозрастные толщи морен: печорская (днепровская) и вычегодская (московская), разделенные пачкой преимущественно прибрежно-морских отложений литорали, а также аллювиальными и озерными осадками, возраст которых палинологическим методом определен как родионовский (шкловский). Различия в литологическом составе морен подтверждают двукратное оледенение Европейского Северо-Востока России в среднем неоплейстоцене.

Ключевые слова: неоплейстоцен, ледниковые и межледниковые горизонты, литология, минеральный и петрографический состав морен, биостратиграфия, корреляция.

Geological structure of Quaternary sediments in the lower Pechora river valley

L. N. Andreicheva

Institute of Geology FRC Komi SC UB HFS, Syktyvkar

The geological structure of Neopleistocene deposits was specified along a 19-kilometer section of the right bank of the lower Pechora between the villages of Garevo and Sergeev-Shchelya. The presence of three glacial and two interglacial horizons was revealed in coastal outcrops, and the material composition of the composing sediments was studied. The formation of the most ancient moraine horizon was associated with Fennoscandinavia and occurred in the early Quaternary Pomusov (Oka) time. The Pomusov moraine was overlain by Chirva (Likhvin) interglacial alluvial and lacustrine sediments. In the Middle Neopleistocene glacial complex, two morainic strata of different ages were distinguished: Pechora (Dnieper) and Vychegda (Moscovian), separated by a pack of predominantly coastal-marine littoral sediments, and alluvial and lacustrine sediments, the age of which was determined as Rodionov (Shklov) by the palynological method. Differences in the lithological composition of moraines confirmed a double glaciation of the European North-East of Russia in the Middle Neopleistocene.

Keywords: Neopleistocene, glacial and interglacial horizons, lithology, mineral and petrographic composition of moraines, biostratigraphy, correlation.

Введение

В связи с находкой черепа моржа на р. Печоре в Усть-Цилемском районе Республики Коми (Пономарев и др., 2023) в последнее время отмечается повышенный интерес к изучению четвертичных отложений этого участка долины Печоры. По этой причине среди исследователей квартера возникли разногласия по вопросам его геологического строения: количества неоплейстоценовых горизонтов и их стратиграфической приуроченности в районе исследований. Еще в 1971–1973 годах нами проводились полевые работы и изучение разрезов береговых обнажений в долине р. Печоры между деревнями Гаревое и Сергеево-Щелья (расстояние 19 км). В силу ряда обстоятельств резуль-

таты проведенных исследований были опубликованы лишь фрагментарно (Андреичева, 1992, 2002; Андреичева и др., 2015). Располагая геологическими данными и результатами литологического изучения четвертичных отложений из береговых обнажений р. Печоры в пределах этого участка ее долины (рис. 1), мы сочли необходимым предложить вариант геологического строения отложений неоплейстоцена в указанном районе, обосновав свою точку зрения комплексной литологической характеристикой осадков, слагающих ледниковые и межледниковые горизонты.

Относительный возраст неоплейстоценовых осадков определяется на основе использования нескольких литостратиграфических признаков — критериев

Для цитирования: Андреичева Л. Н. Геологическое строение четвертичных отложений в долине нижней Печоры // Вестник геонаук. 2024. 1 (349). С. 16–23. DOI: 10.19110/geov.2024.1.2

For citation: Andreicheva L. N. Geological structure of Quaternary sediments in the lower Pechora river valley. Vestnik of Geosciences, 2024, 1 (349), pp. 16–23, doi: 10.19110/geov.2024.1.2

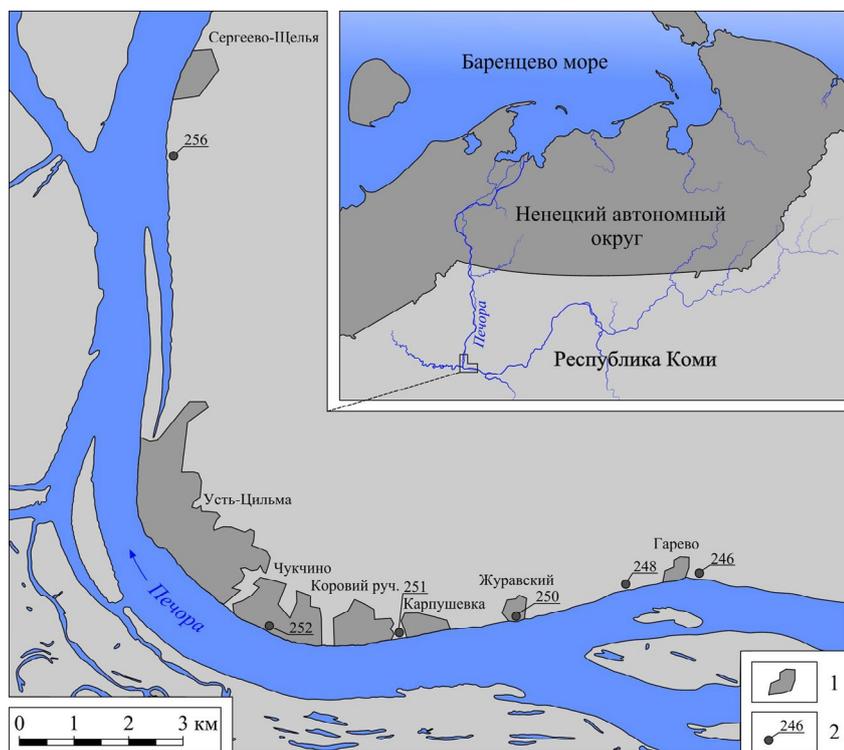


Рис. 1. Схема расположения изученных береговых обнажений на нижней Печоре: 1 — населенные пункты, 2 — береговые обнажения

Fig. 1. Scheme of the location of the studied coastal outcrops in the lower Pechora: 1 — settlements, 2 — coastal outcrops

расчленения четвертичных отложений, важнейшими из которых являются структурно-геологические данные, литологические особенности морен, ориентировка удлиненных обломков пород в них и их петрографический состав.

Широко распространенные на исследуемой территории среднечетвертичные морены принимают заметное участие в строении разреза четвертичных отложений. Но среди исследователей по-прежнему нет единого мнения по вопросу количества ледниковых горизонтов в среднем неоплейстоцене и сопоставимости днепровского оледенения с печорским, а московского с вычегодским. Наряду с достаточно обоснованной концепцией о самостоятельности двух среднечетвертичных оледенений: печорского (днепровского) и вычегодского (московского) (Андреичева и др., 1997, 2017; Андреичева, Судакова, 2014) — развиваются представления о том, что московское оледенение было лишь одной из стадий убывания днепровского оледенения (Шик, 2010, 2014; и др.). Имеющиеся у нас и согласующиеся между собой литостратиграфические, био-стратиграфические и геохронологические данные однозначно свидетельствуют о наличии двух самостоятельных среднечетвертичных оледенений на Европейском Северо-Востоке России. В стратиграфической последовательности в среднем неоплейстоцене выделяются следующие горизонты: межледниковый чирвинский (лихвинский), ледниковый печорский (днепровский), межледниковый родионовский (шкловский) и ледниковый вычегодский (московский).

Объекты и методы исследований

Наиболее подходящими объектами для литологической корреляции являются морены, представляющие собой регионально выдержанные геологические тела. Каждый среднечетвертичный моренный горизонт обладает индивидуальными литологическими характеристиками, сформированными за счет тер-

ригенного материала питающих провинций разных классов: удаленных, транзитных и местных, которые используются в качестве литостратиграфических критериев их расчленения. Наиболее выдержанные критерии — петрографический состав крупнообломочного материала, руководящие валуны и ориентировка удлиненных обломков, указывающие местоположение питающих ледниковых провинций в различные эпохи неоплейстоцена. Закономерная провинциальная изменчивость петрографического и минерального состава разновозрастных горизонтов морен может рассматриваться в качестве диагностического признака как при стратиграфическом расчленении, так и при площадной корреляции ледниковых горизонтов (Андреичева и др., 2015).

Северо-восток европейской части России в печорское время — в эпоху максимального для среднего неоплейстоцена оледенения — перекрывался ледниками Пай-Хой-Новоземельского (Лавров, 1973; Яковлева, 1976; Лавров, Потапенко, 2005; Андреичева, 1992, 2002) и в меньшей степени Полярноуральского (Кузнецова, 1971) центров. Во время образования вычегодской морены «постмаксимального» оледенения регион был ареной развития ледника Фенноскандинавской питающей ледниковой провинции.

Разновозрастные морены характеризуются литологическими различиями, что предопределяется их формированием за счет терригенного материала разных питающих провинций. Это позволяет рассматривать выявленные различия в качестве литостратиграфических критериев и использовать их при расчленении и корреляции разрезов. Но по причине площадной изменчивости вещественного состава морен и сложности его интерпретации правомерность пространственных корреляций нередко представляется сомнительной. Для понимания закономерностей формирования вещественного состава ледниковых отложений как единой литосистемы, а также его территориальной изменчивости Н. Г. Судакова (1990) предложила проводить ли-

Рис. 2. Литорайоны Европейского Севера России: 1, 2 — границы ледоразделов: 1 — первого порядка, 2 — второго порядка; 3 — границы литорайонов; 4 — граница вычегодского оледенения; 5 — предполагаемая зона сочленения вычегодских ледников; 6 — номер литосектора: I — Беломорский, II — Поморский; 7 — номера литорайонов: 1 — Архангельский, 2 — Онего-Северодвинский, 3 — Вага-Северодвинский, 4 — Устьянско-Северодвинский, 5 — Сухоно-Вычегодский, 6 — Яренгский, 7 — Верхневиледьский, 8 — Беломорско-Зимнебережный, 9 — Верхнесоаянский, 10 — Кулойский, 11 — Вашка-Мезенский, 12 — Чеша-Верхнемезенский, 13 — Канинский, 14 — Пеша-Северотиманский, 15 — Среднетиманский, 16 — Южнотиманский, 17 — Верхневычегодский, 18 — Цильма-Северотиманский, 19 — Восточно-Тиманский, 20 — Верхнесойминский, 21 — Сулинский, 22 — Лая-Шапкинский, 23 — Печоро-Ижемский, 24 — Нижнепечорско-Лайский, 25 — Морейский, 26 — Коротайхинский, 27 — Нерцета-Харутинский, 28 — Косью-Роговской, 29 — Сынинский, 30 — Шугорский, 31 — Лемьюский, 32 — Печоро-Илычский

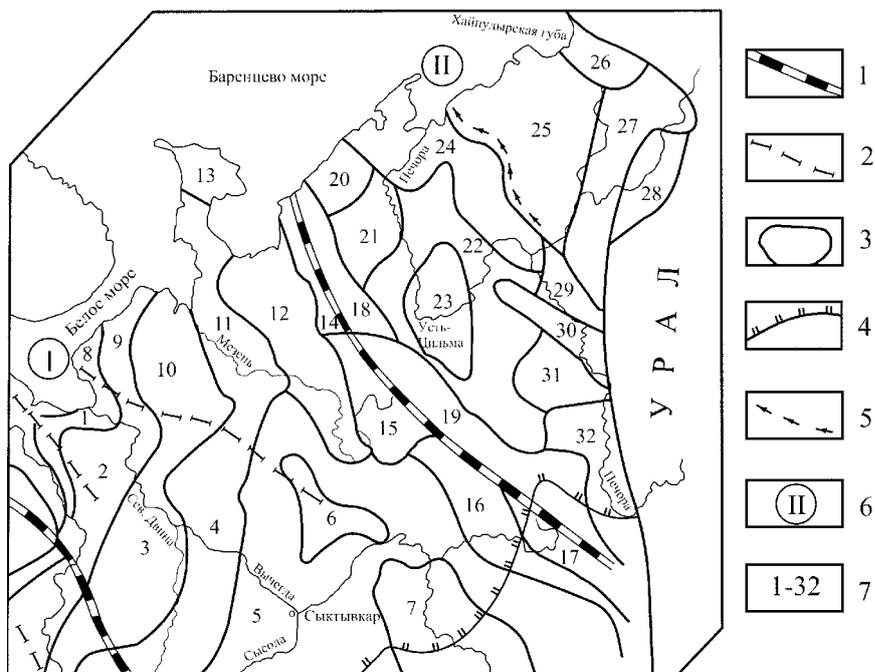


Fig. 2. Lithoregions of the European North of Russia: 1–2 — boundaries of ice divides: 1 — first order, 2 — second order; 3 — boundaries of lithoregions; 4 — boundary of the Vychegda glaciation; 5 — proposed junction zone of the Vychegda glaciers; 6 — lithosector number: I — Belomor, II — Pomor; 7 — numbers of lithoregions: 1 — Arkhangelsk, 2 — Onega-Severodvinsk, 3 — Vaga-Severodvinsk, 4 — Ustyansko-Severodvinsk, 5 — Sukhona-Vychegda, 6 — Yarenga, 7 — Upper Viled, 8 — Belomor-Zimneberezhny, 9 — Upper Soya, 10 — Kuloi, 11 — Vashka-Mezen, 12 — Chesha-Upper Mezen, 13 — Kanin, 14 — Pesh-North Timan, 15 — Middle Timan, 16 — South Timan, 17 — Upper Vychegda, 18 — Tsilma-North Timan, 19 — East Timan, 20 — Upper Soyma, 21 — Sula, 22 — Laya-Shapkina, 23 — Pechora-Izhma, 24 — Lower Pechora-Laya, 25 — Moreyu, 26 — Korotaikha, 27 — Nerzeta-Kharuta, 28 — Kosyu-Rogovaya, 29 — Synya, 30 — Shchugor, 31 — Lemyu, 32 — Pechora-Ilych

Fig. 2. Lithoregions of the European North of Russia: 1–2 — boundaries of ice divides: 1 — first order, 2 — second order; 3 — boundaries of lithoregions; 4 — boundary of the Vychegda glaciation; 5 — proposed junction zone of the Vychegda glaciers; 6 — lithosector number: I — Belomor, II — Pomor; 7 — numbers of lithoregions: 1 — Arkhangelsk, 2 — Onega-Severodvinsk, 3 — Vaga-Severodvinsk, 4 — Ustyansko-Severodvinsk, 5 — Sukhona-Vychegda, 6 — Yarenga, 7 — Upper Viled, 8 — Belomor-Zimneberezhny, 9 — Upper Soya, 10 — Kuloi, 11 — Vashka-Mezen, 12 — Chesha-Upper Mezen, 13 — Kanin, 14 — Pesh-North Timan, 15 — Middle Timan, 16 — South Timan, 17 — Upper Vychegda, 18 — Tsilma-North Timan, 19 — East Timan, 20 — Upper Soyma, 21 — Sula, 22 — Laya-Shapkina, 23 — Pechora-Izhma, 24 — Lower Pechora-Laya, 25 — Moreyu, 26 — Korotaikha, 27 — Nerzeta-Kharuta, 28 — Kosyu-Rogovaya, 29 — Synya, 30 — Shchugor, 31 — Lemyu, 32 — Pechora-Ilych

толого-палеогеографическое районирование территории исследований с выделением литосекторов, литоморфоструктур, литопровинций и литорайонов по типу ледникового питания. Такое районирование выполнено автором на Европейском Северо-Востоке России (рис. 2), что позволяет достаточно корректно определять стратиграфическую приуроченность морен, коррелировать моренные горизонты в рамках литорайонов и проводить межрегиональные сопоставления. Литорайон — элементарная единица литолого-палеогеографического районирования, обособленная по признаку ледникового питания, где корреляция морен по составу осуществляется беспрепятственно в любом направлении в силу устанавливаемого сходства факторов литогенеза (Андреичева и др., 1997). В ряде случаев границы между отдельными литорайонами накладываются на границы ледоразделов (рис. 2).

Обсуждение результатов исследований

На правом берегу нижней Печоры между деревнями Гаревое и Сергеево-Щелья тянется серия высоких береговых обнажений, в которых выступают отложе-

ния от нижнего до верхнего неоплейстоцена (рис. 1). Эти разрезы: обн. 246 в овраге у дер. Гаревое ($N65^{\circ}25'49''$, $E52^{\circ}21'55''$), обн. 248 у дер. Гаревое ($N65^{\circ}25'37''$, $E52^{\circ}19'09''$), обн. 250 у пос. Журавского ($N65^{\circ}25'25''$, $E52^{\circ}17'04''$), обн. 251 у дер. Карпушевка ($N65^{\circ}25'14''$, $E52^{\circ}14'22''$), обн. 252 у дер. Чукчино ($N65^{\circ}25'18''$, $E52^{\circ}11'14''$) и обн. 256 у дер. Сергеево-Щелья ($N65^{\circ}30'06''$, $E52^{\circ}08'45''$) — были изучены автором, как отмечалось выше, еще в 1971–1973 годах. Результаты биостратиграфических исследований межморенных отложений приведены в фондовом отчете¹. Абсолютная отметка уреза воды в Печоре в местах выхода указанных береговых обнажений не превышает 15 м. Ниже приводится краткая характеристика сводного разреза отложений квартала на этом участке долины нижней Печоры.

Помусовский (окский) нижнеоплейстоценовый ледниковый горизонт (I_3pm), сформированный во время восьмой ступени нижнего звена (Стратиграфический кодекс, 2019), сложен валунным суглинком — мореной. Вскрыт в основании разреза неоплейстоцена на небольшом двухкилометровом отрезке правого берега р. Печоры между дер. Карпушевка (обн. 251) и пос. Журавский (обн. 250). Здесь размытая кровля валунных суглинков

¹ Стратиграфия плейстоценовых отложений бассейна нижней Печоры: Окончательный научный отчет (в двух томах). Сыктывкар, 1975 г. / Б. И. Гуслицер, Э. И. Лосева, Л. Т. Кыштымова, К. И. Исайчев, Д. А. Дурягина, Л. Н. Андреичева, В. Н. Маслов.

¹ Stratigraphy of Pleistocene deposits of the lower Pechora basin: Final scientific report (in two volumes). Syktyvkar, 1975, B. I. Guslitser, E. I. Loseva, L. T. Kyshtymova, K. I. Isaichev, D. A. Duryagina, L. N. Andreicheva, V. N. Maslov.



поднимается до высоты 12—15 м над урезом межени р. Печоры. Наиболее интересный и полный разрез четвертичных отложений изучен в обн. 250, расположенном чуть ниже по течению пос. Журавского. Обнажение протяженностью 120 м и высотой до 50 м частично закрыто крупными оползнями. В основании разреза выступают темно- и буровато-серые очень плотные неслоистые суглинки, разбитые сетью беспорядочных трещин и содержащие в небольшом количестве включения мелких валунов. В обн. 251 в нижней морене прослеживается серия чешуйчатых надвигов, по которым в морену были вовлечены сильно ожелезненные пески и гравий из подстилающих отложений.

Грубообломочный материал самой различной формы и размеров из нижней морены в обн. 250 представлен в основном слабоокатанными обломками пород. В группе карбонатов, составляющих около половины всех обломков — 48 %, преобладают белые и серые известняки; на долю песчаников, алевролитов и аргиллитов мезозоя приходится около 31 %. Количество кремнистых пород не превышает 10 %, а кварцитопесчаников и кристаллических пород содержится поровну — по 5 %. Особенностью петрографического спектра этой морены является присутствие обломков пород северо-западного сноса: нефелиновых сиенитов, гранитов, гранитогнейсов, а также обломков северо-тиманских базальтов с агатами. Замеры ориентировки удлиненных осей обломков пород показали преимущественное направление с северо-северо-запада на юго-юго-восток в секторе 300—360°. Аналогичный петрографический состав имеют обломки в нижней морене обн. 251.

Выход тяжелой фракции (ВТФ) этой морены составляет 0.4 %. Состав тяжелой фракции морены представлен амфибол(10 %)-лимонит(13 %)-гранат(15 %)-эпидотовой(41 %) минеральной ассоциацией. Концентрация минералов, объединенных в группу титановых (рутил, титанит, лейкоксен), составляет 6 %, метаморфических (кианит, ставролит, силлиманит) — 3 %. Пирит и сидерит представлены в подчиненном количестве (по 3 %), содержание ильменита также невелико — 4 %. Интересно отметить присутствие в пробах в знаковых содержаниях самородного серебра, наличие которого, по нашему мнению, подтверждает юго-восточное направление движения помусовского покровного ледника. А в морену серебро поступало, очевидно, из месторождения цветных металлов — меди, золота и серебра, находящегося в 70—80 км к северо-западу от с. Усть-Цильма и известного еще со времен Ивана Грозного. Положение моренной толщи в разрезе, ее минералого-петрографические особенности и ориентировка обломочного материала дают основание предполагать, что сформирована она была за счет транспортировки терригенного материала из Фенноскандинавии и Северного Тимана в раннем неоплейстоцене помусовским покровным ледником.

Чирвинский (лихвинский) межледниковый горизонт (II₁₋₃с) с размывом перекрывает помусовскую морену. Представлен неслоистыми и горизонтально-слоистыми светло-серыми песками и алевритами с прослоями торфа чирвинского возраста. В основании лежит базальный горизонт крупногалечного ожелезненного руслового аллювия, его пристрежневой фации. Верхняя часть аллювиальной пачки представле-

на осадками прирусловой отмели, поймы и озера. Мощность осадков составляет 13—16 м, кровля горизонта прослеживается на высоте 26 м над урезом реки. В подавляющем большинстве случаев кровля и подошва чирвинских отложений скрыты под урезом р. Печоры. Чирвинский межледниковый горизонт представлен преимущественно русловой и пойменной фациями аллювия, сложенными горизонтально-слоистыми алевритами и песками с простоями торфа, реже — гравия и галечников. В обн. 252 — Чукчино, в 8.5 км ниже дер. Гарево, в приустьевой части руч. Гаревского выступает погребенный торфяник, смятый в крупную складку, верхняя часть которой срезана печорским ледником. Мощность торфяного пласта достигает 1.2 м. Спорово-пыльцевой анализ торфа и перекрывающих его плохо сортированных серых глинистых алевритов, позволивший определить состав растительности во время межледниковья, проведен А. В. Аникиенко и Д. А. Дурягиной. Т. Д. Колесниковой изучены карпологические остатки, современный ареал которых располагается южнее и юго-западнее территории Республики Коми. Присутствие пыльцы лещины и эндокарпий теплолюбивых рдестов (включая рдест красноватый), характерных для лихвинских флор, свидетельствует о климатических условиях межледниковья, более теплых, чем современные. Торфяники чирвинского возраста, чаще всего перемятые печорским ледником, были изучены и в обн. 246. На этой толще аллювиальных, озерных и озерно-болотных отложений с четким контактом лежит еще одна морена.

Печорский ледниковый горизонт (II₄рс) в береговых обнажениях рассматриваемого участка нижней Печоры выступает почти повсеместно, поднимаясь размытой кровлей до высоты 34 м. Подошва его располагается в основном в пределах 28—14 м над рекой на сильно нарушенных печорским ледником межморенных чирвинских осадках, разбитых системой трещин на блоки, сдвинутые относительно друг друга (рис. 3). Иногда подошва печорской морены уходит под урез реки (обн. 256).

В обн. 250 морена сложена плотным темно-серым слабосортированным неслоистым валунным суглинком с гнездами песков и алевритов, с галькой и валунами, с мелкими фрагментами раковин моллюсков и разложившимися конкрециями пирита. Мощность морены около 8 м. Содержание валунов в морене незначительно: в обн. 246 составляет 1.2 % в нижней и 0.70 % в верхней части суглинка, в обн. 248 — 0.52 %, в обн. 250 — 0.33 %. Преобладают валуны размером 10—30 см.

В петрографическом составе обломочного материала доминируют мезозойские песчаники, алевролиты и аргиллиты — 40 %. На карбонатные породы приходится 34 %, при этом темно-серые и черные известняки и доломиты преобладают, составляя две трети обломков карбонатов. Доля кварцитопесчаников и кварцитов темно-серой окраски невелика — 13 %. Около 6 % приходится на конкреции пирита и сидерита, и лишь около 2.5 % составляют серые граниты, глинисто-углистые и глинисто-известковистые сланцы. Удлиненные обломки пород ориентированы в секторе СВ 30—70°.

ВТФ морены составляет 0.51 %, минеральная ассоциация — сидерит(10 %)-гранат(20 %)-эпидотовая(28 %), с содержанием пирита (8 %), ильменита и амфиболов

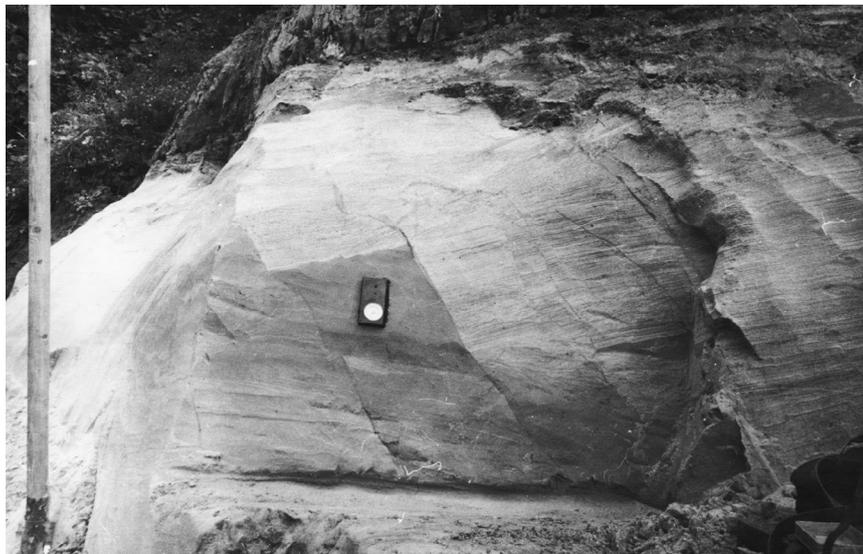


Рис. 3. Нижний контакт печорской массивной морены в обн. 250. Под мореной — перетертые отложения гравия с галькой, ниже — дислоцированные пески чирвинского горизонта. Фото Б. И. Гуслицера

Fig. 3. Lower contact of the Pechora massive moraine in the outcrop 250. The moraine is underlain by ground deposits of gravel with pebbles, dislocated sands of the Chirva horizon are below. Photo by B. I. Guslitsier

(по 7 %). На группу титановых минералов приходится 7 %, на группу метаморфических минералов — 4 %.

В обн. 256 Сергеево-Щелья высотой 47 м печорская морена видимой мощностью 10 м лежит в основании разреза под мощной пачкой (21 м) межледниковых песков и алевритов, представленных прибрежно-морскими осадками литорали с многочисленными обломками и раковинами морских моллюсков. Эти отложения перекрыты 16-метровой толщиной валунного суглинка. Морена представлена темно-серым плотным слабосортированным неслоистым песчано-глинистым алевритом либо супесью с крупнообломочным материалом, с обломками мелкой ракушки, с разложившимися конкрециями пирита. Толща морены содержит включения и гнезда различной формы песка — от мелкозернистого до крупнозернистого — и гравия.

Петрографический состав обогащен осадочными породами: известняков и доломитов содержится 30.5 %, доминируют темноокрашенные разности. Песчаники известковистые и крепкие полимиктовые составляют 27.7 %, доля темно-серых и черных алевролитов и аргиллитов меньше — 18.3 %. На метаморфические породы, представленные различными сланцами, кварцито-песчаники и кварциты приходится 15.3 %, кислые эффузивы, лавобрекчии и обломки кварца составляют 4.6 %, кремнистые породы — 4 %. Удлиненные обломки пород ориентированы преимущественно с севера на юг.

ВТФ этой морены в обн. 256 составляет 0.43 %. Доминирующими минералами тяжелой фракции являются эпидот (27.9 %) и гранаты (19.9 %). Содержания пирита и сидерита составляют соответственно 8.1 и 9.6 %, титановые минералы — 7.3 %, метаморфические — 3.6 %. Концентрации ильменита и амфиболов практически равны: 6.9 и 6.6 %.

Значительное содержание в морене обломков темно-серых известняков, по-видимому, пай-хой-новоземельского происхождения, меловых песчаников, наличие сидеритовых и пиритовых конкреций, широко распространенных в меловых породах, а также ростров юрских и меловых белемнитов и крайне незначительное содержание обломков кристаллических и метаморфических пород — все это свидетельствует о том, что основная масса обломочного материала принесена не с запада (Тимана) и не с востока (Урала), а, вероятнее всего, с севера, из Большеземельской тундры —

области развития мезозойских образований — и с Пай-Хоя и Новой Земли — области осадочных пород палеозоя. Литологические и текстурные особенности второй снизу морены и сопоставление полученных данных с аналогичными данными по другим районам Тимано-Печоро-Вычегодского региона подтверждают ее формирование в печорскую (днепровскую) ледниковую эпоху среднего неоплейстоцена за счет материала Пай-Хой-Новоземельского центра оледенения (Андреичева и др., 2015; Андреичева, 2022).

Родионовскому (шкловскому) межледниковому горизонту (П_{5r}), выступающему в береговых обнажениях между деревнями Гаревое и Сергеево-Щелья, отвечает довольно мощная (до 21 м) толща, сложенная песками, гравием и галечниками, реже глинами. Обычно родионовские осадки с размывом залегают на печорской морене и представлены аллювиальными, озерными и прибрежно-морскими отложениями — литоральными песками с раковинами моллюсков.

В обн. 246, непосредственно выше дер. Гаревое, под метровым слоем валунных песчано-глинистых алевритов (вычегодская морена) лежит почти 15-метровая пачка аллювия, представленная галечно-гравийно-песчаными отложениями. Нижняя часть этой толщи (около 3 м) формировалась, по-видимому, в условиях слабoproточного мелкого озера в родионовское время.

Анализ тяжелой фракции этих отложений показал следующий состав тяжелых минералов: преобладает ильменит, составляя 35.4 %, что, возможно, связано с концентрацией его в озерных алевритах из нижней части межморенной толщи. Гранатов содержится 19.8 %, эпидота — 12.2 %, высоки содержания титановых минералов — 18.1 % и циркона — 7.2 %, 3.3 % приходится на хромшпинелид.

В обн. 250 на печорской морене с размывом залегают 3-метровая пачка переслаивающихся песков, в нижней части наблюдаются линзы вишнево-красного грубозернистого песка с примесью гальки и углистых включений с крупной косою однонаправленной и косоволнистой слоистостью. Выше лежат пески мелкозернистые, с мелкой косою и волнистой слоистостью и темно-серые алевриты с пологой и косоволнистой слоистостью. Толща представляет собой русловой аллювий, сформированный, вероятно, в родионовское (шкловское) время.



Рис. 4. Флювиогляциальные пески в обн. 250 с включениями блоков («валунов») морены, переотложенной, вероятно, в мерзлом виде плавучими льдами. Фото Б. И. Гуслицера

Fig. 4. Fluvioglacial sands in the outcrop 250 with inclusions of blocks (“boulders”) of moraine, redeposited, probably in frozen form, by floating ice. Photo by B. I. Guslitsier

В обн. 252 отложения родионовского межледникового мощностью около 12 м в верхних 3 м представлены аллювием, в котором отчетливо выделяются русловая и пойменная фации. Г. Н. Бердовской и Д. А. Дурягиной в осадках этого межледникового были изучены палинологические остатки. В горизонтально-слоистых песках и супесях поймы установлено доминирование спор папоротников и зеленых мхов — 60—70 %. Пыльца древесных растений составляет 20—29 %, преобладает пыльца сосны (до 66 %). Остальная пыльца из группы древесных приходится на ель и березу. Состав спорово-пыльцевого спектра (СПС) указывает на некоторое похолодание и существенную сухость климата во время формирования этих песков по сравнению со значительно более теплыми климатическими условиями образования лежащих ниже голубовато-серых озерных глин. Здесь в СПС преобладает пыльца древесных пород (33—64 %), среди которых доминирует пыльца ели (до 65 %), присутствует пыльца сосны (10.2—23.7 %), березы (до 40 %), ольхи, ольховника, дуба (в отдельных образцах до 3 %), лещины (до 3 %), вяза (до 1 %). Довольно значительная примесь широколиственных пород в составе СПС свидетельствует о климате межледникового — более теплом, чем современный. Нижние 9 м сложены прибрежно-морскими горизонтально-, косо- и перекрестно-слоисты-

ми песками и галечниками с большим количеством битой толстостенной ракушки. Прибрежно-морские осадки мощностью более 5 м перекрывают печорскую морену и в обн. 251 Карпушевка.

В обн. 256 Сергеево-Щелья пачка родионовских отложений мощностью 21 м, представленная, скорее всего, осадками литорали морского бассейна, перекрывает печорскую морену. Толща сложена прибрежно-морскими ожелезненными галечниками, переслаивающимися в разрезе с песками разномеристыми, в том числе с алевритовыми, и алевритами глинистыми с горизонтальной, косоволнистой и перекрестной слоистостью, подчеркнутой глинистым материалом и ожелезнением. Наблюдаются включения окатанных и угловатых обломков раковин моллюсков. И. И. Харкович определены моллюски *Saxicava arctica* L., *Cyprina islandica* L., *Astarte* sp. Indet., целые раковины не встречены.

Вычегодский ледниковый горизонт (П₆вс), широко развитый в обнажениях правого берега Печоры, представлен в основном мореной — плотными неслоистыми темно-серыми с коричневым оттенком валунными суглинками, содержащими большое количество обломочного материала. Реже наблюдаются выходы флювиогляциальных отложений с включениями блоков морены и песка. Обычно морена слагает самые верхи видимой части разреза. Нижний контакт морены — резкий экзарационный. В верхних частях подстилающих морену отложений наблюдаются разрывные нарушения и смятия, но масштаб этих гляциодислокаций меньше, чем под печорской мореной.

В обн. 250 над родионовскими отложениями располагается еще один моренный горизонт мощностью до 7 м, сложенный в основном плотными неслоистыми темно-серыми с буроватым оттенком валунными суглинками с большим количеством обломочного материала. В одной из расчисток морена подстилается флювиогляциальными отложениями с включениями песка и морены в форме валунов (рис. 4).

Состав крупнообломочного материала верхней морены наполовину представлен карбонатными породами — 50 %, светлоокрашенные карбонаты в этой группе доминируют, составляя 32 %. Содержание обломков местных пород — юрских и нижнемеловых песчаников, алевролитов, аргиллитов — не превышает 20 %, полимиктовые песчаники, гравелиты и кремни, являющиеся породами транзита, составляют 17 %. На долю дальнепринесенных метаморфических и магматических пород, представленных кварцитами, различными сланцами, амфиболитами, кислыми эффузивами, лавобрекчиями, тиманскими базальтами, приходится 20 %. Удлиненные обломки пород ориентированы с северо-запада на юго-восток.

Для этой морены с ВТФ, равным 0.48 %, характерна амфибол(11 %)-сидерит(12 %)-гранат(14 %)-эпидотовая(35 %) минеральная ассоциация с содержанием пирита 6 %. Группа титановых минералов составляет 6 %, группа метаморфических минералов — 4 %.

В обн. 256 Сергеево-Щелья вычегодская морена слагает верхние 16 м разреза. Представлена она плотным неслоистым валунным суглинком, местами супесью темно-серого цвета с буроватым оттенком. Содержит включения обломков пород, мелкие гнезда мелкозернистого желтовато-бурого песка и обломки тонкостенной ракушки.

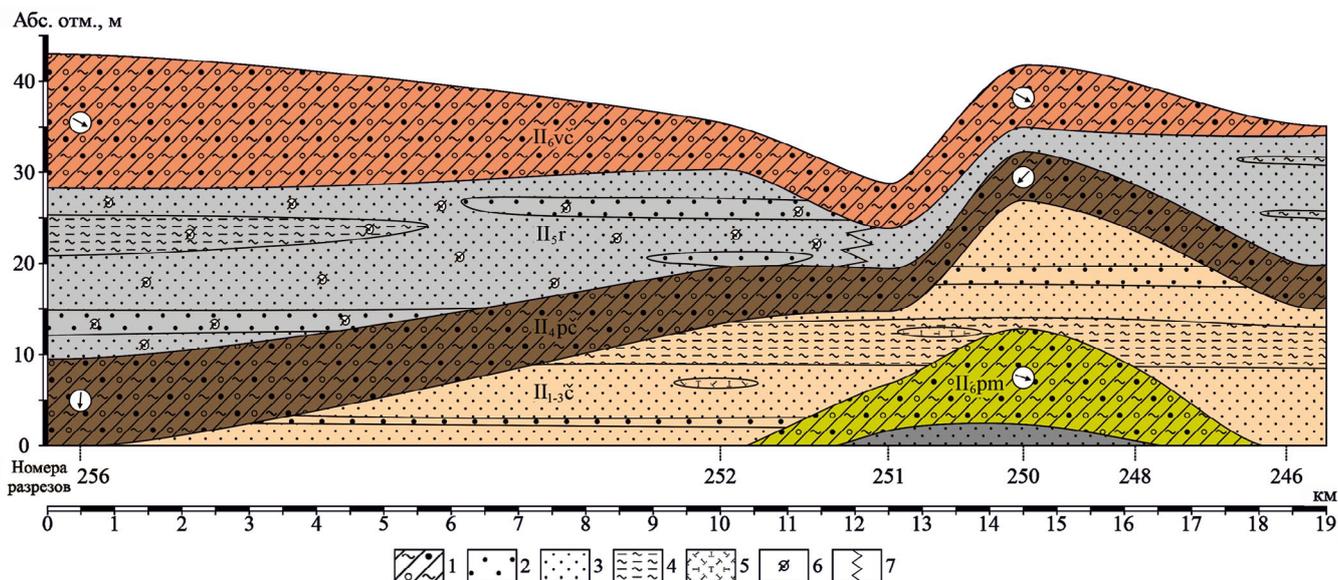


Рис. 5. Схематический геологический профиль неоплейстоценовых отложений правобережья нижней Печоры между дер. Гаревое и Сергеево Щелья. Стрелками показана ориентировка удлиненных обломков пород в моренных толщах; 1 — морена; 2 — гравий; 3 — песок; 4 — глинисто-алевритовые отложения; 5 — торф; 6 — обломки раковин морских моллюсков; 7 — фациальное замещение

Fig. 5. Schematic geological profile of Neopleistocene deposits on the right bank of the lower Pechora between the villages Garevo and Sergeevo Shchelya. Arrows show orientation of elongated rock fragments in moraine strata; 1 — moraine; 2 — gravel; 3 — sand; 4 — argillaceous-aleurolite deposits; 5 — peat; 6 — fragments of shells of marine mollusks; 7 — facies replacement

В составе крупнообломочного материала из морены доля карбонатных пород составляет 32 %, из них 20 % приходится на светлоокрашенные разновидности известняков. Количество обломков местных терригенных пород мезозоя составляет 22 %, еще меньше количество транзитных пород: пермских и триасовых гравелитов и полимиктовых песчаников, а также кремнистых пород — 15 %. Встречаются единичные обломки белемнитов. Содержание же дальнепринесенных магматических и метаморфических пород здесь значительно и составляет 28 % от числа всех обломков пород из морены. Они представлены амфиболитами, гранитами, в том числе рапакиви, гнейсами, базальтами, часто с агатами, что с учетом направления ориентировки обломков пород в секторе 310—320° свидетельствует о поступлении терригенного материала для формирования морены со стороны Фенноскандинавии — Северного Тимана в конце среднего неоплейстоцена в вычегодское (московское) время.

ВТФ морены составляет 0.51 %, для нее характерна пирит(12 %)-сидерит(14 %)-гранат(14 %)-амфибол(15 %)-эпидотовая(27 %) минеральная ассоциация с содержанием титановых (7.3 %) и метаморфических (4.7 %) минералов.

Заключение

Таким образом, на изученном 19-километровом отрезке долины нижней Печоры установлено геологическое строение отложений неоплейстоцена и их стратиграфическая приуроченность (рис. 5). В береговых обнажениях выявлено наличие трех ледниковых и двух межледниковых горизонтов. Основание вскрытого здесь разреза слагает нижнеоплейстоценовый помусовский моренный горизонт, формирование которого связано с Северо-Западной питающей терриген-

но-минералогической провинцией, о чем свидетельствуют как петрографо-минералогические особенности морены, так и ориентировка удлиненных обломков пород. На морене с размывом залегают аллювиальные и озерные отложения чирвинского межледникового горизонта. На чирвинский возраст осадков и климатические условия межледниковья, более теплые, чем современные, указывают содержащиеся в них палинологические и карпологические остатки.

Выше вскрываются отложения среднего неоплейстоцена, представленные двумя моренными горизонтами: печорским и вычегодским, разделенными пачкой преимущественно прибрежно-морских осадков литорали с обломками и раковинами морских моллюсков, а также аллювиальными и озерными отложениями, возраст которых палинологическим методом определен как родионовский. Как и в других районах Тимано-Печоро-Вычегодского региона, формирование печорской морены здесь связано с Северо-Восточной питающей ледниковой провинцией — Пай-Хой-Новоземельско-Уральским центром оледенения. Литологические особенности вычегодской морены свидетельствуют о поступлении терригенного материала для ее образования со стороны Фенноскандинавии и Северного Тимана. Подтверждено двукратное оледенение правобережья нижней Печоры в среднем неоплейстоцене, на что указывают различия в литологическом составе печорской и вычегодской морен. Отложения верхнего неоплейстоцена в обнажениях правого берега изученного отрезка нижней Печоры между деревнями Гаревое и Сергеево-Щелья нами достоверно не установлены.

Исследования выполнены в рамках темы НИР «Эволюция биоты и среды ее обитания как основы расчленения и геологической корреляции осадочного чехла Печорской плиты и ее складчатого обрамления» ГР №122040600008-5.



Литература / Reference

- Андреичева Л. Н., Немцова Г. М., Судакова Н. Г. Среднеплейстоценовые морены севера и центра Русской равнины. Екатеринбург, 1997. 83 с.
Andreicheva L. N., Nemtsova G. M., Sudakova N. G. Middle Pleistocene moraines of the north and center of the Russian Plain. Yekaterinburg, 1997, 83 p. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Судакова Н. Г. Оценка надёжности межрегиональной корреляции среднеплейстоценовых ледниковых горизонтов в центре и на севере Русской равнины // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2014. № 2 (18). С. 55–67.
Andreicheva L. N., Sudakova N. G. Assessing the reliability of interregional correlation of Middle Neopleistocene glacial horizons in the center and north of the Russian Plain. Proc. of the Komi SC UB RAS. 2014, No. 2 (18), pp. 55–67. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Карпукхин С. С., Судакова Н. Г. Диагностика и межрегиональная корреляция среднеплейстоценовых ледниковых горизонтов центра и северо-востока Русской равнины // Бюллетень по изучению четвертичного периода. 2017. № 75. С. 81–99.
Andreicheva L. N., Karpukhin S. S., Sudakova N. G. Diagnostics and interregional correlation of the Middle Pleistocene glacial horizons of the Center and North-East of the Russian Plain. Bulletin for the Study of the Quaternary Period. 2017, No. 75, pp. 81–99. (in Russian)
- Андреичева Л. Н., Марченко-Вагапова Т. И., Буравская М. Н., Голубева Ю. В. Природная среда неоплейстоцена и голоцена Европейского Северо-Востока России. М.: ГЕОС, 2015. 224 с.
Andreicheva L. N., Marchenko-Vagapova T. I., Buravskaya M. N., Golubeva Yu. V. Natural environment of the Neopleistocene and Holocene of the European North-East of Russia. Moscow: GEOS, 2015, 224 p. (in Russian)
- Андреичева Л. Н. Основные морены Европейского Северо-Востока России и их литостратиграфическое значение. СПб.: Наука, 1992. 125 с.
Andreicheva L. N. The main moraines of the European North-East of Russia and their lithostratigraphic significance. St. Petersburg: Nauka, 1992, 125 p. (in Russian)
- Андреичева Л. Н. Плейстоцен Европейского Северо-Востока. Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 323 с.
Andreicheva L. N. Pleistocene of the European Northeast. Ekaterinburg: UB RAS, 2002, 323 p. (in Russian)
- Андреичева Л. Н. Формирование минерального состава неоплейстоценовых основных морен в Субарктике Европейской России // Литология и полезные ископаемые. 2022. № 4. С. 399–414.
Andreicheva L. N. Formation of the mineral composition of Neopleistocene basic moraines in the Subarctic of European Russia. Lithology and minerals, 2022, No. 4, pp. 399–414. (in Russian)
- Кузнецова Л. А. Плейстоцен Печорского Приуралья. Казань, 1971. 122 с.
Kuznetsova L. A. Pleistocene of the Pechora Urals. Kazan, 1971, 122 p. (in Russian)
- Лавров А. С. Древние оледенения северо-востока Русской равнины // Изв. АН СССР. 1973. № 6. С. 29–38. (Сер. геогр.).
Lavrov A. S. Ancient glaciations of the northeast of the Russian Plain. Proc. AS USSR, 1973, No. 6, pp. 29–38. (in Russian)
- Лавров А. С. Потепенко Л. М. Неоплейстоцен северо-востока Русской равнины. М., 2005. 222 с.
Lavrov A. S. Potapenko L. M. Neopleistocene of the northeast of the Russian Plain. Moscow, 2005, 222 p. (in Russian)
- Пономарев Д. В., Крюкова Н. В., Андреичева Л. Н., Пузаченко А. Ю., Воробьев Н. Н., Марченко-Вагапова Т. И., ван Кольфсхотен Т., ван Дер Плихт Й. Находка плейстоценового моржа (*Odobenus rosmarus* L., 1758) на севере Европейской России (р. Печора) // Палеонтологический журнал. 2023. № 6. С. 76–86.
Ponomarev D. V., Kryukova N. V., Andreicheva L. N., Puzachenko A. Yu., Vorobyov N. N., Marchenko-Vagapova T. I., van Kolfshoten T., van Der Plicht J. Finding a Pleistocene walrus (*Odobenus rosmarus* L., 1758) in the north of European Russia (Pechora River). Paleontological Journal, 2023, No. 6, pp. 76–86. (in Russian)
- Стратиграфический кодекс России / Под ред. А. И. Жамойды. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 92 с.
Stratigraphic Code of Russia. Ed. A. I. Zhamoydy. St. Petersburg: VSEGEI Publishing House, 2019, 92 p.
- Судакова Н. Г. Палеогеографические закономерности ледникового литогенеза. М.: Изд-во МГУ, 1990. 160 с.
Sudakova N. G. Paleogeographical patterns of glacial lithogenesis. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1990, 160 p. (in Russian)
- Шик С. М. О границах распространения ледников в центральной части Европейской России // Бюллетень по изучению четвертичного периода. 2010. № 70. С. 100–107.
Shik S. M. On the boundaries of the distribution of glaciers in the central part of European Russia. Bulletin on the study of the Quaternary period. 2010, No. 70, pp. 100–107. (in Russian)
- Шик С. М. Горизонты неоплейстоцена центра Европейской России: сопоставление со ступенями стратиграфической шкалы. Стратотипы и гипостратотипы // Бюллетень по изучению четвертичного периода. 2014. № 73. С. 52–62.
Shik S. M. Neopleistocene horizons of the Center of European Russia: comparison with the steps of the stratigraphic scale. Stratotypes and hypostatotypes. Bulletin on the study of the Quaternary period. 2014, No. 73, pp. 52–62. (in Russian)
- Яковлева С. В. Основные выводы о распространении оледенений на севере Русской равнины по данным изучения состава основных морен // Геоморфология и геология четвертичного периода севера европейской части СССР. Петрозаводск, 1976. С. 79–85.
Yakovleva S. V. Main conclusions about the distribution of glaciations in the north of the Russian Plain based on the study of the composition of the main moraines. Geomorphology and geology of the Quaternary period of the north of the European part of the USSR. Petrozavodsk, 1976, pp. 79–85. (in Russian)

Received / Поступила в редакцию 31.10.2023



Подземные воды среднеюрских отложений южных районов Республики Коми

Ю. А. Кокшарова, О. Е. Амосова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
yakoksharova@geo.komisc.ru, kramosova@geo.komisc.ru

Показаны особенности химического состава пресных подземных вод среднеюрского водоносного комплекса южных районов Республики Коми, являющегося основным источником питьевого водоснабжения. Подземные воды в основном приурочены к подошве сысольской свиты средней юры (J_{2ss}), сложенной кварцевыми песками, и распространены на глубинах от 13.7 до 119 м. Воды приурочены к зоне активного водообмена, к районам инфильтрации атмосферных осадков на территории с гумидным климатом, имеют гидрокарбонатно-кальциевый состав, околонейтальную среду, минерализацию до 0.58 г/дм³ и после предварительной водоподготовки (обезжелезивание, деманганация) могут использоваться в питьевых целях. На основании проведенных геохимических исследований и статистической обработки данных установлены основные закономерности распределения макро- и микрокомпонентов в подземных водах среднеюрских отложений, выявлены ведущие процессы формирования главных компонентов химического состава подземных вод – окисление, гидролиз, катионный обмен и восстановление сульфатов.

Ключевые слова: подземные воды, среднеюрский водоносный комплекс, водоснабжение, гидрохимический состав, корреляционный анализ, Республика Коми.

Groundwater of Middle Jurassic deposits of the southern regions of the Komi Republic

Yu. A. Koksharova, O. Ye. Amosova

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The features of the chemical composition of fresh groundwater of the Middle Jurassic aquifer complex in the southern regions of the Komi Republic, which is the main source of drinking water supply, are shown. Groundwater is mainly confined to the sole, composed of quartz sands, of the Sysol formation of the Middle Jurassic (J_{2ss}) and is distributed at depths from 13.7 to 119 m. The waters are confined to the zone of active water exchange, to the areas of infiltration of atmospheric precipitation in the territory with a humid climate. The waters have a bicarbonate-calcium composition, a near-neutral medium, mineralization up to 0.58 g/dm³ and after preliminary water treatment (degreasing, demanganation) can be used for drinking purposes. Based on the conducted geochemical studies and statistical data processing, the main patterns of the distribution of macro- and micro-components in the groundwater of the Middle Jurassic sediments have been established, the leading processes of formation of the main components of the chemical composition of groundwater – oxidation, hydrolysis, cation exchange and sulfate reduction – have been identified.

Keywords: groundwater, Middle Jurassic aquifer complex, water supply, hydrochemical composition, correlation analysis, Komi Republic.

Введение

Для питьевого водоснабжения населения Российской Федерации (РФ) используются поверхностные и подземные воды. По данным Росводресурсов (О состоянии и об охране..., 2023), забор пресной воды из природных водных объектов РФ для питьевого использования в 2022 г. составил 53 131.4 млн м³. За последние годы забор пресной воды из поверхностных источников сократился, а из подземных – увеличился. Так, забор пресной воды из подземных источников в 2021 г. составил 10 482.4 млн м³, в 2022 г. – 10 657.5 млн м³, увеличение составило 1.7 %. За период 2013–2022 гг. значение данного показателя возросло на 19.7 %. Предполагаем, что это связано с ухудшением общей экологической обстановки и чрезмерным загрязнением поверхностных водных объектов

и источников водоснабжения. Подземные воды (ПВ) являются как приоритетным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, так и единственным питьевым источником на период чрезвычайных ситуаций. Использование подземных вод позволяет обеспечивать население питьевой водой, соответствующей требованиям, изложенным в нормативных документах РФ (ГОСТ 2761-84..., 2006; СанПиН 1.2.3685-21..., 2021).

На территории РФ распространены различные гидрохимические области, где наблюдается природное несоответствие качества подземных вод нормируемым показателям для питьевых вод по таким компонентам, как железо, марганец, стронций, фтор, литий, кремний, бор и бром (О состоянии..., 2023). Поэтому в различных регионах РФ проводятся исследования, направленные на изучение гидрохимического состоя-

Для цитирования: Кокшарова Ю. А., Амосова О. Е. Подземные воды среднеюрских отложений южных районов Республики Коми // Вестник геонаук. 2024. 1 (349). С. 24–33. DOI: 10.19110/geov.2024.1.3

For citation: Koksharova Yu. A., Amosova O. Ye. Groundwater of Middle Jurassic deposits of the southern regions of the Komi Republic. Vestnik of Geosciences, 2024, 1 (349), pp. 24–33, doi: 10.19110/geov.2024.1.3



ния подземных вод (Лапицкая, Жильцова, 2019; Каюкова, 2020; Петрова, Сунгатуллин, 2021; Абдулмуталимова и др., 2023).

В южных районах Республики Коми (РК) подземные воды являются одним из основных источников питьевого водоснабжения населения. Исключение составляют Сыктывкар и некоторые населенные пункты на юге Прилузского района, где водоснабжение осуществляется за счет поверхностных вод. Пресные ПВ региона нередко характеризуются природным отклонением от регламентируемых норм (ГОСТ 2761-84..., 2006; СанПиН 1.2.3685-21..., 2021) по содержанию ряда компонентов: железа, марганца, реже — аммония, на единичных водозаборах — бора, а также по жесткости и перманганатной окисляемости, повышенным значениям мутности и цветности (О состоянии..., 2023).

В соответствии с общим гидрогеологическим районированием территории России (Карта..., 2011) южные районы РК (Сысольский, Сыктывдинский, Кой-

городский, Прилузский) располагаются в пределах Северо-Двинского, Камско-Вятского и Ветлужского артезианских бассейнов (АБ). Особенностью исследуемой территории является то, что зона пресных подземных вод здесь имеет малую мощность, охватывает подземные воды четвертичных и юрских отложений и развита до глубины 120 м. Основными водоносными горизонтами и комплексами, на которых базируется водоснабжение, являются: водоносный верхненеоплейстоценовый-голоценовый аллювиальный, озерно-аллювиальный горизонт (*a,laQIII-H*), водоносный чирвинский аллювиальный, озерно-аллювиальный горизонт (*a,laQIIcr*) и водоносный среднеюрский терригенный комплекс (*J₂*) (рис. 1) (Кокшарова, 2020). Подземные воды среднеюрского водоносного комплекса являются основным источником водоснабжения как наиболее защищенные от поверхностного загрязнения, но есть проблемы с качественным составом природных вод.

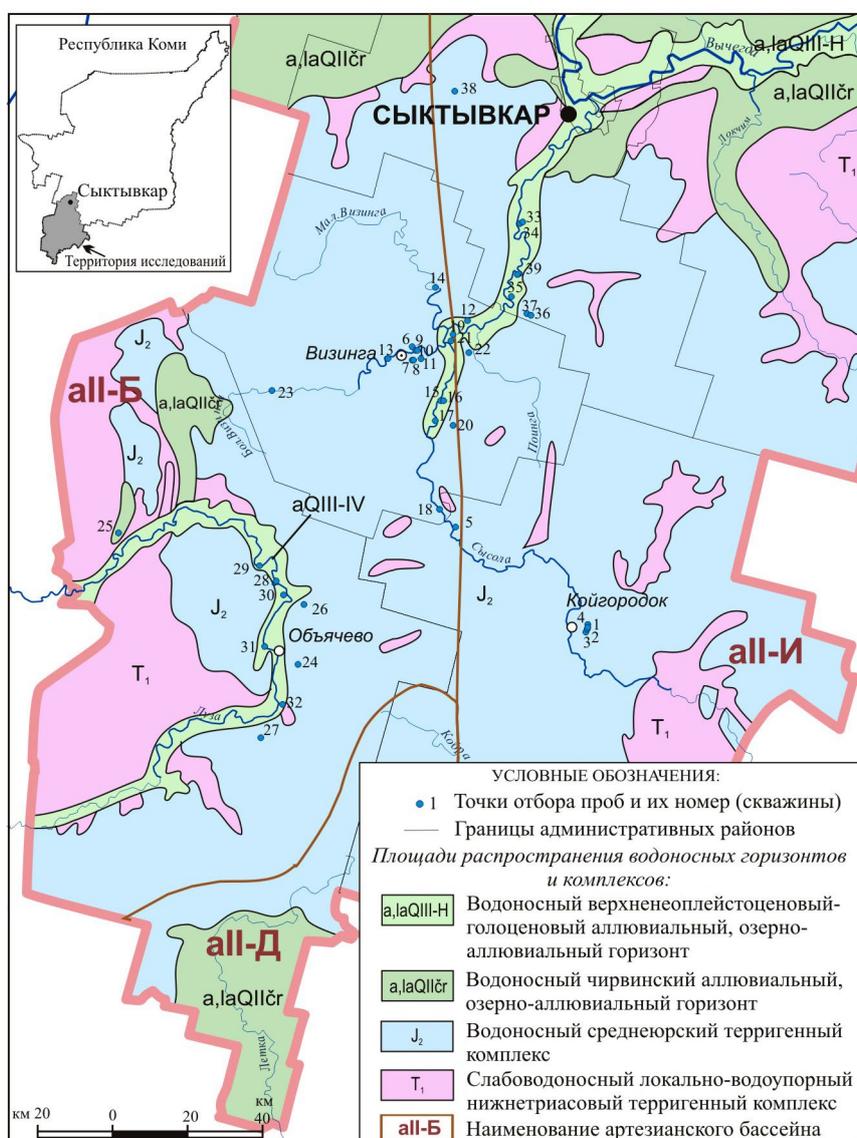


Рис. 1. Карта-схема гидрогеохимического опробования подземных вод среднеюрских отложений южных районов Республики Коми (составлена с использованием материалов Г. П. Огородниковой, 2011). Индекс и наименование артезианского бассейна: aII-Б — Северо-Двинский, aII-Д — Ветлужский, aII-И — Камско-Вятский

Fig. 1. A map of hydrogeochemical testing of groundwater of the Middle Jurassic deposits of the southern regions of the Komi Republic. (constituted using materials from G. P. Ogorodnikova, 2011). *Legend:* the index and the name of the artesian basin: aII-Б — North Dvinsky, aII-Д — Vetluzhsky, aII-И — Kamsko-Vyatsky



Пресные ПВ юрских отложений широко используются для питьевого водоснабжения и в других регионах Северо-Западного федерального округа РФ — в Архангельской и Вологодской областях, в Ненецком автономном округе (Государственный..., 2023).

Исследования, направленные на изучение гидрохимического состава пресных подземных вод среднеюрского водоносного комплекса, представляются весьма актуальными.

Цель данной работы заключается в изучении химического состава подземных вод среднеюрского водоносного комплекса южных районов Республики Коми, установлении основных пространственных закономерностей изменения химического состава, выявлении ведущих процессов формирования главных компонентов химического состава подземных вод с применением статистических методов обработки и анализа данных.

Объектом исследования являются подземные воды среднеюрских отложений южных районов Республики Коми.

Материалы и методы исследований

Исследования носили комплексный характер и включали полевые и лабораторные работы, обработку и анализ полученных данных.

В основу исследований легли отобранные в ходе экспедиционных работ в летний межень период 2021 г. на территории южных районов Республики Коми (Сысольский, Сыктывдинский, Койгородский и Прилузский районы) 35 проб подземных вод из эксплуатационных скважин хозяйственно-питьевого водоснабжения (рис. 1). Непосредственно на месте определялись температура (T) и pH при помощи прибора Combor H&EC (Hanna Instrument). Отбор проб воды производился по стандартным методикам. Объем водной пробы составлял один литр на общий анализ. Кроме того, отбирались пробы воды для последующего анализа методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) — вода, отфильтрованная через мембранный фильтр (0.45 мкм), помещалась в пластиковые пробирки (15 мл). Химический анализ вод выполнялся в аттестованной экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар). Определения компонентов осуществлялись общепринятыми методами: потенциометрическим (pH), гравиметрическим (сухой остаток), потенциометрическим титрованием (HCO_3^-), турбидиметрическим (SO_4), термодиметрическим окислением с бездисперсионной ИК — регистрацией с помощью анализатора ТОС (общий органический углерод). Для определения концентраций макро- и микроэлементов в воде использован метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700 (ISP-MS) в ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар).

Для описания геологических и гидрогеологических условий района исследований использовались паспортные данные 35 эксплуатационных скважин фонда АО «Коми тепловая компания» и фондовые материалы Коми республиканского фонда геологической информации ГБУ РК «ТФИ РК».

Для статистического анализа данных гидрогеохимических признаков в работе были использованы па-

раметры 35 точек отбора (табл. 1), в которых определены основные катионы и анионы (Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), компоненты (Fe, B, Sr, Mn, Si, Ba, Li, Al, P, Ti, Cr, V, Co, Ni, Cu, As, Rb, S, Se) и имеется информация по минерализации, pH, ТОС (общее содержание органического вещества) и гидрохимическим коэффициентам: k_1 — $(\text{CO}_3 + \text{HCO}_3)/(\text{Ca} + \text{Mg})$, k_2 — $(\text{Na} + \text{Mg})/\text{Ca}$, мощности и глубине опробования водоносного комплекса (в расчетах использовалась середина интервала между кровлей и подошвой). Расчет описательных статистик и корреляционный анализ проведены в программе Statistica 10.0. Для оценки вычисленных статистик использовался заданный критический уровень значимости 0.05.

Гидрогеологическая и геологическая изученность района исследований

В гидрогеологическом отношении территория РК, в том числе и южных районов, изучена крайне неравномерно. Специальную направленность гидрогеологические исследования стали приобретать в конце 20—30-х годов прошлого века и были связаны в первую очередь с необходимостью водоснабжения населения. Эксплуатационные водозаборные скважины пробурены в период 1964—2019 годов, и так как значительная их часть находится в эксплуатации уже более 50 лет, регулярно проводятся ремонтно-восстановительные работы.

На территорию, являющуюся объектом исследований, имеется только одна изданная гидрогеологическая карта масштаба 1 : 200 000 (лист Р-39-XXI, Сыктывкар), где юрские отложения занимают примерно половину площади (Гидрогеологическая..., 1966). Гидрогеологическое изучение площади листов XX, XXVI, XXXII (Чернореченские площади) осуществлялось в процессе комплексной геолого-гидрогеологической съемки при подготовке этих листов к изданию. Гидрогеологические карты, составленные по результатам съемок, показаны в объяснительных записках к изданным геологическим картам в виде схематических карт масштаба 1 : 500 000.

Описание юрских отложений в пределах Сысольского свода Волго-Уральской антеклизы было основано на данных государственных геологических карт масштаба 1 : 200 000 листы: Р-39- XX, XXI, XXVI, XXXI, XXXII, XXXIII, Р-38-XXXVI. Для описания водоносного комплекса использованы материалы паспортов эксплуатационных водозаборных скважин (Паспорта..., 1965—2019) и разведочных работ, выполненных ОАО «Полярноуралгеология» Вычегодской ГРЭ, ООО «Комигеология», ЗАО «Горногеологическая компания «МИРЕКО».

Литогеологическая и гидрогеологическая характеристика водоносного комплекса

Водовмещающие породы среднеюрского водоносного комплекса (байосский-батский ярусы) представлены песками серыми, темно-серыми, мелко-, реже среднезернистыми кварцевыми слюдистыми, в верхней части разреза большей частью алевритами слюдистыми. Пески содержат включения углефицированного растительного детрита, пиритизированной древе-



сины, конкреции лимонита и пирита. Разрез водоносного комплекса характеризуется резкой фациальной изменчивостью как по вертикали, так и по латерали: участками он преимущественно песчаный либо глинисто-алевритовый. Глины и алевриты развиты в основном в верхней части разреза, но встречаются в средней и нижней частях, обуславливая слоистость водоносной толщи в целом. Воды приурочены к подошве сысольской свиты средней юры (J_2ss), сложенной кварцевыми песками.

Водоносный комплекс изучен 35 водозаборными скважинами и вскрывается на глубинах от 13.7 до 119 м с абсолютными отметками от 16.5 до 132.65 м, в зависимости от рельефа. На участках приурочения к поймам рр. Сысолы, Лузы, Мал. Визинги и др. или под поймой, в зоне выклинивания, юрские пески залегают на глубине 13.7–20 м непосредственно под аллювием. Эффективная мощность водовмещающих отложений среднеюрского комплекса возрастает с удалением от периферийной части к центру бассейна с 3.5 до 90 м. В кровле комплекса залегают четвертичные валунные суглинки печорского возраста или пески чирвинского озерно-аллювиального горизонта. В подошве повсеместно залегают плотные глины нижнего триаса.

По гидравлическим свойствам в целом водоносный комплекс характеризуется как напорный, на отдельных участках — как субнапорный или безнапорный. На водоразделах уровни воды залегают на глубинах 35–45 м, на участках с низкими отметками рельефа — на глубинах 3–15 м. Редко, в долинах глубоко-врезанных водотоков, наблюдается самоизлив. Напор над кровлей комплекса составляет 8.35–27.1 м, при песчаном или алевритопесчаном разрезе комплекса или вблизи поймы рек напор уменьшается до 0.5–4.0 м или его отсутствия. Снижение уровня воды прослеживается по направлению к основным дренам — долинам рр. Вычегды и Сысолы.

По данным «Государственного баланса запасов подземных вод» (2023) на базе водоносного среднеюрского комплекса разведано 18 месторождений подземных вод (МПВ) с максимальными для данной территории общими запасами 83.90 тыс. м³/сут. Наибольшими запасами подземных вод характеризуется «Бадьинское» МПВ (50 тыс. м³/сут.), которое предполагалось использовать для водоснабжения Сыктывкара (Лапицкая, Жильцова, 2019). Объемы остальных МПВ не превышают 10 тыс. м³/сут. Подземные воды эксплуатируются для централизованного водоснабжения групповыми и одиночными водозаборами в Прилузском, Сысольском, Койгородском и Сыктывдинском районах.

Результаты исследований

Подземные воды среднеюрских отложений, отобранные со скважин централизованного водоснабжения, — пресные, с минерализацией 0.14–0.58 г/дм³. Состав вод преимущественно гидрокарбонатный кальциевый, натриево-кальциевый. Реакция воды нейтральная — слабощелочная (рН 6.8–8.2). Подземные воды мягкие или умеренно жесткие (жесткость общая 2.6–3.6 (мг-экв)/дм³). Содержание железа — от 0.07 до 10.66 мг/дм³ (табл. 1).

Гидрохимические показатели вод приведены в таблице 1, в которой представлены описательные статис-

тики и пределы допустимых концентраций (ПДК), установленные для питьевых вод (СанПиН..., 2021).

Для выборки проб воды была проведена проверка на нормальность распределений рассматриваемых 34 признаков. Проверка осуществлялась статистическим критерием Шапиро — Уилка, оценкой величин асимметрии и эксцесса, а также с помощью визуальной оценки нормальных вероятностных графиков и частотных гистограмм с кривыми нормального распределения. Установлено, что только 11 признаков (глубина залегания, рН, содержания Ca, Mg, SO₄, Ti, Co, As, Se, S, ТОС) имеют близкие к нормальному распределению. Поэтому их средние значения и вариации правильнее описывать с помощью медианы и квартилей.

Подземные воды среднеюрского водоносного комплекса принадлежат к гидрокарбонатному типу по классификации Курнакова — Валяшко (или гидрокарбонатно-натриево-натриевому типу по классификации Сулина) при условии $(rNa^+ - rCl^-)/rSO_4^{2-} > 1$ и $rNa^+/rCl^- > 1$.

Геохимические особенности вод среднеюрского водоносного комплекса выражаются в преобладании гидрокарбонат-иона — содержание HCO₃⁻ составляет 90–99 % (мг-экв)/дм³, SO₄²⁻ — 1–7 % (мг-экв)/дм³, Cl⁻ — 0–4 % (мг-экв)/дм³ (рис. 2). Катионный состав подземных вод многокомпонентный, смешанный: кальций преобладает в большинстве проб — содержание Ca²⁺ изменяется от 29 до 77 % (мг-экв)/дм³, (Na⁺+K⁺) — от 3 до 55 % (мг-экв)/дм³, Mg²⁺ — от 8 до 21 % (мг-экв)/дм³.

Согласно генетической гидрохимической классификации К. Е. Питьевой (1969), подземные воды J_2 относятся к типу Б — водам сложного физико-химического взаимодействия с породами, в формировании состава которых участвуют воды: окисления, углекислотного выщелачивания, гидролиза, катионного обмена, восстановления сульфатов. Воды подобного типа приурочены к зоне активного водообмена, к районам инфильтрации атмосферных осадков на территории с гумидным климатом.

Для выявления силы и направления взаимосвязи между гидрохимическими характеристиками водоносного комплекса был применен корреляционный анализ с расчётом коэффициентов корреляции Спирмена (табл. 2). Выбор непараметрического коэффициента корреляции рангов Спирмена обусловлен тем, что большинство параметров имеют распределения, статистически значимо (для заданного критического уровня значимости 0.05) отличающиеся от нормального. Для корреляционного анализа были использованы компоненты (признаки), концентрации которых выше предела обнаружения масс-спектрометра с индуктивно связанной плазмой Agilent 7700x.

В результате проведенного корреляционного анализа установлены следующие ассоциации гидрогеохимических признаков со статистически значимыми ($p < 0.05$) тесными ($r_s > 0.7$) положительными связями: минерализация — HCO₃⁻ — Mg — Ca и Na — (CO₃ + HCO₃⁻)/(Ca+Mg) — (Na+Mg)/Ca (табл. 2).

Минерализация не зависит от глубины залегания и от мощности водоносного комплекса (рис. 3). Несмотря на то, что не наблюдается зависимости содержания основных катионов — Ca, Mg и Na от глубины (табл. 2, рис. 3), коэффициент 2 — ((Na+Mg)/Ca) — показывает, что с глубиной уменьшаются содержания натрия



Таблица 1. Результаты статистической обработки показателей подземных вод среднеюрских отложений южных районов Республики Коми

Table 1. Results of statistical processing of groundwater indicators of the Middle Jurassic deposits of the southern regions of the Komi Republic

Признаки Features	Нормативы (ПДК) по (СанПиН..., 2021) Standards (MPC) according to (SanPiN ..., 2021)	Описательные статистики / Descriptive statistics				
		минимум minimum	максимум maximum	медиа median	нижний квартиль lower quartile	верхний квартиль upper quartile
Мощность, м / Thickness, m	—	3.50	90.00	14.00	9.00	25.00
Глубина, м / Depth, m	—	16.25	132.65	61.0	50.75	79.00
pH	6—9	6.80	8.20	7.40	7.20	7.60
Минерализация, мг/дм ³ Mineralization, mg/dm ³	1500	141.39	583.36	315.30	257.24	378.39
Ca, мг/дм ³	—	22.00	72.00	44.00	33.00	55.00
Na, мг/дм ³	200	1.78	56.00	14.10	6.90	22.00
Mg, мг/дм ³	50	3.50	22.00	10.90	7.70	13.70
K, мг/дм ³	—	0.60	6.20	1.83	1.37	3.50
HCO ₃ , мг/дм ³	—	105.00	450.00	234.00	195.00	280.00
SO ₄ , мг/дм ³	500	1.00	15.30	7.50	4.20	10.30
Cl, мг/дм ³	350	0.16	5.40	0.51	0.32	1.05
NO ₃ , мг/дм ³	45	0.02	0.78	0.20	0.15	0.42
Fe, мг/дм ³	0.3	0.07	10.66	2.70	1.50	4.34
Mn, мг/дм ³	0.1	0.0006	0.45	0.11	0.06	0.20
ТОС, мг/дм ³	—	0.63	3.40	1.65	0.94	2.35
B, мг/дм ³	0.5	0.01	0.31	0.06	0.02	0.15
Sr, мг/дм ³	7	0.08	0.77	0.31	0.17	0.47
Si, мг/дм ³	10	3.30	7.80	6.50	5.60	6.80
Ba, мг/дм ³	0.1	0.007	0.140	0.027	0.013	0.037
Li, мг/дм ³	0.03	0.005	0.02	0.01	0.007	0.013
Al, мг/дм ³	0.5	0.001	0.015	0.004	0.003	0.007
P, мг/дм ³	—	0.03	0.07	0.04	0.03	0.05
Ti, мг/дм ³	—	0.003	0.005	0.003	0.003	0.004
Cr ⁶⁺ , мг/дм ³	0.05	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
V, мг/дм ³	0.1	0.0002	0.0006	0.0003	0.0003	0.0004
Co, мг/дм ³	0.1	0.0004	0.001	0.0007	0.0006	0.001
Ni, мг/дм ³	0.1	0.0005	0.002	0.001	0.0008	0.002
Cu, мг/дм ³	1.0	0.0001	0.004	0.0005	0.0002	0.0008
As, мг/дм ³	0.05	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002
Rb, мг/дм ³	0.1	0.0003	0.002	0.0008	0.0005	0.001
S, мг/дм ³	—	0.34	5.3	2.60	1.50	3.60
Se, мг/дм ³	0.01	0.0002	0.001	0.0006	0.0004	0.0008
κ1 (CO ₃ + HCO ₃)/(Ca + Mg)	—	1.02	2.35	1.27	1.16	1.42
κ2 (Na + Mg)/Ca	—	0.34	2.25	0.68	0.52	0.91

Примечания: нижний квартиль (Q1) — значение, которое делит распределение в пропорции 1/4 от нижней точки к верхней, т. е. слева от Q1 находится 25 % значений, справа от Q1 — 75 % значений. Верхний квартиль (Q3) — значение, которое делит распределение в пропорции 3/4 от нижней точки к верхней, т. е. слева от Q3 находится 75 % значений, справа от Q3 — 25 % значений.

Notes: the lower quartile (Q1) is a value that divides the distribution in the proportion of 1/4 from the bottom point to the top, i. e. 25 % of the values are to the left of Q1, 75 % of the values are to the right of Q1. The upper quartile (Q3) is a value that divides the distribution in a 3/4 ratio from the bottom point to the top, i.e. 75 % of the values are to the left of Q3, and 25 % of the values are to the right of Q3.

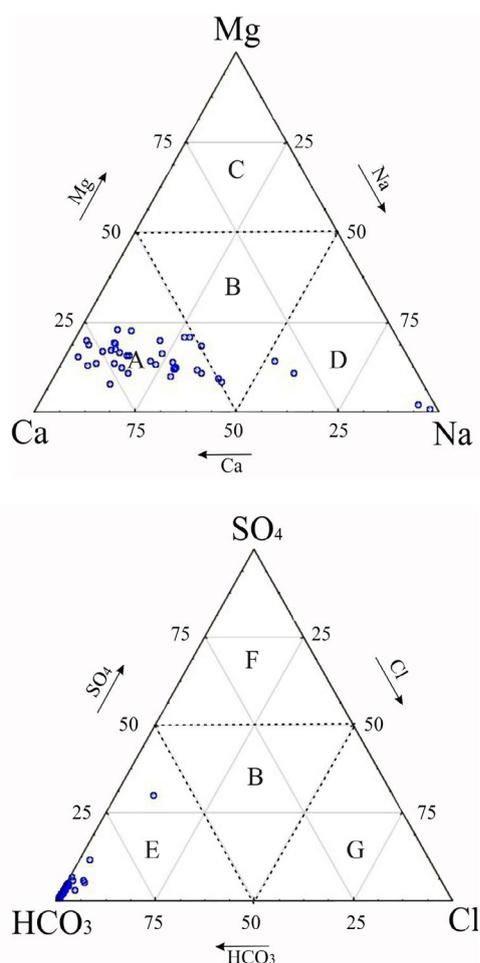


Рис. 2. Диаграммы катионного и анионного состава подземных вод среднеюрских отложений южных районов Республики Коми. Типы вод: А — кальциевые, В — смешанные, С — магниевые, D — натриевые, Е — карбонатные, F — сульфатные, G — хлоридные

Fig. 2. Diagrams of the cationic and anionic composition of groundwater in the Middle Jurassic sediments of the southern regions of the Komi Republic. Types of waters: A — calcium, B — no dominant, C — magnesium, D — sodium, E — carbonate, F — sulfate, G — chloride

и магния и происходят ионообменные процессы. Между содержанием иона К и глубиной залегания ВК существует заметная ($-0.7 < r_s < -0.5$) отрицательная связь, указывающая на уменьшение содержания калия вниз по разрезу. В целом многокомпонентный катионный состав подземных вод комплекса свидетельствует о сложном характере их формирования. Глины и глинистые разности пород, слагающие разрез, в природных условиях способны к катионному обмену с подземной водой.

Ионы Ca и Mg показали сильную ($0.7 < r_s < 0.9$), а ион HCO_3^- — очень сильную ($r_s > 0.9$) корреляционную связь с минерализацией (рис. 4, табл. 2). Эти ионы являются основными составляющими солевого состава подземных вод, что отражает их гидрокарбонатный кальциевый или магниевый-кальциевый состав. Существенную часть разреза как дочетвертичных, так и четвертичных отложений района слагают силикатные (алюмосиликатные) глинистые (суглинистые) терригенные породы, в той или иной мере обогащенные

карбонатными примесями: карбонатность юрских глин составляет 1.5–7.5 %, четвертичных — от 1.0 до 13.5 %. В результате углекислотного выщелачивания воды обогащаются ионами HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} .

Между ТОС, pH, минерализацией установлены заметные ($0.5 < r_s < 0.7$) положительные корреляционные связи (рис. 5, табл. 2). Накопление органического вещества в водах связано с величиной водородного показателя и происходит в большей степени в щелочных условиях. Между ТОС и глубиной залегания ВК выявлена заметная ($-0.7 < r_s < -0.5$) отрицательная связь, что говорит об уменьшении содержания органического вещества с глубиной.

Ионы SO_4^{2-} и Cl^- , содержащиеся в незначительных объемах в водах среднеюрского ВК, корреляционной связи с компонентами (признаками) не показали. Наличие сульфатов связано с процессами окисления сульфидов. В результате воздействия на пирит (марказит), который присутствует в виде конкреций в песчаной толще и в рассеянном виде в глинах и алевритах, подземной водой, содержащей кислород, происходит восстановление данных минералов в сульфаты.

Качество подземных вод, используемых для централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения, регламентируется нормативными требованиями (ГОСТ..., 2006; СанПиН..., 2021). Сводная таблица показателей качественного состава подземных вод в сравнении с нормативами приведена в таблице 1. Подземные воды среднеюрского ВК в естественных условиях залегания практически по всем показателям удовлетворяют требованиям СанПиН 1.2.3685-21 (табл. 1), за исключением повышенного содержания железа (до 10.66 мг/дм³) и марганца (до 0.45 мг/дм³). Повышенные содержания Fe (до 35 ПДК) и Mn (до 4.5 ПДК) подчинены природному закономерности и характерны для всего региона в целом. Для доведения качества подземных вод до нормативного рекомендуется производить предварительную водоподготовку для удаления железа и марганца, после чего нормализуется и мутность.

Содержание железа не зависит от глубины залегания водоносного комплекса (рис. 5, табл. 2), но наблюдается умеренная отрицательная ($-0.5 < r_s < -0.3$) связь с общим солесодержанием вод. Нахождение железа в воде определяет величина pH, что подтверждается заметной отрицательной ($-0.7 < r_s < -0.5$) связью. В нейтральных и слабокислых условиях выявлены содержания железа до 10.66 мг/дм³. В данной работе определение Eh не проводилось, но известно, что концентрация железа в подземных водах определяется и окислительно-восстановительными свойствами среды. Уменьшение Eh с глубиной подземных вод определяется сменой кислородсодержащих подземных вод на бескислородные. При уменьшении Eh до низких положительных значений возникают условия, благоприятные для накопления в них ионов Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ . Образованию восстановительной гидрогеохимической обстановки и переходу железа и марганца в раствор способствует и обогащенность водовмещающих отложений сырьевой свиты органическими веществами. Марганец не показал корреляционных связей с исследованными параметрами (табл. 2).

Таблица 2. Матрица коэффициентов корреляции между гидрогеохимическими признаками подземных вод среднеюрского водоносного комплекса (южные районы Республики Коми)

Table 2. The matrix of correlation coefficients between the hydrogeochemical characteristics of groundwater of the Middle Jurassic aquifer complex (southern regions of the Komi Republic)

Признаки Features	Коэффициенты корреляции Спирмена / Spearman correlation coefficients																		
	мощность thickness	глубина depth	pH	минерализация mineralization	Ca	Na	Mg	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃	Fe	Mn	к1 / c1	к2 / c2	TOC	Si	
Мощность, м / thickness, m	1.00																		
Глубина, м / Depth, m	-0.16	1.00																	
pH	-0.34	-0.28	1.00																
Минерализация, мг/дм ³ Mineralization, mg/dm ³	0.08	-0.36	0.36	1.00															
Ca, мг/дм ³	0.16	-0.26	0.16	0.81	1.00														
Na, мг/дм ³	0.13	-0.34	0.05	0.42	-0.00	1.00													
Mg, мг/дм ³	-0.07	-0.18	0.35	0.74	0.70	0.05	1.00												
K, мг/дм ³	-0.12	-0.55	0.42	0.58	0.23	0.63	0.47	1.00											
HCO ₃ , мг/дм ³	0.07	-0.33	0.37	0.99	0.81	0.39	0.78	0.56	1.00										
SO ₄ , мг/дм ³	0.04	-0.13	-0.01	0.35	0.46	0.00	0.07	-0.05	0.30	1.00									
Cl, мг/дм ³	-0.15	0.28	-0.08	-0.18	-0.33	0.11	-0.28	-0.35	-0.19	0.16	1.00								
NO ₃ , мг/дм ³	-0.05	-0.20	0.29	0.33	0.06	0.35	0.33	0.65	0.34	-0.38	-0.40	1.00							
Fe, мг/дм ³	0.05	0.10	-0.53	-0.32	-0.14	-0.15	-0.19	-0.45	-0.29	-0.06	0.18	-0.37	1.00						
Mn, мг/дм ³	0.27	0.11	-0.39	-0.02	0.18	-0.13	-0.19	-0.39	-0.05	0.33	0.18	-0.27	0.40	1.00					
к1 / c1	0.12	-0.32	0.10	0.24	-0.25	0.82	-0.13	0.47	0.23	-0.17	0.13	0.32	-0.22	-0.25	1.00				
к2 / c2	-0.02	-0.25	0.13	0.16	-0.29	0.84	0.09	0.58	0.16	-0.28	0.10	0.35	-0.09	-0.34	0.79	1.00			
TOC, мг/дм ³	0.02	-0.65	0.55	0.57	0.36	0.38	0.33	0.63	0.55	0.04	-0.10	0.46	-0.25	-0.18	0.27	0.21	1.00		
Si, мг/дм ³	-0.27	-0.06	-0.08	-0.06	-0.12	0.14	-0.17	0.06	-0.04	-0.33	-0.24	0.27	-0.02	-0.09	0.31	0.16	-0.03	1.00	

Примечание: жирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции по абсолютному значению больше 0.5, курсивом показаны статистически значимые коэффициенты корреляции (p < 0.05), к1 — гидрохимический коэффициент (CO₃ + HCO₃)/(Ca + Mg), к2 — гидрохимический коэффициент (Na+Mg)/Ca.

Note: correlation coefficients are shown in bold for an absolute value greater than 0.5, statistically significant correlation coefficients are shown in italics (p < 0.05), c1 — hydrochemical coefficient (CO₃ + HCO₃)/(Ca + Mg), c2 — is hydrochemical coefficient (Na+Mg)/Ca.

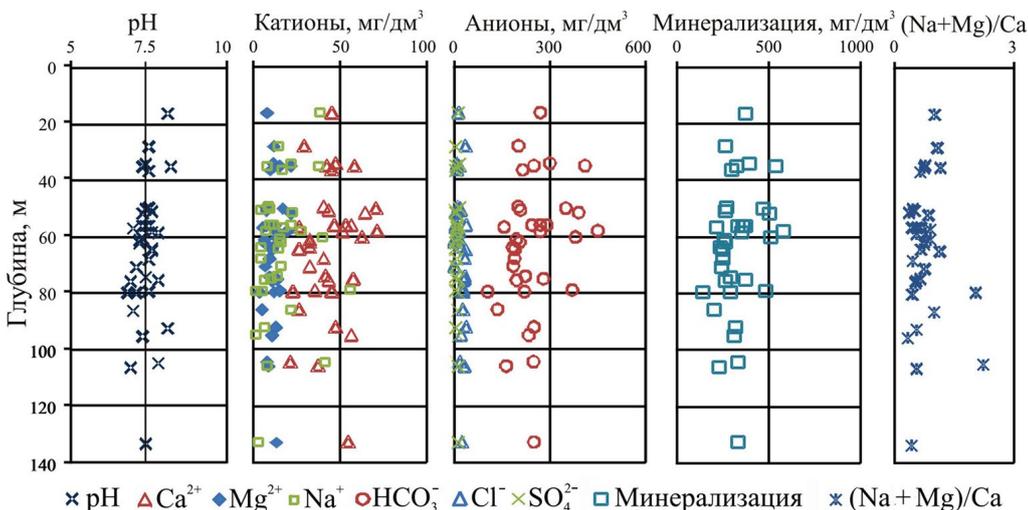


Рис. 3. Графики зависимости показателей химического состава подземных вод от глубины залегания водоносного комплекса

Fig. 3. Graphs of the dependence of indicators of the chemical composition of groundwater on the depth of the aquifer complex

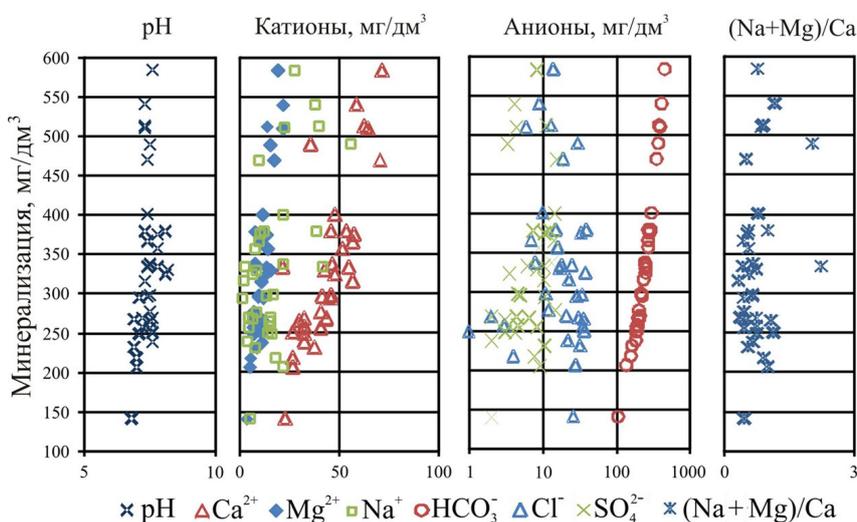


Рис. 4. Графики зависимости ионного состава среднеюрских подземных вод от степени их минерализации

Fig. 4. Graphs of the dependence of the ionic composition of the Middle Jurassic groundwater on the degree of their mineralization

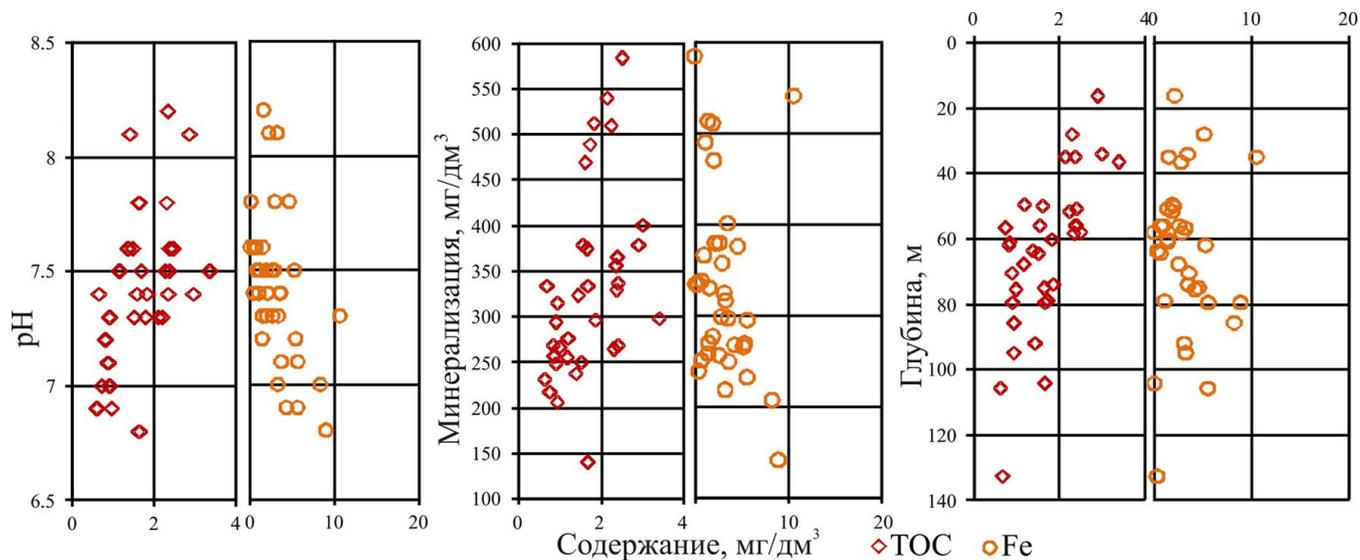


Рис. 5. Графики зависимости ТОС (общего органического углерода) и железа от pH, солевого состава и глубины залегания водоносного комплекса

Fig. 5. Graphs of the dependence of TOC (total organic carbon) and iron on pH, salt composition and depth of the aquifer complex

Заключение

Проведены геохимические исследования подземных вод среднеюрского водоносного комплекса, являющегося основным источником питьевого водоснабжения южных районов Республики Коми. На базе водоносного среднеюрского комплекса разведано 18 месторождений подземных вод с общими запасами 83.90 тыс. м³/сут.

Водовмещающие породы сысольской свиты средней юры (J₂ss) представлены кварцевыми песками и распространены на глубине от 13.7 до 119 м. Подземные воды приурочены к зоне активного водообмена, к районам инфильтрации атмосферных осадков на территории с гумидным климатом.

Основными факторами, влияющими на вещественный состав подземных вод, являются водовмещающие породы, воды вышележащих четвертичных отложений и инфильтрующиеся атмосферные осадки. В формировании состава подземных вод наибольшую роль играют процессы окисления, гидролиза, катионного обмена и восстановления сульфатов.

Геохимические особенности гидрокарбонатных вод выражаются в преобладании кальциевой компоненты, околонейтральной среды, солёности до 0.58 мг/дм³. В целом химический состав подземных вод исследуемой умеренно-континентальной зоны типичен для вод, не подверженных процессам континентального засоления. Корреляционным анализом выявлены связи между компонентами вод, установлены следующие ассоциации гидрогеохимических признаков со статистически значимыми ($p < 0.05$) тесными ($r_s > 0.7$) положительными связями: минерализация — $\text{HCO}_3^- - \text{Mg} - \text{Ca}$ и $\text{Na} - (\text{CO}_3 + \text{HCO}_3^-) / (\text{Ca} + \text{Mg}) - (\text{Na} + \text{Mg}) / \text{Ca}$.

Оценка качества подземных вод среднеюрского водоносного комплекса южных районов Республики Коми в соответствии с нормативными требованиями РФ показала, что подземные воды могут использоваться в питьевых целях после предварительной водоподготовки (обезжелезивание, деманганация).

Авторы выражают благодарность Т. П. Митюшевой за ценные научные консультации, сотрудникам экоаналитической лаборатории Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар) и сотрудникам лаборатории химии минерального сырья О. В. Кокшаровой и Г. В. Игнатьеву за проведение химических анализов подземных вод.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ГР № 122040600011-5).

Литература/ References

Абдулмуталимова Т. О., Рамазанов О. М., Алхасов А. Б., Газалиев И. М. Оценка качества подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевых целях в Республике Дагестан // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18. № 2. С. 92—101. DOI: 10.18470/1992-1098-2023-2-92-101

Abdulmutalimova T. O., Ramazanov O. M., Alkhasov A. B., Gazaliev I. M. Assessment of the quality of groundwater used for domestic and drinking purposes in the Republic of Dagestan. South of Russia: ecology, development, 2023, V. 18, No. 2, pp. 92—101. (in Russian)

Гидрогеологическая карта СССР масштаба 1 : 200 000. Серия Мезенская. Лист Р-39-XXI / Ю. Д. Николаев, ред. И. А. Габович, 1966.

Hydrogeological map of the USSR, scale 1 : 200000. Mezenskaya series. Sheet R-39-XXI. Yu. D. Nikolaev, ed. I. A. Gabovich, 1966. (in Russian)

Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2023 года. Выпуск 101. Подземные воды. Том 1. Питьевые и технические воды. Книга 2. Северо-Западный федеральный округ. М., 2023. С. 482.

State balance of mineral reserves of the Russian Federation as of January 1, 2023. Issue 101. Groundwater. Volume 1. Drinking and industrial waters. Book 2. Northwestern Federal District. Moscow, 2023, p. 482. (in Russian)

ГОСТ 2761-84. Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора. М.: Стандартинформ, 2006.

State standard GOST 2761-84. Sources of centralized household and drinking water supply. Hygienic, technical requirements and selection rules. Moscow: Standardinform, 2006. (in Russian)

Карта гидрогеологического районирования территории Российской Федерации м-ба 1 : 2 500 000. ФГУП «Гидроспецгеология», 2011.

Map of hydrogeological zoning of the territory of the Russian Federation, scale 1 : 2 500 000, Gidrospeetsgeologiya, 2011. (in Russian)

Каюкова Е. П., Барабошкина Т. А., Филимонова Е. А. Гидрогеохимические особенности подземных вод бассейна р. Бодрак (качинское поднятие горного Крыма) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2020. № 4. С. 55—63.

Kayukova E. P., Varaboshkina T. A., Filimonova E. A. Hydrogeochemical features of groundwater in the river basin Bodrak (Kachinsky uplift of the mountainous Crimea). Bulletin of Moscow University. Series 4: Geology, 2020, No. 4, pp. 55—63. (in Russian)

Кокшарова Ю. А. Оценка современного состояния ресурсной базы пресных подземных вод южных районов Республики Коми // Разведка и охрана недр. 2020. № 10. С. 28—34.

Koksharova Yu. A. Assessment of the current state of the resource base of fresh groundwater in the southern regions of the Komi Republic. Exploration and Protection of Subsoil. 2020, No. 10, pp. 28—34. (in Russian)

Лапицкая В. Ф., Жильцова В. И. Перспективы использования подземных вод для водоснабжения г. Сыктывкара // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVII Геологического съезда Республики Коми. Т. III. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2019. С. 263—264.

Lapitskaya V. F., Zhiltsova V. I. Prospects of using groundwater for water supply in Syktывkar. Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Proc. of the 17th Geological Congress of the Komi Republic. Vol. III, Syktывkar: IG Komi SC UB RAS, 2019, pp. 263—264. (in Russian)

Огородникова Г. П. и др. Гидрогеологическая карта // Атлас Республики Коми. М.: Феория, 2011. С. 52—54.

Ogorodnikova G. P. et al. Hydrogeological map. Atlas of the Komi Republic. Moscow: Feoria, 2011, pp. 52—54.



О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2022 году: Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2023. 686 с.

State report «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2022». Moscow: Ministry of Natural Resources and Environment of Russia; Moscow State University named after M. V. Lomonosov, 2023, 686 p. (in Russian)

О состоянии окружающей среды Республики Коми в 2022 году: Государственный доклад / Минприроды Республики Коми и др.; под общ. ред. ГБУ РК «ТФИ РК». Электронная версия. Сыктывкар: Минприроды Республики Коми, 2023. 164 с.

State report “On the state of the environment of the Komi Republic in 2022”: state. report. Ministry of Natural Resources of the Komi Republic [and others]; under general ed. State Budgetary Institution of the Komi Republic “TFI RK”. Electronic version. Syktывkar: Ministry of Natural Resources of the Komi Republic, 2023, 164 p. (in Russian)

Паспорта разведочно-эксплуатационных скважин Сысольского, Сыктывдинского, Койгородского и Прилузского районов Республики Коми // Коми Республиканский фонд геологической информации ГБУ РК «ТФИ РК» и фонды АО «Коми тепловая компания». Сыктывкар, 1965—2019.

Passports of exploration and production wells of the Sysolsky, Syktyvdinsky, Koygorodsky and Priluzsky districts of the Komi Republic. Komi Republican Geological Information Fund “TFI RK” and the Funds of Komi Thermal Company, Syktывkar, 1965—2019. (in Russian)

Петрова Д. И., Сунгатуллин Р. Х. Гидрогеохимическая характеристика подземных вод неогеновых отложений Палео-Волги в пределах территории г. Казань // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2021. № 1. С. 114—123. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology.2021.1/3343>

Petrova D. I., Sungatullin R. H. Hydrogeochemical characteristics of groundwater in Neogene deposits of the Paleo-Volga within the territory of Kazan. Bulletin of Voronezh State University. Series: Geology, 2021, No. 1, pp. 114—123. (in Russian)

Питьева К. Е. Гидрогеохимия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1969. 393 с.

Pityeva K. E. Hydrogeochemistry. Moscow: Publishing house Mosc. Univ., 1969, 393 p. (in Russian)

СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания / Минюст России. Пер. № 62296. 2021. 987 с.

SanPiN 1.2.3685-21 Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors to humans, Ministry of Justice of Russia, Reg. No. 62296, 2021, 987 p. (in Russian)

Received / Поступила в редакцию 21.12.2023



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.34.6(470.13)

DOI:10.19110/geov.2024.1.4

Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 году

Н. Н. Носкова¹, Ф. Г. Верхоланцев², В. Э. Асминг³, Н. В. Ваганова⁴, И. В. Попов⁵

¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, noskova@geo.komisc.ru

² Горный институт УрО РАН, Пермь, sombra@mail.ru

³ КоФ ФИЦ ЕГС РАН, Апатиты, asmingve@mail.ru

⁴ ФИЦКИА УрО РАН, Архангельск, nvag@yandex.ru

⁵ Кожимское разведочно-добычное предприятие, Сыктывкар, ilyageo@yandex.ru

За 2023 г. в Воркутском углепромышленном районе Республики Коми региональными сейсмическими станциями инструментально зарегистрированы 25 сейсмических событий с локальной магнитудой M_L от 1.8 до 2.8. Весомый вклад в обнаружении слабых ($M_L \leq 2$) событий внесли данные, полученные с временной сейсмической станции ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, установленной в рамках экспедиционных работ летом 2023 г. на Полярном Урале.

Особый интерес представляет сейсмическое событие 1 августа 2023 г., имеющее макросейсмический эффект. Жители нескольких районов Воркуты почувствовали толчки, похожие на землетрясение. Обработаны сейсмические записи 5 станций с эпицентрными расстояниями от 40 до 1070 км. Получены следующие параметры эпицентра: $t_0 = 18:39:07$, $67.529N$, $64.001E$, $h = 0$ км, $R_{\text{minor}} = 3.9$ км, $R_{\text{major}} = 6.7$ км, $Az_{\text{Major}} = 90^\circ$, $Kp = 9.0$, $ML = 2.8$, $Ms = 2.35$. Инструментальный эпицентр события расположен в пределах шахтного поля шахты «Воркутинская». Сейсмическое событие классифицировано нами как горно-тектонический удар. Макросейсмическая интенсивность, рассчитанная в соответствии со шкалой ШСИ-2017 по 57 анкетам и 163 определениям категорий-сенсоров, составила $I_0 = 4.73 \pm 0.02$. Рассчитанное значение макросейсмической глубины очага составило $H = 0.5 \pm 0.4$ км, что соответствует инструментальному определению и диапазону глубин горных выработок Воркутского угольного месторождения.

Ключевые слова: сейсмическая станция, сейсмограмма, эпицентр, горно-тектонический удар, угольная шахта, Воркута.

Seismic events in the Vorkuta coal industrial district in 2023

N. N. Noskova¹, F. G. Verkholtantsev², V. E. Asming³, N. V. Vaganova⁴, I. V. Popov⁵

¹ Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

² Mining Institute of UB RAS, Perm

³ Kola Branch of GS RAS, Apatity

⁴ FECIAR UB RAS, Arkhangelsk

⁵ Kozhim Exploration and Production Enterprise, Syktyvkar

In 2023, regional seismic stations recorded 25 seismic events in the Vorkuta coal industrial district of the Komi Republic, with a local magnitude M_L from 1.8 to 2.8. A significant contribution to the detection of weak, $M_L \leq 2$, events was made by data obtained from the temporary seismic station of the IG FRC Komi SC UB RAS, installed as part of expeditionary work in the summer of 2023 in the Polar Urals.

Among them the seismic event on August 1, 2023, which had a macroseismic effect, is of particular interest. Residents of several districts of Vorkuta felt tremors similar to an earthquake. Seismic records from 5 stations with epicentral distances from 40 to 1070 km were processed. The following parameters of the epicenter were obtained: $t_0 = 18:39:07$, $67.529N$, $64.001E$, $h = 0$ km, $R_{\text{minor}} = 3.9$ km, $R_{\text{major}} = 6.7$ km, $Az_{\text{Major}} = 90^\circ$, $Kp = 9.0$, $ML = 2.8$, $Ms = 2.35$. The instrumental epicenter of the event is located in Vorkuta, near the mine field of the Vorkuta mine. We classified the seismic event as a rock burst. Macroseismic intensity calculated in accordance with the Seismic intensity scale-2017 using 57 questionnaires and 163 definitions of sensor categories was $I_0 = 4.73 \pm 0.02$. The calculated value of the macroseismic depth of the source was $H = 0.5 \pm 0.4$ km, which corresponds to the instrumental definition and to the range of depths of mine workings of the Vorkuta coal deposit.

Keywords: seismic station, seismogram, epicenter, rock burst, coal mine, Vorkuta.

Для цитирования: Носкова Н. Н., Верхоланцев Ф. Г., Асминг В. Э., Ваганова Н. В., Попов И. В. Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 году // Вестник геонаук. 2024. 1 (349). С. 34–42. DOI: 10.19110/geov.2024.1.4

For citation: Noskova N. N., Verkholtantsev F. G., Asming V. E., Vaganova N. V., Popov I. V. Seismic events in the Vorkuta coal industrial district in 2023. Vestnik of Geosciences, 2024, 1 (349), pp. 34–42, doi: 10.19110/geov.2024.1.4



Введение

В Воркутском углепромышленном районе Республики Коми ведется разработка месторождений угля Печорского угольного бассейна. Изменение геодинамического состояния массива горных пород, вызванное добычей полезных ископаемых, сопровождается сбросом напряжений, проявляющимся в том числе в виде возникновения сейсмических событий. Подобные события можно квалифицировать как техногенно-тектонические (горно-тектонические). Имея в виду двойственную природу их происхождения, в их формировании участвуют как региональные поля тектонических напряжений, так и накладывающиеся на них дополнительные воздействия от ведения горных работ. До недавнего времени информация о них отсутствовала. Лишь с открытием вблизи Воркутинского горнодобывающего района сейсмических станций появились объективные данные инструментального сейсмического мониторинга о возникающей здесь сейсмической активности (Носкова, 2017; Носкова, Асминг, 2018).

В период с 1994 по 2004 г. региональный сейсмологический мониторинг, в том числе северных районов Республики Коми, осуществлял Кольский филиал ФИЦ ЕГС РАН, с использованием сейсмической станции «Амдерма» в пос. Амдерма. Институтом динамики геосфер РАН в пределах шахтного поля шахты «Комсомольская» была развернута локальная система сейсмологического мониторинга геодинамических явлений (Беляева и др., 2009). С 2010 г. возобновлена работа сейсмической станции «Амдерма» уже в составе Архангельской сейсмической сети¹, которая также фиксирует сейсмические события северных районов Республики Коми. Сейсмостанция «Бованенково» ФИЦ ЕГС РАН, расположенная на п-ве Ямал, регистрирует наиболее крупные сейсмические события в пределах Воркутинского района. В 2021 г. была открыта сейсмическая станция «Инта» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Носкова и др., 2023). Благодаря этому удалось понизить порог представительности регистрируемых сейсмических событий на севере Республики Коми с $M_L = 4$ до $M_L = 2.5$ и появилась возможность регистрировать техногенную сейсмичность. Весомый вклад в обнаружении слабых ($M_L \leq 2$) событий 2023 г. в Воркутинском районе внесли данные, полученные с временной сейсмической станции «Полярный Урал» (POLU) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, установленной в рамках экспедиционных работ летом 2023 г. на Полярном Урале. Среди сейсмических событий 2023 г. выделяется событие 1 августа 2023 г. в Воркуте, которое особенно сильно ощущалось жителями города и ближайших посёлков. Оно зафиксировано сейсмическими станциями, расположенными на территории республики и соседних регионов.

Целью данной работы является анализ сейсмических данных, полученных региональными сейсмостанциями, определение основных параметров сейсмических событий, произошедших в Воркутском углепромышленном районе в 2023 г., и их каталогизация. Актуальность проведения постоянного мониторинга вызвана тем, что горные работы влияют на сейсмическую активность не только самой зоны ведения горных работ, но и более широких областей. Регулярные

техногенные воздействия могут ускорить процессы подготовки тектонических землетрясений даже в тех районах, где их возникновение маловероятно. Поэтому очень важно проводить непрерывные наблюдения за природной и техногенной сейсмичностью в районах разработок месторождений и вести паспортизацию (каталогизацию) сейсмических событий.

Материалы и методы исследования

Для анализа и определения параметров сейсмических событий использовались волновые формы станций: «Инта» (IN0) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, «Амдерма» (AMDE1) Архангельской сейсмической сети и «Бованенково» (BVNN) ФИЦ ЕГС РАН, а в некоторых случаях — временной сейсмической станции «Полярный Урал» (POLU) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, установленной в рамках экспедиционных работ летом 2023 г. на Полярном Урале. Для сейсмического события 1 августа 2023 г. в обработку также были включены данные сейсмической станции «Добрянка» (PR2R) ГИ УрО РАН.

Определение параметров гипоцентра по исходным цифровым сейсмическим записям производилось в программах WSG (Красилов и др., 2006) и LOS (Асминг и др., 2021) методом минимизации невязок, с использованием скоростной модели для Восточно-Европейской платформы (Schueller et al., 1997), дополненной глубокими слоями модели АК-135 (Kennett et al., 1995). Для вычисления локальной магнитуды M_L и магнитуды по поверхностным волнам M_s применялись реализованные в WSG способы расчета, основанные на осредненной по Северной Евразии калибровочной функции (Габсатарова, 2006) и рекомендации, указанных в работе И. П. Габсатаровой (2011).

Данные о макросейсмических проявлениях сейсмического события 1 августа 2023 г. собирались в анкеты, представляющие собой электронные таблицы, где макросейсмические сведения в формализованном виде представлялись в виде реакции различных категорий-сенсоров в соответствии с определениями Шкалы сейсмической интенсивности — 2017 (ШСИ-2017) (ГОСТ..., 2017). В дальнейшем при обработке нами использовался статистический подход, описанный в ГОСТ Р 57546–201, позволяющий получить итоговую сейсмическую интенсивность I , обобщенную по большому количеству категорий-сенсоров, и рассчитать величину ошибки её определения σI . Данный подход для территории Урала и европейской части России впервые был применен при обработке макросейсмических данных сильного Катав-Ивановского землетрясения $M_w = 5.0$, $I_0 = 6.4 \pm 0.3$ (Дягилев и др., 2020) и в настоящее время широко используется при расчетах макросейсмической интенсивности ощутимых горно-тектонических ударов в пределах Североуральского бокситового и Высокогорского железорудного месторождений на Урале (Верхоланцев и др., 2023). В настоящей работе методика определения макросейсмической интенсивности в соответствии с новой шкалой ШСИ-2107 была применена и на Воркутском угольном месторождении Печорского угольного бассейна, что позволит в дальнейшем при регистрации ощутимых горно-тектонических ударов получать ма-

¹ АН: Arkhangelsk Seismic Network. URL: <https://www.fdsn.org/networks/detail/AH/>. DOI:10.7914/SN/AH

кросейсмические оценки в соответствии с современной шкалой ШСИ-2017.

Инструментальная обработка

Благодаря открытию в Инте сейсмической станции «Инта» (IN0) ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН появилась возможность регистрировать техногенную сейсмичность на территории Республики Коми (Носкова и др., 2023). За 2023 г. сейсмостанцией «Инта» зарегистрировано 25 сейсмических событий (табл. 1, рис. 1) в районе Воркуты, предположительно техногенного характера. Однако обработка по одиночной станции может приводить к неверному решению и некорректным выводам, как, например, по сейсмическому событию 21 февраля 2023 г. По времени возникновения первоначально оно было отнесено к взрыву на угольном разрезе. Как известно из сообщений Управления по делам ГО и ЧС Воркуты, взрывные работы проводятся в районе Юнь-Ягинского угольного разреза вблизи п. Советский с 09:00 до 18:00 по местному времени (Внимание..., 2023). После добавления в расчёты сейсмических записей станций «Амдерма» и «Бованенково» положение эпицентра удалось уточнить. Также были получены данные о том, что сейсмическое событие ощущалось жителями Воркуты (Подслушано..., 2023), поэтому, возможно, данное событие является горно-тектоническим ударом на шахте «Воркутинская».

Для обработки сейсмических записей, связанных предположительно с проявлениями техногенной сейсмичности в пределах угольных месторождений Воркутинского угледоугольного района, зарегистрированными сейсмической станцией «Инта» (IN0), по возможности использовались данные сейсмических станций «Амдерма» и «Бованенково». Большой вклад в обнаружение и лоцирование событий с $M_L \leq 2$ внесла временная сейсмостанция «Полярный Урал» (POLU), работавшая летом на Полярном Урале.

Эпицентры событий расположены рядом с Воркутой и, соответственно, шахтными полями. Поэтому они классифицируются нами как горные, горно-тектонические удары или взрывы, если в эти дни было объявлено предупреждение о проведении взрывных работ в районе Юнь-Ягинского разреза вблизи п. Советский

(Внимание..., 2023). На рис. 2, 3 приводятся примеры сейсмограмм ГУ и ГТУ. Их, несомненно, больше, но регистрационные возможности на региональных расстояниях не позволяют фиксировать все события.

Макросейсмические данные

Добыча угля на шахтах Воркутинского угледоугольного района ведется на больших глубинах и в сложных горно-геологических и горнотехнических условиях, что способствует возникновению интенсивных геодинамических явлений. Нередко они сопровождаются макросейсмическими проявлениями в Воркуте (Носкова, 2016; Носкова, Конечная, 2017; Носкова, Асминг, 2018; Носкова и др., 2018).

Сейсмическое событие 21 февраля 2023 г. обсуждалось воркутинцами в социальной сети «ВК» в группах «Подслушано Воркута» (запись от 21 февраля в 19:05 по местному времени) и «Хэлоу, Воркута!» (запись от 21 февраля в 20:45 по местному времени). Жителями города ощущались толчки на улицах Димитрова, Ленина, Шерстнёва, Суворова, Комарова, Гоголя, Пионерской, Гагарина, Ленинградской, Ломоносова, Чернова, Некрасова, а также во 2-м и 3-м районах (Подслушано..., 2023; Хэлоу, Воркута..., 2023).

Сейсмическое событие 22 июня 2023 г. также отмечилось воркутинцами в социальной сети «ВК» в группе «Привет! Сейчас в Воркуте!» (запись от 23 июня в 00:24 (Привет..., 2023)). По данному событию информации существенно меньше, что, вероятно, связано с более поздним временем возникновения сейсмического события, возможно, многие в это время уже спали.

Сейсмическое событие 1 августа 2023 г. вызвало резонанс среди воркутинцев (В городе..., 2023). Явление, похожее на землетрясение, почувствовали

Рис. 1. Эпицентры техногенных событий (1) в Воркутинском районе и станции, их зарегистрировавшие (2)

Fig. 1. Epicenters of induced events (1) in the Vorkuta region and the stations that registered them (2)

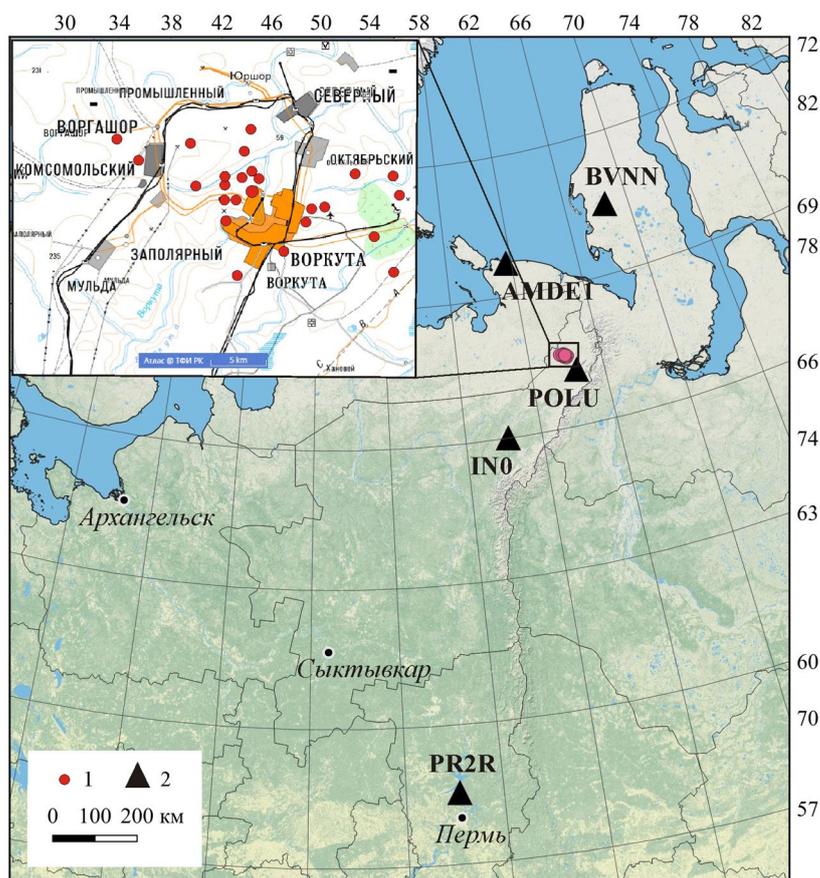




Таблица 1. Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 г.

Table 1. Seismic events in the Vorkuta coal industrial region in 2023

	Дата Date	Время Time	Координаты, ° Position, °		Магнитуда Magnitude	Эн. класс, Кр En. class, К	Станции Stations	Происхождение Origin	Макро- сейсмика Macro- seismics
			N	E					
1	21-02-2023	15:04:51	67.501	63.968	$ML = 2.8/2$ $Ms = 2.0$	8.9	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RTB	+
2	04-03-2023	23:12:52	67.535	63.889	$ML = 2.1$ $Ms = 1.6$	7.6	INO, BVNN	ГУ / RB	
3	20-03-2023	22:14:16	67.581	63.955	$ML = 2.5/2$	8.0	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
4	28-03-2023	15:17:44	67.546	64.000	$ML = 2.3/2$ $Ms = 1.7$	7.7	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
5	12-05-2023	17:19:19	67.482	64.074	$ML = 2.35/2$ $Ms = 1.6$	7.8	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
6	22-05-2023	22:58:31	67.557	63.764	$ML = 2.1/2$ $Ms = 1.8$	7.6	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
7	06-06-2023	21:35:22	67.534	63.947	$ML = 2.1/2$ $Ms = 1.6$	7.4	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
8	08-06-2023	19:59:41	67.517	64.160	$ML = 2.2/2$ $Ms = 1.8$	7.4	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
9	17-06-2023	20:25:13	67.543	63.987	$ML = 2.5/2$	8.1	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
10	22-06-2023	21:40:10	67.523	63.974	$ML = 2.6/2$ $Ms = 2.0$	8.6	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RTB	+
11	30-06-2023	01:05:08	67.523	63.953	$ML = 2.4/2$ $Ms = 1.8$	7.9	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
12	08-07-2023	20:31:28	67.576	63.725	$ML = 2.1/2$	7.3	INO, AMDE1, BVNN	ГУ / RB	
13	11-07-2023	23:48:37	67.570	63.880	$ML = 2.1/2$	7.2	INO, AMDE1	ГУ / RB	
14	22-07-2023	11:00:12	67.577	63.996	$ML = 2.0/2$ $Ms = 1.1$	7.1	POLU, INO	ГУ/взрыв RB/explosion	
15	25-07-2023	11:19:41	67.493	64.273	$ML = 2.0/3$ $Ms = 1.2$	7.1	POLU, INO, AMDE1	ГУ/взрыв RB/explosion	
16	01-08-2023	18:39:07	67.529	64.001	$ML = 2.8/3$ $Ms = 2.35$	9.0	POLU, INO, AMDE1, BVNN, PR2R	ГУ / RTB	+
17	02-08-2023	10:14:58	67.459	64.313	$ML = 2.2/2$ $Ms = 1.7$	7.6	POLU, INO	ГУ/взрыв RB/explosion	
18	05-08-2023	23:08:06	67.544	63.949	$ML = 1.9/3$ $Ms = 1.3$	7.1	POLU, INO, AMDE1	ГУ / RB	
19	07-08-2023	23:23:41	67.563	63.986	$ML = 2.0/3$ $Ms = 1.0$	7.3	POLU, INO, AMDE1	ГУ / RB	
20	12-08-2023	10:59:57	67.546	64.308	$ML = 1.8/3$ $Ms = 1.1$	6.9	POLU, INO, AMDE1	ГУ/взрыв RB/explosion	
21	04-09-2023	00:03:30	67.542	64.022	$ML = 2.1/2$	7.3	INO, AMDE1	ГУ / RB	
22	26-10-2023	10:50:12	67.548	64.228	$ML = 2.4$	7.9	INO	ГУ/взрыв RB/explosion	
23	28-10-2023	10:30:12	67.516	64.328	$ML = 2.2$	7.3	INO, AMDE1	ГУ/взрыв RB/explosion	
24	29-10-2023	19:58:56	67.461	63.978	$ML = 2.2$	7.5	INO	ГУ / RB	
25	14-11-2023	10:30:16	67.517	64.140	$ML = 2.3/2$	7.6	INO AMDE1	ГУ/взрыв RB/explosion	

жители нескольких районов Воркуты. Макросейсмические сведения были собраны в первые дни после события через интерактивную форму на сайте ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Всего была получена 61 анкета, 6 из них исключены из расчётов, т. к. в них не был заполнен адрес. В социальных сетях спустя 7 минут от времени возникновения события в «ВК» в группе «Привет! Сейчас в Воркуте!» жителями города была создана беседа «В городе трянуло. Почувствовали?».

По обсуждению в социальных сетях были добавлены ещё 2 анкеты, где кроме ощущений люди указали адрес и этаж. Жители почувствовали сотрясение всего дома, слышали гул, раскачивались светильники, дребезжала посуда, в некоторых случаях вибрировали тяжелые предметы, многие пугались, зачастую беспокоились животные. Все из опрошенных отчётливо ощутили довольно сильный толчок, как будто у соседней упало что-то тяжёлое. Макросейсмическая ин-

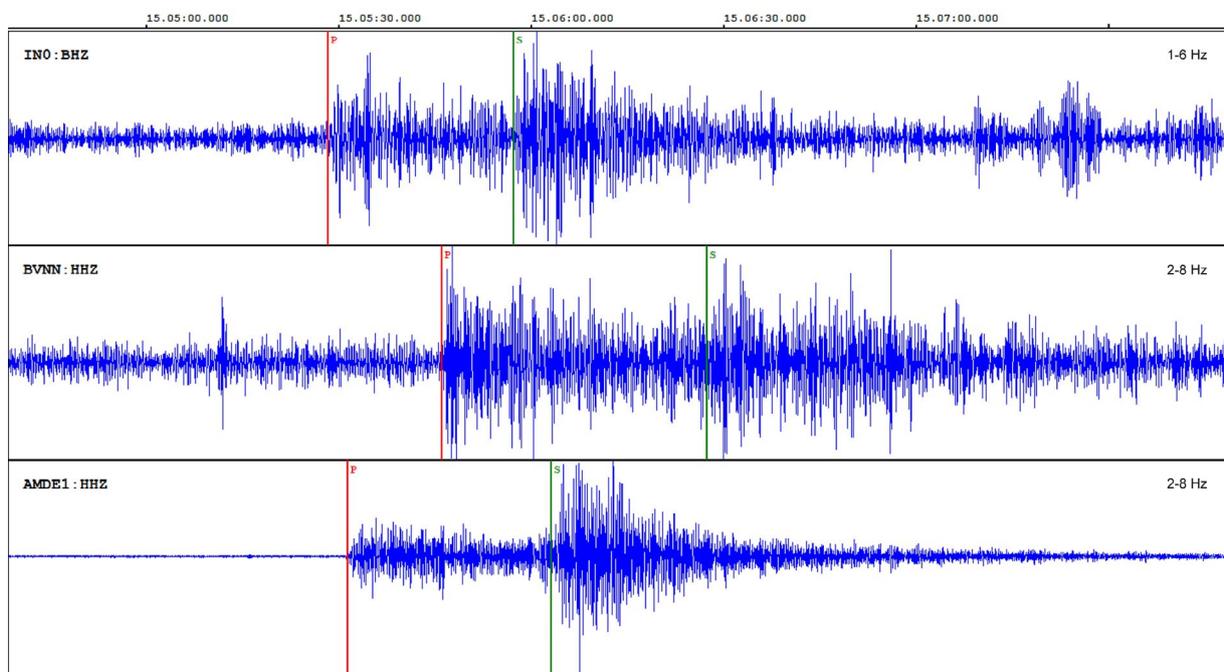


Рис. 2. Фрагменты записей вертикальной компоненты сейсмограмм станций «Инта», «Амдерма», «Бованенково» ГТУ 21 февраля 2023 г. на ш. «Воркутинская»

Fig. 2. Fragments of records of the vertical component of seismograms from the stations “Inta”, “Amderma”, “Bovanenkovo” rock burst on February 21, 2023 at mine “Vorkutinskaya”

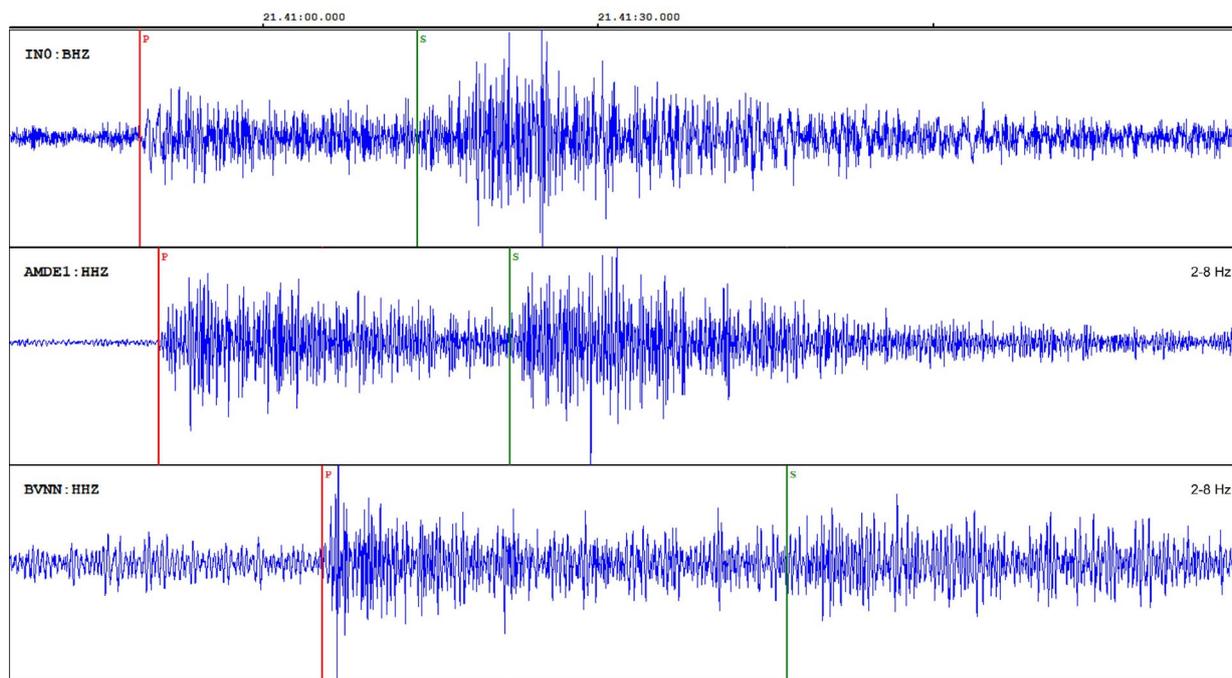


Рис. 3. Фрагменты записей вертикальной компоненты сейсмограмм сеймостанций «Инта», «Амдерма», «Бованенково» ГТУ 22 июня 2023 г. на ш. «Воркутинская»

Fig. 3. Fragments of records of the vertical component of seismograms from the stations “Inta”, “Amderma”, “Bovanenkovo” rock burst on June 22, 2023 at mine “Vorkutinskaya”



Таблица 2. Определение глубины очага сейсмического события 1 августа 2023 г. по макросейсмическим данным
Table 2. Determination of the depth of the seismic source of the event on August 1, 2023 using macroseismic data

№	Зависимость Dependance	Глубина Н для магнитуды Ms, км Depth H for magnitude Ms, km	Глубина Н для магнитуды ML, км Depth H for magnitude ML, km
1	$I_0 = 1.5 * M - 2.43 * \lg H + 1.01$ (1)	0.8 ± 0.1	0.7 ± 0.1
2	$I_0 = 2 * M - 2 * \lg H - 0.7$ (2)	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.2

тенсивность данного события, рассчитанная нами по 57 анкетам и 163 определениям категорий-сенсоров, составила $I_0 = 4.73 \pm 0.02$ по шкале ШСИ-2017. Такая высокая точность определения итоговой интенсивности обеспечена применением статистических подходов при использовании современной макросейсмической шкалы ШСИ-2017 на основе большого количества первичных макросейсмических данных.

Наличие макросейсмических данных позволило произвести оценку макросейсмической глубины (табл. 2) двумя способами: с помощью уравнения Н. В. Шебалина для условий Восточно-Европейской платформы, Урала и Западной Сибири (Новый каталог, 1977) через интенсивность в эпицентре (1) и с использованием макросейсмической формулы В. Карника (2), полученной для Европы (Сейсмическое..., 1968).

$$I_0 = 1.5 * M - v * \lg H + c \quad (1)$$

$$I_0 = 2 * M - 2 * \lg H - 0.7 \quad (2)$$

При этом в уравнении Н. В. Шебалина нами использованы уточненные коэффициенты v и c , принятые в соответствии с работой Н. В. Петровой и др. (2020), где для условий Урала и Республики Коми впервые получены коэффициенты уравнений макросейсмического поля для близповерхностных очагов $H \leq 1$ км: $b = 1.5$, $v = 2.43$, $c = 1.01$.

Макросейсмическое уравнение использует магнитуду M_{LN} , которая примерно равна M_s . Согласно В. Gutenberg, С. Richter (1956), магнитуда по Рихтеру ML и M_s связаны соотношением:

$$M_s = 1.27 * (ML - 1) - 0.016 * ML^2 \quad (3)$$

В соответствии с этим в табл. 2 приведены результаты расчета макросейсмической глубины как с использованием прямых оценок магнитуды M_s , так и пересчитанной из магнитуды ML , которая имеет большую точность определения на региональных расстояниях.

Учитывая величину ошибок, глубины, полученные по разным формулам, близки и можно принять усредненное значение $H = 0.5 \pm 0.4$ км, что соответствует инструментальному определению и диапазону глубин горных выработок Воркутского угольного месторождения.

Сейсмическое событие 1 августа 2023 г.

Временная сейсмическая станция «Полярный Урал» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, установленная в рамках экспедиционных работ на тот момент на массиве Енганепэ, р. Левый Изъявож, первая зафиксировала

данное событие. Предварительные и оперативно рассчитанные параметры эпицентра были переданы по запросу в ГУ МЧС России по Республике Коми.

Событие также было зарегистрировано сейсмическими станциями Республики Коми, Архангельской области, Ямало-Ненецкого автономного округа и Пермского края. Позже расчет эпицентра сейсмического события производился по вступлениям сейсмических фаз Р- и S-волн региональных сейсмических станций: «Инта» (IN0), «Амдерма» (AMDE1), «Бованенково» (BVNN), «Добрянка» (PR2R). На рис. 4 приводятся волновые формы события 1 августа 2023 г.

Эпицентральные расстояния по 5 станциям составили от 40 (POLU) до 1070 км (PR2R). Расположение сейсмостанций относительно эпицентра показано на рис. 5. Азимутальное окружение — $26.8 - 339.9^\circ$, максимальная азимутальная тень GAP = 124° .

Определены следующие параметры рассматриваемого события: время в очаге $t_0 = 18:39:07$, координаты — $67.529N$, $64.001E$, глубина гипоцентра $h = 0$ км. Энергетический класс по Т. Г. Раутиан и локальная магнитуда составили $K_p = 9.0$, $ML = 2.8/3$, $M_s = 2.35$ (табл. 1). Эллипс ошибок определения положения эпицентра: $R_{minor} = 3.9$ км, $R_{major} = 6.7$ км, $Az_{major} = 90^\circ$. Макросейсмические исследования показали, что инструментальная обработка оказалась довольно точной. Эпицентр события расположен в Воркуте, в шахтном поле шахты «Воркутинская» Воркутского угольного месторождения. В соответствии с классификацией, предложенной в работе А. Б. Макарова (2006), сейсмическое событие отнесено нами к категории горно-тектонических ударов.

Для события 1 августа 2023 г. также выполнено автоматическое определение параметров сейсмологическим центром NORARS (Норвегия) по записям станций ARCESS Array, Spitsbergen Array и FINISS Array. Согласно бюллетеню (NORARS..., 1971), событие произошло в Заполярном районе Ненецкого автономного округа и имело следующие параметры: $t_0 = 18:39:19.0$, $68.07N$, $61.93E$, $M = 2.55/3$. Ошибка определения положения эпицентра составила более 100 км, что исключает правильную трактовку природы события.

Выводы

Техногенные сейсмические события на шахтах Печорского угольного бассейна не редкость (Носкова, Асминг, 2018; Носкова и др., 2018). В 2023 г. вблизи шахтных полей угольных шахт Воркутского углепромышленного района зарегистрировано 25 сейсмических событий, которые классифицируются нами как горные, горно-тектонические удары и, возможно, взрывы на угольном разрезе «Юньягинский». Самым заметным было сейсмическое событие 1 августа 2023 г.,

имеющее макросейсмический эффект. Жители нескольких районов Воркуты почувствовали толчки, похожие на землетрясение. Инструментальный эпицентр события расположен в Воркуте, в шахтном поле шахты «Воркутинская». Сейсмическое событие классифицировано нами как горно-тектонический удар. Макросейсмическая интенсивность, рассчитанная в соответствии со шкалой ШСИ-2017 по 57 анкетам и 163 определениям категорий-сенсоров составила $I_0 = 4.73 \pm 0.02$. Рассчитанное значение макросейсмической глу-

бины очага составило $H = 0.5 \pm 0.4$ км, что соответствует инструментальному определению и диапазону глубин горных выработок Воркутского угольного месторождения.

Благодаря открытию сейсмической станции «Инта» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН появилась возможность регистрировать техногенную сейсмичность на территории Республики Коми (Носкова и др., 2023). Важное значение в обнаружении и лоцировании некоторых событий имела временная сейсмическая станция

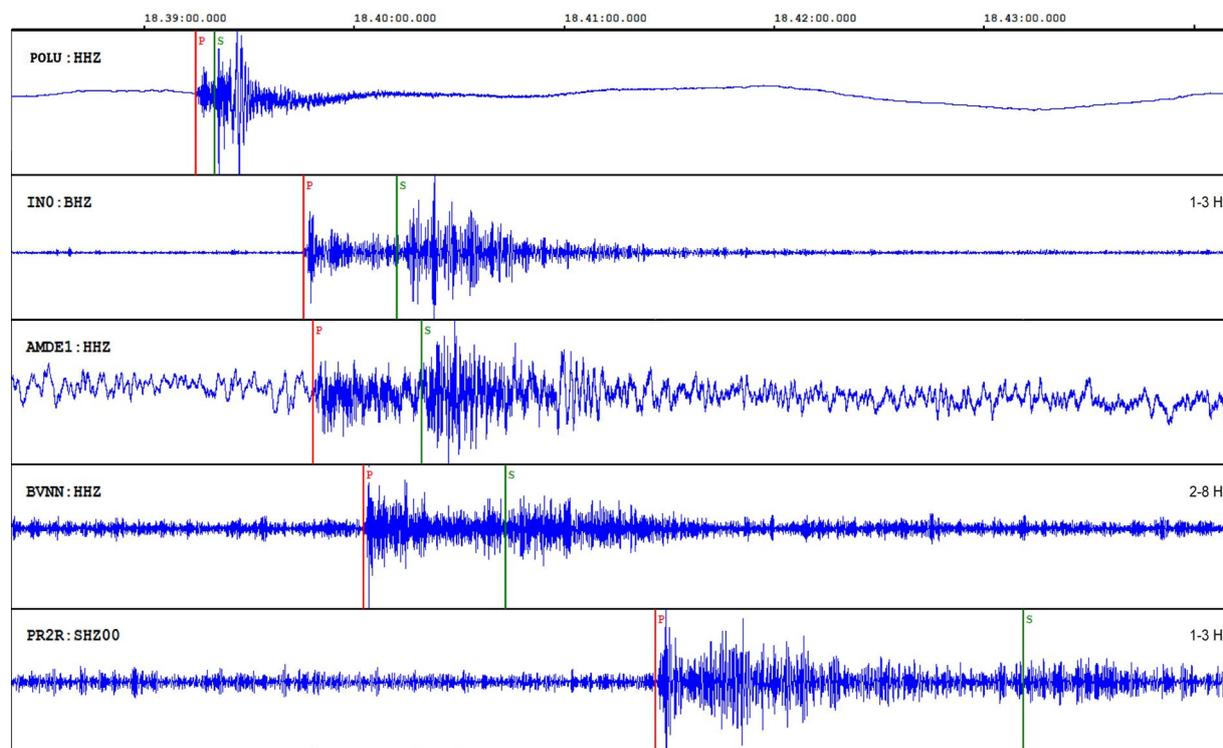


Рис. 4. Фрагменты записей вертикальной компоненты сейсмограмм станций «Полярный Урал», «Инта», «Амдерма», «Бованенково» и «Добрянка» сейсмического события 1 августа 2023 г.

Fig. 4. Fragments of records of the vertical component of seismograms from the Polar Ural, Inta, Amderma, Bovanenkovo and Dobryanka stations of the seismic event on August 1, 2023

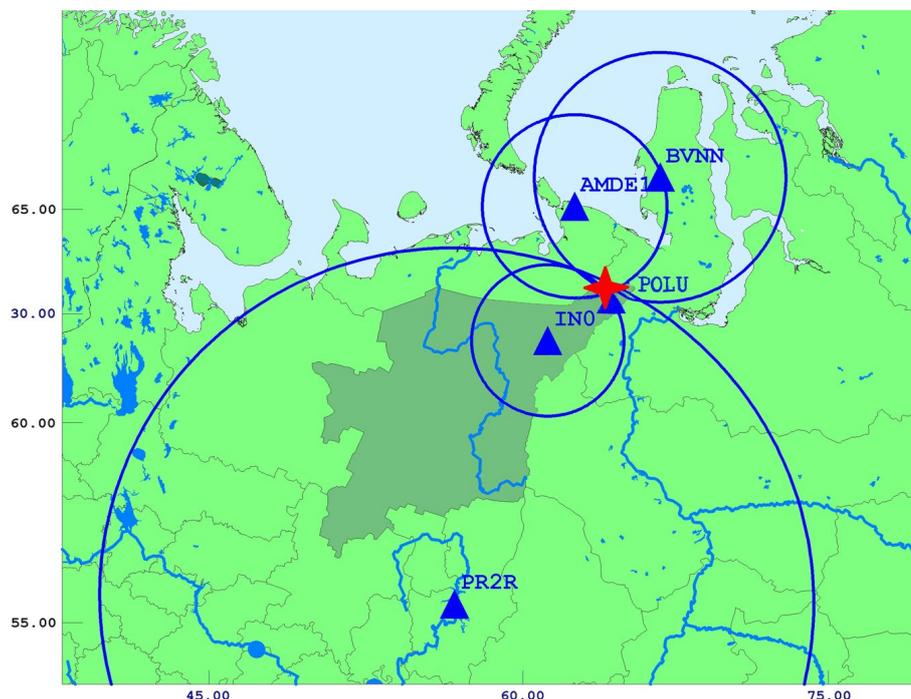


Рис. 5. Эпицентр сейсмического события 1 августа 2023 г. и станции, участвовавшие в его инструментальной обработке

Fig. 5. Epicenter of the seismic event on August 1, 2023 and stations participating in its instrumental processing



«Полярный Урал», работавшая летом на Полярном Урале. Следует также подчеркнуть существенный вклад станций «Амдерма» Архангельской сети и «Бованенково» ФИЦ ЕГС РАН в определении местоположения низко-магнитудных сейсмических событий на севере республики. Без использования данных этих станций расчёт параметров гипоцентров оказался бы проблематичным, а в некоторых случаях невозможным. Для распознавания природы происходящих событий, а также сейсмологического мониторинга Воркутинского горнодобывающего района республики необходима установка здесь сейсмических станций, особенно теперь, когда Воркута вошла в перечень опорных территорий Арктической зоны РФ (Определен..., 2023).

Авторы благодарят сотрудников ГУ МЧС России по Республике Коми за содействие в макросейсмическом опросе населения.

Исследования проводились в рамках Государственных заданий ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (ГР № 122040600012-2), ФИЦКИА УрО РАН (ГР № 122011300389-8), ПФИЦ УрО РАН (ГР № 124020500029-1) и КоФ ФИЦ ЕГС РАН (ГР № 075-00682-24-00/06 с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира»).

Литература / References

- Асминг В. Э., Федоров А. В., Прокудина А. В. Программа для интерактивной обработки сейсмических и инфразвуковых записей LOS // Российский сейсмологический журнал. 2021. Т. 3. № 1. С. 27—40. DOI: 10.35540/2686-7907.2021.1.02
- Asming, V. E., Fedorov, A. V., & Prokudina, A. V. LOS software for interactive seismic and infrasonic data processing. Russian Journal of Seismology, 2021, V. 3(1), pp. 27—40. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2021.1.02>
- Беляева Л. И., Гончаров А. И., Иванов Н. В., Куликов В. И. Возможные катастрофические геодинамические явления в Воркутинском угольном бассейне // Проблемы взаимодействующих геосфер. М.: ГЕОС, 2009. С. 155—162.
- Belyaeva L. I., Goncharov A. I., Ivanov N. V., and Kulikov V. I. Probable catastrophic events in the Vorkuta coal basin. Problems of Interactions between the Geospheres. Moscow: GEOS, 2009, pp. 155—163. (in Russian)
- В городе тряхнуло. Почувствовали? // Привет! Сейчас в Воркуте!: Группа в «ВК». Запись от 1 августа, 21:46. URL: https://vk.com/wall-84515934_387029
- The city shook. Did you feel it? Hello! Now in Vorkuta! VK group. Record from August 1, 21:46. (access date: 15.11.2023) (in Russian)
- Верхоланцев Ф. Г., Голубева И. В., Дягилев Р. А., Злобина Т. В. Сейсмичность Урала и Западной Сибири в 2018—2019 гг. // Землетрясения Северной Евразии. 2023. Вып. 26 (2018—2019 гг.). С. 225—238. DOI: <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2023.26.19>
- Verkholantsev F. G., Golubeva I. V., Dyagilev R. A., Zlobina T. V. Seismicity of the Urals and Western Siberia in 2018—2019. Earthquakes in Northern Eurasia, 26(2018—2019), 2023, pp. 225—238. (in Russian)
- Внимание жителей... // Управление по делам ГО и ЧС г. Воркута: Группа «ВК». URL: https://vk.com/club_165339354 (дата обращения: 15.11.2023).
- Department for Civil Defense and Emergency Affairs of the city of Vorkuta. (access date: 15.11.2023). (in Russian)
- Габсатарова И. П. Внедрение в рутинную практику подразделений Геофизической службы РАН процедуры вычисления локальной магнитуды // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных. Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 49—53.
- Gabsatarova I. P. Introduction to procedures for calculating the local magnitude into the routine practice of departments of the Geophysical Survey of the RAS. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials from International seismological school. Obninsk, Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, 2006, pp. 49—53. (in Russian)
- Габсатарова И. П. Определение магнитуды MLV по поверхностным волнам региональных событий Кольского полуострова // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы Шестой Международной сейсмологической школы. Обнинск: ГС РАН, 2011. С. 107—113.
- Gabsatarova I. P. Determination of MLV magnitude from surface waves of regional events of the Kola Peninsula. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Proceedings of the Sixth International Seismological Workshop. Obninsk, GS RAS, 2011, pp. 107—113. (in Russian)
- ГОСТ Р 57546—2017. Землетрясения. Шкала сейсмической интенсивности. Введ. 2017-07-19. М.: Стандартинформ, 2017. 28 с.
- GOST R 57546-2017. Earthquakes Seismic Intensity Scale. Enter 2017-07-19. Moscow: Standardinform, 2017, 28 p. (in Russian)
- Дягилев Р. А., Верхоланцев Ф. Г., Варлашова Ю. В., Шулаков Д. Ю., Габсатарова И. П., Епифанский А. Г. Катав-Ивановское землетрясение 04.09.2018 г., mb = 5.4 (Урал) // Российский сейсмологический журнал. 2020. Т. 2. № 2. С. 7—20. DOI: 10.35540/2686-7907.2020.2.01
- Dyagilev R. A., Verkholantsev F. G., Varlashova Yu. V., Shulakov D. Yu., Gabsatarova I. P., Epifanskiy A. G. Katav-Ivanovsk earthquake on 04.09.2018, mb = 5.4 (Urals). Russian Journal of Seismology, V2, 2, pp. 7—20. (in Russian) DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.2.01>
- Красилов С. А., Коломиец М. В., Акимов А. П. Организация процесса обработки цифровых сейсмических данных с использованием программного комплекса WSG // Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных: Материалы международной сейсмологической школы, посвященной 100-летию открытия сейсмических станций «Пулково» и «Екатеринбург». Обнинск: ГС РАН, 2006. С. 77—83.
- Krasilov S. A., Kolomiets M. V., Akimov A. P., Organization of digital seismic data processing using the WSG software package. Modern methods of processing and interpretation of seismological data. Materials of the Seismological Workshop. Obninsk, Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences, 2006, pp. 77—83. (in Russian)
- Макаров А. Б. Практическая геомеханика: Пособие для горных инженеров. М.: Горная книга, 2006. 391 с.
- Makarov A. B. Practical geomechanics. Manual for mining engineers. Moscow: Gornaya Kniga, 2006, 391 p. (in Russian)



- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 536 с.
- New catalogue of strong earthquakes at the territory of USSR from ancient time till 1975. Moscow: Nauka, 1977, 536 p. (in Russian)
- Носкова Н. Н. Сейсмические события в Печорском угольном бассейне в 2016 году // Геодинамика, вещество, рудогенез Восточно-Европейской платформы и ее складчатого обрамления: Материалы Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2017. С. 133–135.
- Noskova N. N. Seismic Events in the Pechora Coal Basin in 2016, Geodynamics, Lithology and Ore Genesis in the East European Platform and Folded Periphery. Proc. All-Russ. Conf. with Int. Participation. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2017, pp. 133–135. (in Russian)
- Носкова Н. Н. Техногенное событие 8 июня 2015 г. на шахте «Комсомольская» // Минерально-сырьевые ресурсы арктических территорий Республики Коми и Ненецкого автономного округа: Материалы науч.-практ. совещ. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2016. С. 55–56.
- Noskova N. N. Mining-induced seismic event on June 8, 2015 in the Komsomolskaya Mine, Mineral Resources of the Arctic Territories of the Komi Republic and the Nenets Autonomous District: Proc. Sci.-Pract. Conf., Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2016, pp. 55–56. (in Russian)
- Носкова Н. Н., Асминг В. Э. Уточнение параметров ряда сейсмических событий, произошедших в Воркутинском районе Республики Коми в 1971–2016 гг. // Геофизический журнал. 2018. Т. 19. № 4. С. 46–63. <https://doi.org/10.21455/gr2018.4-4>
- Noskova N. N., and Asming V. E. Update of parameters of some seismic events in the Vorkuta area within 1971–2016. Geophysical Journal, 2018, V. 19, No. 4, pp. 46–63. (in Russian)
- Носкова Н. Н., Асминг В. Э., Федоров А. В. Сейсмическое событие на шахте «Комсомольская» 25 января 2018 г. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2018. № 4. С. 21–27. DOI: 10.15372/FTRPI20180403
- Noskova N. N., Asming V. E., Fedorov A. V. Seismic Event in the Komsomolskaya Mine on the 25th of January, 2018. J Min Sci, 54, 2018, pp. 550–555. <https://doi.org/10.1134/S1062739118043990>
- Носкова Н. Н., Конечная Я. В. Сейсмическое событие 2 апреля 2017 года вблизи г. Воркуты // Развитие систем сейсмологического и геофизического мониторинга природных и техногенных процессов на территории Северной Евразии: Материалы междунар. конф., посвящ. 50-летию открытия Центр. геофиз. обсерватории в г. Обнинске / Отв. редактор А. А. Маловичко. Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. С. 59.
- Noskova N. N., Konechnaya Ya. V. Seismic event on April 2, 2017 near the city of Vorkuta. The development of seismological and geophysical monitoring systems for natural and technogenic processes on the territory of Northern Eurasia, dedicated to 50-th anniversary of opening Central Geophysical Observatory in Obninsk. Responsible editor A. A. Malovichko. Obninsk: FRC GS RAS, 2017, p. 59 (in Russian)
- Носкова Н. Н., Попов И. В., Машин Д. О. Новый пункт сейсмических наблюдений на территории Республики Коми // Геофизические исследования. 2023. Т. 24. № 3. С. 52–68. <https://doi.org/10.21455/gr2023.3-3>
- Noskova N. N., Popov I. V., Mashin D. O. New seismic observation point on the territory of the Komi Republic. Geophysical Research, 2023, V. 24, No. 3, pp. 52–68. (in Russian)
- Определен перечень опорных населенных пунктов Российской Арктики / Министерство Российской Федерации по развитию Дальнего Востока и Арктики. URL: http://minvr.gov.ru/press-center/news/opredelen_perechen_opornykh_naseleennykh_punktov_rossiyskoy_arktiki/ (дата обращения: 01.11.2023).
- A list of support settlements in the Russian Arctic has been determined. Ministry of the Russian Federation for the Development of the Far East and the Arctic. (access date: 01.11.2023) (in Russian)
- Петрова Н. В., Дягилев Р. А., Габсатарова И. П. Особенности затухания сейсмического эффекта землетрясений Русской платформы и Урала // Вопросы инженерной сейсмологии. 2020. Т. 47. № 4. С. 5–25. <https://doi.org/10.21455/VIS2020.4-1>
- Petrova N. V., Dyagilev R. A., Gabsatarova I. P. Features of seismic effect attenuation of the Russian platform and Ural earthquakes. Problems of Engineering Seismology, 2020, V. 47, No. 4, pp. 5–25. (in Russian)
- Подслушано Воркута: Группа в «ВК». Запись от 21 февраля 2023 г. в 19:05. URL: https://vk.com/wall-157116000_558690 (дата обращения: 15.11.2023).
- Overheard in Vorkuta: VK group. Record from February 21, 2023 at 19:05. (access date: 15.11.2023) (in Russian)
- Привет! Сейчас в Воркуте!: Группа в «ВК». Запись от 23 июня в 12:24. URL: https://vk.com/wall-84515934_383154 (дата обращения: 15.11.2023).
- Hello! Now in Vorkuta! VK group. Record from on June 23 at 12:24. (access date: 15.11.2023). (in Russian)
- Сейсмическое районирование СССР / Под ред. С. В. Медведева. М.: Наука, 1968. 476 с.
- Seismic zonation of the USSR. S. V. Medvedev (ed). Moscow: Nauka, 1968, 476 p. (in Russian)
- Хэлоу, Воркута: Группа в «ВК». Запись от 21 февраля 2023 г. в 19:05. URL: https://vk.com/wall-105007569_1093960 (дата обращения: 15.11.2023).
- Hello, Vorkuta. VK group from February 21, 2023 at 19:05. (access date: 15.11.2023). (in Russian)
- Gutenberg B. and Richter C. F. (1956). Magnitude and energy of earthquakes. Annali di Geofisica, 9, 1, 1–15.
- Kennett B. L. N., Engdahl E. R., Buland R. Constraints on seismic velocities in the Earth from travel times // Geophysical Journal International. 1995. No. 122. P. 108–124.
- NORSAR (1971). NORSAR Seismic Bulletins. URL: <https://doi.org/10.21348/b.0001> (дата обращения: 01.11.2023).
- Schuessler W., Morozov I. B., and Smithson S. B. Crustal and uppermost mantle velocity structure of northern Eurasia along the profile Quartz // Bulletin of the Seismological Society of America, 1997. No. 87. pp. 414–426.



300 лет Российской академии наук 300 years of Russian Academy of Sciences

УДК 548.12

DOI:10.19110/geov.2024.1.5

Из опыта преподавания. XIII. Имя кристаллического полиэдра. К 130-летию со дня рождения А. Ф. Лосева и 100-летию «Философии имени»

Ю. Л. Войтеховский

Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена,
Российское минералогическое общество, Санкт-Петербург
vojtehovskij@herzen.spb.ru

Статья приурочена к 130-летию со дня рождения выдающегося российского философа А. Ф. Лосева (1893–1988) и 100-летию его работы «Философия имени». В русле его идей в статье рассмотрена номенклатура полиэдрических кристаллических простых форм, разработанная научной школой «Федоровского института» под руководством А. К. Болдырева в стенах Ленинградского горного института. Предложен общий алгоритмический подход к номенклатуре выпуклых полиэдров, удобный для компьютерной обработки данных. Он открывает обширную исследовательскую программу на границе комбинаторной теории выпуклых полиэдров, линейной алгебры и теории чисел. Цель статьи – совершенствование преподавания кристаллографии в российских университетах и расширение кругозора обучающихся в смежных областях знания.

Ключевые слова: А. Ф. Лосев, «Философия имени», выпуклый полиэдр, кристаллический полиэдр, полиэдрическая простая форма, матрица смежности, бинарный код, десятичный код, имя выпуклого полиэдра.

From teaching experience. XIII. Name of crystal polyhedron. On the occasion of the 130th anniversary of A. F. Losev's birth and the 100th anniversary of the «Philosophy of the Name»

Yu. L. Voytekhovsky

A. I. Herzen Russian State Pedagogical University,
Russian Mineralogical Society, Saint Petersburg

The article is timed to the 130th anniversary of the birth of the outstanding Russian philosopher A. F. Losev (1893–1988) and the 100th anniversary of his work «The Philosophy of Name». Against the background of his ideas, the article considers the nomenclature of polyhedral crystalline simple forms, developed by the scientific school of the «Fedorov Institute» under the leadership of A. K. Boldyrev in the walls of the Leningrad Mining Institute. A general algorithmic approach to the nomenclature of convex polyhedra, convenient for computer data processing, is proposed. It opens an extensive research programme on the frontier of combinatorial theory of convex polyhedra, linear algebra and number theory. The aim of the article is to improve the teaching of crystallography in Russian universities and to broaden the outlook of students in related fields of knowledge.

Keywords: A. F. Losev, «Philosophy of Name», convex polyhedron, crystalline polyhedron, polyhedral simple form, adjacency matrix, binary code, decimal code, name of convex polyhedron.

Философия почти ушла из естественных наук, которые, углубляясь в свои предметы, разбегаются, подобно галактикам. Перевод нашей российской степени «к. г.-м. н.» в английскую Ph. D., то есть Philosophy Degree, уже смотрится пережитком и даже курьезом. А ведь философия весьма способствует междисциплинарному взгляду на проблемы. Как следует называть вещь, например кристаллический полиэдр? Как, поиграв вариантами и изобретя синонимы, их в итоге со-

храняет язык? Должно ли имя лишь указывать на предмет или содержать в архивированном виде его конструктивное определение? Что позволяет сохранять «по инерции» имя вещи, радикально изменившейся в ходе непрерывной эволюции?¹ Взятая во всей полноте, тема обращает нас к долгой философской традиции, в которой верстовыми столбами стоят имена Г. Фреге, Б. Рассела, П. Стросона, Дж. Серла, Дж. Берджеса, С. Крипке, Л. Витгенштейна, С. Коэна и других, в том

¹ Автора этих строк не узнать на фото в 1 год, а имя — то же. Что роднит эти два лица? Философская проблема налицо!

Для цитирования: Войтеховский Ю. Л. Из опыта преподавания. XIII. Имя кристаллического полиэдра. К 130-летию со дня рождения А. Ф. Лосева и 100-летию «Философии имени» // Вестник геонаук. 2024. 1 (349). С. 43–49. DOI: 10.19110/geov.2024.1.5

For citation: Voytekhovsky Yu. L. From teaching experience. XIII. Name of crystal polyhedron. On the occasion of the 130th anniversary of A. F. Losev's birth and the 100th anniversary of the «Philosophy of the Name». Vestnik of Geosciences, 2024, 1 (349), pp. 43–49, doi: 10.19110/geov.2024.1.5



Рис. 1. А. Ф. Лосев и его книги (одно из последних фото)

Fig. 1. A. F. Losev and his books (one of the last photos)

числе российского философа А. Ф. Лосева (1893—1988)² (рис. 1). Далее коротко рассмотрены его идеи, впервые изложенные в «Философии имени» в 1923 г., а в их русле — номенклатура выпуклых полиэдров вообще и полиэдрических кристаллических простых форм в частности. Педагогический момент очевиден: студентам интересно, когда специальный предмет вдруг утопает в мировоззренческой проблеме *sub specie aeternitatis*, а в пограничных областях обнаруживаются новые пути для исследования.

«Философия имени»

Не надо думать, что А. Ф. Лосев, «русский Платон» и «Платон XX века», сразу умчит нас в идеальные абстракции. В силу обстоятельств своей жизни он прекрасно понимал, что такое эмпирические факты и обобщения. Это близко кристаллографам и минерологам. Эмпирические обобщения — научное кредо столь крупного естествоиспытателя, как В. И. Вернадский. Но здесь дело в другом. «Надо отдать эмпирии всякую дань, которую она только заслуживает, но надо отдать дань и теории, какую последняя только заслуживает. Диалектика есть и абсолютный эмпиризм, и абсолютный рационализм, и истину её вы поймёте именно только тогда, когда возьмёте эти два противоречивых утверждения синтетически, как нечто одно. В этом и только в этом и заключается жизненность диалектики» (Лосев, 2009, с. 94).

Разбору всех аспектов книги «Философия имени» посвящено много текстов. Для дальнейшего нам важно знать мнение философа об имени вещи. «Слово, и в частности имя, есть необходимый результат мысли, и только в нём мысль достигает своего высшего напряжения и значения. <...> Без слова и имени нет вообще разумного бытия, разумного проявления бытия,

разумной встречи с бытием» (Там же, с. 96). С этой платформой нельзя не согласиться. Но что предлагается? Если коротко, то А. Ф. Лосев снимает со слова слой за слоем, пока не доберется до сути, которую называет идеей.

1-й слой — «фонема, звуковая оболочка слова» (с. 100), 2-й — «семема, сфера слова, обладающая значением» (с. 102), 3-й — «ноэма, т. е. то, что мыслится в слове» (с. 106), 4-й — «идея, такой момент в слове, который исключает не только индивидуальную, но и всякую другую инаковость понимания и который говорит о полной адекватности понимания и понимаемого <...> арена встречи адекватного понимания с адекватно понимаемым <...> арена полного формулирования смысла в слове» (с. 116); «идея предмета и есть самый предмет целиком, но перенесённый в инобытие» (с. 122); «тут полное и абсолютное не единство и сходство, но тождество со своим инобытием» (с. 123). Но возможна ли номенклатура выпуклых полиэдров, не содержащая информационного шума, чтобы имя отсылало к форме без метафор, алгоритмически распаковывалось и давало все свойства полиэдра, различимые визуально?

Выпуклые полиэдры

С их именованьем дело обстоит из рук вон плохо. Само слово «полиэдр», т. е. многогранник, — условность, т. к. одновременно он многовершинник и многореберник. В истории минералогии (зарождавшейся кристаллографии) проблемой именованья форм кристаллов занимался Ж. Б. Л. Роме-де-Лиль во второй половине XVIII века. Числа граней (F), ребер (E) и вершин (V) связаны фундаментальной теоремой Эйлера: $F - E + V = 2$, говорящей о 3D-евклидовом пространстве. Дуальным переходом многогранники превращаются в «столько-же-вершинники» и *vice versa* при

² У нашего поколения в студенчестве его имя было легендарным. Арестован в 1930 г. за книгу «Диалектика мифа», в которой отверг марксизм. Осужден на 10 лет исправительно-трудовых лагерей, строил Беломорско-Балтийский канал, где потерял зрение. На вопрос: «Остались ли в СССР философы-идеалисты?» — И. В. Сталин якобы получил ответ: «Есть один, А. Ф. Лосев». Вождь мудро решил: «Один пусть будет»... По просьбе жены А. М. Горького освобожден в 1933. Более 40 лет преподавал в Московском государственном педагогическом институте. По слухам, ради него студенты переводились из МГУ в МГПИ. Реабилитирован посмертно в 1994 г., к 100-летию со дня рождения.



сохранении числа ребер и симметрии... Впрочем, из имени «тетраэдр» можно извлечь, что он такой один, его 4 грани — треугольники, сходящиеся по 3 в каждой из 4 вершин, ребер — 6. Этим в комбинаторном смысле все сказано. А вот дальше — беда...

Хорош ли термин «пентаэдр»? Плох, ведь их два — тетрагональная пирамида и тригональная призма с пинакоидом, но эти составные имена требуют цепочки предварительных определений. А «гексаэдр»? Еще хуже, ведь их уже семь. Под «гексаэдром» мы обычно понимаем самый симметричный из них — «куб». Это имя ужасно, ибо не содержит вообще никакой информации о форме, апеллируя к рефлексу, выработанному с детства. Таков же и «октаэдр» — самый симметричный из 257, дуальный к «кубу». По Е. С. Федорову, «кристаллы блещут симметрией». Симметричные формы издавна нравились математикам. С древности и до сего дня классическими объектами изучения в геометрии и алгебре (теории групп) стали многообразия правильных полиэдров Платона и полуправильных (в разных смыслах) — Архимеда, Каталани и Залгаллера-Джонсона.

О выпуклых полиэдрах писали и доказывали теоремы многие. Укажем авторов, которые занимались именно систематическим перечислением их комбинаторных типов (подразумевающих определенный набор граней и способ их соединения без учета площадей и углов). Дело было начато работой Kirkman (1862/1863), где описаны (без рисунков) все 4-...8-эдры, дуальные им 4-...8-вершинники и 9-эдры с числом ребер менее 17. Затем Е. С. Федоров (1893) с помощью своего алгоритма нашел и изобразил все 4-...7-, а также простые (в каждой вершине сходятся ровно 3 ребра) 8- и 9-эдры. Он не знал предыдущей работы. Это видно из того, что число 7-эдров у него другое, и это не обсуждается. В статье (Негмес, 1899) нарисованы, тоже независимо, все 4-...8-эдры, в книге (Brückner, 1900) — простые 4-...10-эдры, в серии статей (Bouwkamp, 1946) — полиэдры с числом ребер до 14. Этим завершился период рисования.

Прошло немало лет, прежде чем математики вернулись к проблеме, но уже с компьютерами. В диссертации (Grace, 1965) найдены все простые 4-...11-эдры, в статье (Bowen, Fisk, 1967) — все 4-...12-вершинные

триангуляции на сфере и тем самым — дуальные простые 4-...12-эдры. В статье (Britton, Dunitz, 1973) изображены все 4-...8-вершинники, в статьях (Federico, 1969, 1975) — дуальные к ним 4-...8- и все 9-эдры. Число всех 10-эдров впервые указано в статье (Duijvestijn, Federico, 1981), там же дана статистика полиэдров с различными порядками групп автоморфизмов (п. г. а.). П. Энгель с помощью компьютерного варианта федоровского алгоритма нашел все 11-, 12- и простые 13-эдры (Engel, 1982, 1994) и дал самую полную на тот момент статистику простых 4-...15-эдров по п. г. а. (Engel, 2002).

Авторами статей (Voytekhovskiy, 2001a, 2001b; Voytekhovskiy, Stepenshchikov, 2002a, 2002b, 2003a, 2003b, 2005, 2006) с помощью оригинального компьютерного алгоритма проверены данные о комбинаторных типах и точечных группах симметрии (т. г. с.) всех 4-...12- и простых 13-...16-эдров, устранены ошибки, даны изображения всех 4-...8- и простых 9-...12-эдров, при этом т. г. с. простых 13-...16-эдров найдены впервые. Заметим, что т. г. с. характеризуют полиэдры гораздо точнее, чем п. г. а. (Так, т. г. с. С, Р и L₂ имеют п. г. а. 2.) Самая полная на сегодня статистика выпуклых полиэдров, охарактеризованных т. г. с., дана в табл. 1. (Число полиэдрических графов рассчитано гораздо дальше, но без п. г. а., и тем более без т. г. с. изоморфных им выпуклых полиэдров.) Каталоги их проекций Шлегеля (на одну из граней) и т. г. с. (Войтеховский, Степеншиков, 2008a, 2008b) доступны на сайте Геологического института ФИЦ КНЦ РАН.

Из сказанного выше видно, что каждый автор, как правило, повторял работу предшественников своим способом, удостовераясь в правильности результата или исправляя ошибки. Это неизбежно уже потому, что почти все известные алгоритмы рекуррентные, то есть (n+1)-гранники находят не иначе как из n-гранников. В рутинном переборе вариантов ошибки были даже у Е. С. Федорова (1893) с его уникальным пространственным воображением. П. Энгель указал: «два типа, IV'''11 и IV'''12, и два типа энантиоморфных пар, VI 46/47 и VI 55/56, соответственно изоморфны» (Engel, 1994, с. 23). Е. С. Федоров завысил число 7-эдров 3-й степени частности и простых 9-эдров на 1. Полиэдр IV'''11 отнесен им к дитригонально-пирамидальной (3m), IV'''12

Таблица 1. Число комбинаторных типов выпуклых полиэдров
Table 1. Number of combinatorial types of convex polyhedra

↓F, V→	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28				
4	1																								
5		1	1																						
6			1	2	2	2																			
7				2	8	11	8	5																	
8					2	11	42	74	76	38	14														
9						8	74	296	633	768	558	219	50												
10							5	76	633	2635	6134	8822	7916	4442	1404	233									
11									38	768	6134	25626	64439	104213	112082	79773	36528	9714	1249						
12										14	558	8822	64439	268394	709302	1263032	1556952	1338853	789749	306470	70454	7595			
13																						49566			
14																							339722		
15																								2406841	
16																									17490241

— к гемипризматической безосной (диздрической безосной, *m*) т. г. с. Но это один и тот же полиэдр с т. г. с. *3m* в проекции Шлегеля на две различные грани. Во втором случае обе энантиоморфные пары верно отнесены им к гемипинакоидальной (моноэдрической, *l*) т. г. с. Но это одна и та же пара 9-эдров. Заметим, что и П. Энгель в указании ошибки Е. С. Федорова допустил неточность. Полиэдр VI 46 изоморфен VI 56, а VI 47 изоморфен VI 55. Нами обнаружена еще одна ошибка Е. С. Федорова. Полиэдр VI 44 отнесен им к гемипризматической безосной т. г. с. (*m*). Но его следует отнести к т. г. с. *3m*. Из этих примеров ясно, что вывод комбинаторных типов полиэдров и их симметричный анализ требуют большой тщательности и должны повторяться разными авторами разными методами.

К табл. 1 сделаем три примечания. 1. В силу дуальности выпуклых полиэдров она симметрична относительно диагонали $F = V$ и достраивается вниз. На диагонали расположены автодуальные «пирамидальные» классы полиэдров. Не лишен интереса вопрос: какие еще автодуальные полиэдры (кроме пирамид) реализуемы в кристаллографических т. г. с.? 2. Неоднократно отмечалось (автором и другими), что минеральные полиэдры обычно диссимметризованы. Из-за смещения граней вдоль нормалей вершины с кратностью более 3 растянуты в несколько простых вершин, соединенных ребрами. В табл. 1 простые полиэдры находятся в последней клетке каждой строки ($V = 2F - 4$), их разнообразие огромно. Сюда же попадают и минеральные зерна горных пород, если их рассмотреть в комбинаторном приближении (без геометрии контактов). 3. Табл. 1 показывает, что кристаллические полиэдры (простые формы и их обычно несложные комбинации) — весьма малый островок в океане выпуклых полиэдров.

Возвращаясь к проблеме именования полиэдров, заметим, что теория симметрии в этом не спасает. С ростом *n* доля комбинаторно-асимметричных (не приводимых к симметричному виду никакой непрерывной деформацией) выпуклых *n*-эдров стремится к 100 %: все 4-...6-эдры (их 1, 2, 7) симметричны, из 7-эдров (34) асимметричны 7 (20.588 %), из 8-эдров (257) — 140 (54.475 %), из 9-эдров (2606) — 2111 (81.005 %), из 10-эдров (32300) — 30014 (92.923 %), из 11-эдров (440564) — 430494 (97.714 %), из 12-эдров (6384634) — 6336013 (99.238 %), из простых³ 13-эдров (49566) — 47030 (94.884 %), из 14-эдров (339722) — 331796 (97.667 %), из 15-эдров (2406841) — 2382352 (98.983 %), из 16-эдров (17490241) — 17411448 (99.550 %). Уже поэтому нужен способ именования комбинаторно асимметричных выпуклых полиэдров, преобладающих довлеющим образом. Все они, а значит почти все выпуклые полиэдры (ввиду исчезающе малой доли симметричных) безымянные! Статистика по всем т. г. с. дана в монографиях (Войтеховский, Степенщиков, 2008а, 2008б).

Полиэдрические простые формы

Отдадим должное номенклатуре кристаллических простых форм, разработанной научной школой «Федоровского института» под руководством А. К. Бол-

дырева в стенах Ленинградского горного института (Boldyrev, 1925, 1936; Шафрановский и др., 1959; Войтеховский, 2021). Она удобна и принята в большинстве стран. Тогда «чего же боле»? Для примера рассмотрим серию простых форм, производных от тетраэдра: тригон-, тетрагон-, пентагонитетраэдр и гексатетраэдр. Первые три конструируются однотипно — над гранями тетраэдра достраиваются пирамидки из тригонов, тетрагонов и пентагонов, всегда по 3. В четвертом случае — тоже из тригонов, но их 6. Полное имя формы — тригонгексатетраэдр. Тетрагона и пентагона здесь быть не может (неочевидно, но известно), поэтому и «тригон» не указан, но подразумевается. Тут видна попытка классиков упростить номенклатуру. Схема рациональна и стартует от тетраэдра, который единственный. Но все хуже для серий, производных от гексаэдра и октаэдра, которые не единственны и сами требуют определения. Далее предлагается логическая схема именования выпуклых полиэдров на основе их простых свойств.

Алгоритм именования

«Свойство есть то, что никак отделить или отнять невозможно / Без разрушения того, чему оно будет приуще: / Вес у камней, у огня теплота, у воды ее влажность...» (Лукреций, 2006, с. 41, строки 451—453). У выпуклого полиэдра в комбинаторном приближении — его реберный граф, который трехсвязен и планарен, то есть может быть изображен на плоскости без самопересечений (в проекции Шлегеля на одну из граней). Рассмотрим на примере тетраэдра следующий алгоритм (рис. 2).

1. Нумеруем вершины в произвольном порядке (у тетраэдра все нумерации эквивалентны из-за малого числа вершин и высокой симметрии). 2. Построим матрицу смежности 4×4 : на пересечении *i*-й строки и *j*-го столбца ставим 1, если *i*-я и *j*-я вершины соединены ребром, иначе — 0. 3. Она симметрична, т. к. симметрично логическое отношение смежности вершин. Сохраняем верхний (или нижний) треугольник. 4. Выписываем построчно бинарный код и преобразуем его в десятичный: $111111 = 10^5 + 10^4 + 10^3 + 10^2 + 10^1 + 10^0 \rightarrow 2^5 + 2^4 + 2^3 + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 63$ — это и есть имя тетраэдра⁴. Обратным ходом восстанавливается реберный граф, далее действует теорема: полиэдрический граф расправляется в полиэдр, т. г. с. которого изоморфна группе автоморфизмов графа (Mani, 1971).

Заметим, что в алгоритме полиэдр предстает как поливершинник. Матрица смежности весьма информативна: ее порядок — число вершин (4), число единиц в верхнем (или нижнем) треугольнике — число ребер (6),

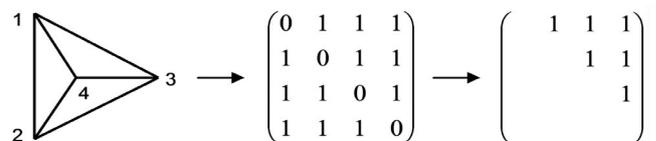


Рис. 2. Построение имени тетраэдра
Fig. 2. Constructing the name of a tetrahedron

³ У простых полиэдров все вершины 3-валентные (простые).

⁴ Пифагор принес богам гекатомбу в честь открытия теоремы, носящей его имя. Полагаем, открытие числового имени тетраэдра (символа огня) пифагорейцы оценили бы высоко.



число граней находим по теореме Эйлера (4), п. г. а. графа — число парных перестановок строк и столбцов, сохраняющих матрицу смежности ($4! = 24$); более тонким анализом можно показать, что это именно т. г. с. — 43т.

Примеры

Для полиэдра с большим числом вершин при различных нумерациях получаются различные матрицы смежности и имена. Для 5-вершинников возможны $5! = 120$ нумераций. Но число имен зависит от т. г. с. Так, тетрагональная пирамида имеет т. г. с. 4тм, п. г. а. — 8. Поэтому число имён $120 / 8 = 15$ (рис. 3). Для 3-гональной бипирамиды (второй 5-вершинник, т. г. с. — 6т2, п. г. а. 12) число имён $120 / 12 = 10$. Правило обобщается: у n -вершинника число имен равно $n! / p$, где p — его п. г. а.

Итак, лишь для тетраэдра (т. г. с. — 43т, п. г. а. 24) получим $4! / 24 = 1$ — одно имя. Для октаэдра $6! / 48 = 15$, для куба $8! / 48 = 840$ и т. д. Любое имя определяет полиэдр строго и шума не содержит. Но имеет место синонимия, ее причина ясна и логична. Разные нумерации вершин — это взгляд в другом ракурсе. Если вид иной, то и имя иное. Какое выбрать? Пожалуй, удобно минимальное (507 на рис. 3). Минимальное и максимальное имена обычно находятся несложными рассуждениями. Для октаэдра это 16341 и 31583. Предлагаем читателю найти их для куба⁵.

Из общего правила следует, что у комбинаторно асимметричных n -вершинников ($p = 1$) число имён равно $n!$. Результат эвристичен, т. к. выражает асимметричность полиэдра не как отрицание симметричности, а содержательно — через число вершин и матрицу смежности. Асимметричные полиэдры факториальны (их довлеющее большинство, они заслуживают имени без «а»), симметричные — афакториальны. Число имён — новый показатель симметричности: при данном n чем больше имён — тем ниже симметрия.

Имена на числовой прямой

Коль скоро рассуждение перешло в область теории чисел, интересно выяснить, как имена полиэдров распределены на числовой прямой. Для 4-...7-вершинников это выглядит так: [63], [507, 1022], [7915, 32754], [241483, 2096914]. Диапазоны имен n - и $(n+1)$ -вершинников никогда не перекрываются. Пусть \max_n — максимальное имя среди n -вершинников, \min_{n+1} — минимальное имя среди $(n+1)$ -вершинников. Первое не превосходит имени, составленного из единиц, заполняющих верхний треугольник матрицы смежности $n \times n$ (совпадает только для тетраэдра). Но в каждой вершине полиэдра сходятся не менее трёх рёбер. Поэтому в верхней строке матрицы смежности $(n+1) \times (n+1)$ любого $(n+1)$ -вершинника (т. е. в области более высоких рядов двоичного кода) не менее трех единиц. Хватило бы и одной, чтобы имело место неравенство: $\max_n < \min_{n+1}$.

Есть и более тонкие утверждения: \min_n всегда принадлежит пирамиде (рис. 4), \max_n — полиэдру, «склеенному» из тетраэдров вдоль общего ребра (рис. 5), то и другое — при специальной нумерации вершин (Voytekhovsky, 2017a). Оба ряда полиэдров начинаются с тетраэдра, т. к. он тоже пирамида. Есть и неожиданное применение результата: если натуральное число попадает в зазор между указанными выше интервалами, то это не имя полиэдрического графа.

Как ведёт себя многообразие имен полиэдров при неограниченном росте числа вершин? Его удалось обуздать теоремами, связывающими границы соседних интервалов: $\min_{n+1} / \max_n \rightarrow 7$, $\max_{n+1} / \max_n \approx 2^n$, $\min_{n+1} / \min_n \approx 2^{n-1} + 11/7$, $\max_n / \min_n \approx 2^{n-1} / 7$ (Voytekhovsky, 2017b). Соотношения легко интерпретируются в логарифмической шкале. Интервалы $[\lg \min_n, \lg \max_n]$ монотонно растут, зазоры между ними быстро стремятся к $\lg 7 = 0.845$ (рис. 6). Здесь есть порядок, но найденная асимптота требует объяснения!

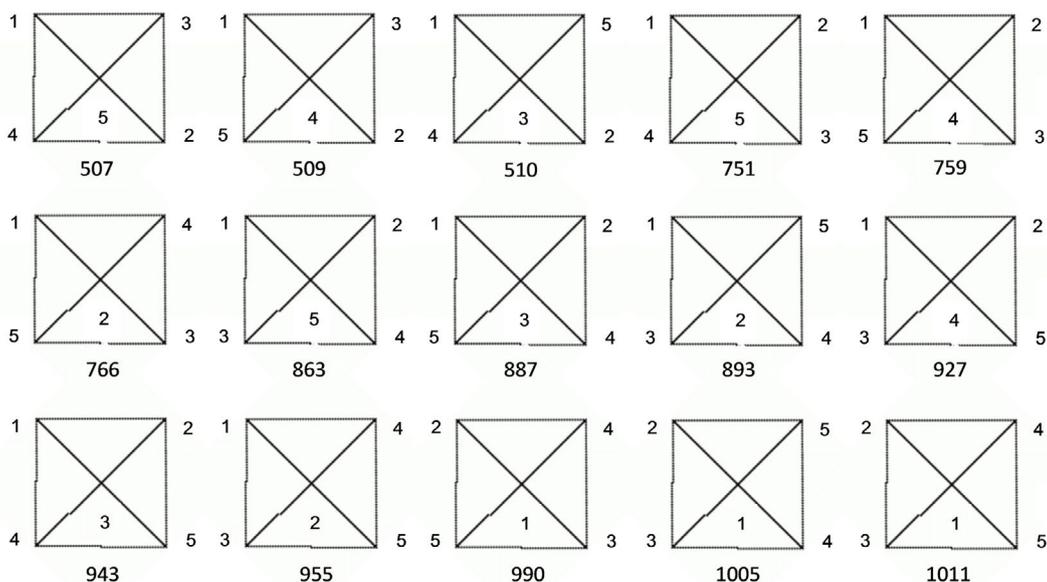


Рис. 3. Имена тетрагональной пирамиды

Fig. 3. Names of the tetragonal pyramid

⁵ Кажется, только что родился новый тип занимательной задачи: для данного выпуклого полиэдра найти минимальное и максимальное имена и соответствующие нумерации вершин. Это не менее интересно, чем решать кроссворды.

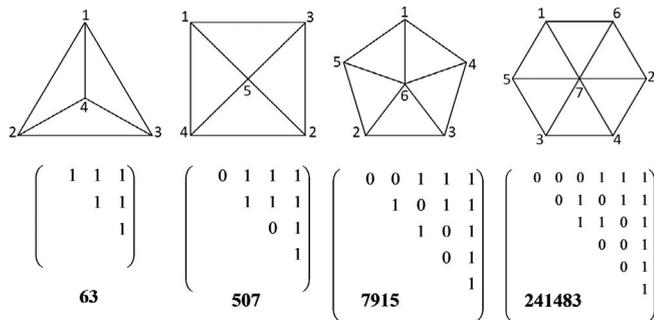


Рис. 4. Минимальные имена 4-...7-вершинников
 Fig. 4. Minimum names of 4-...7-acrons

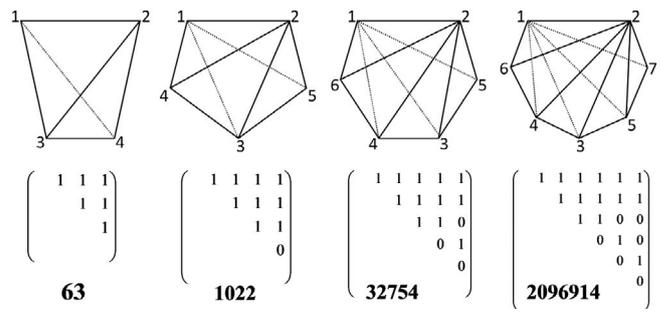


Рис. 5. Максимальные имена 4-...7-вершинников
 Fig. 5. Maximum names of 4-...7-acrons

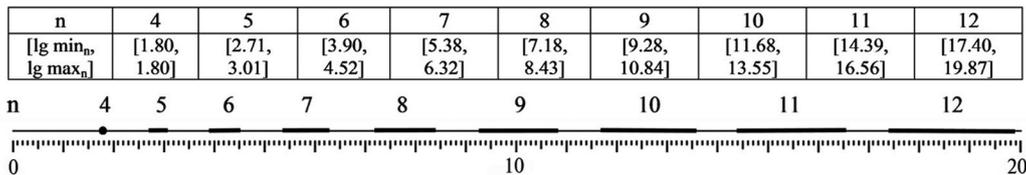


Рис. 6. Интервалы [lg min_n, lg max_n] для n = 4..12 на числовой прямой
 Fig. 6. The [lg min_n, lg max_n] ranges for n = 4 to 12 on a real line

Заключение

Идея А. Ф. Лосева об имени, говорящем о вещи все и не содержащем информационного шума, оказалась реализуемой для выпуклых полиэдров. В мире чисел они достигли «тождества со своим инобытием» и успешно обрабатываются на компьютере. Справедливости ради заметим, что другого такого примера мы не знаем. Удобен ли построенный алгоритм для описания кристаллических полиэдров? Скорее нет, чем да, по двум причинам. 1. Принятая в кристаллографии номенклатура создана для быстрого распознавания форм и коммуникации, она указывает на форму символически (куб — это...) или конструктивно (тетрагонтриоктаэдр строим так-то). Эту задачу она решает хорошо и успешно осваивается поколениями студентов. 2. Форма идеального кристалла определена структурой с точностью до т. г. с. Поэтому закономерно, что и номенклатура полиэдрических простых форм использует указания на тетраэдр, куб, октаэдр с известными т. г. с. — это рационально. Отметим важные кристаллографические следствия из результатов табл. 1: интуитивное представление о преобладающей в мире полиэдров симметрии в корне неверно. Класс примитивных триклинных полиэдров, выглядящий изгоем в известной таблице 32 т. г. с., среди абстрактных выпуклых полиэдров преобладает довлеющим образом. Зато среди минеральных преобладают простые (с 3-валентными вершинами) полиэдры. Но это — совсем другое свойство формы, с симметрией не связанное. Эту связь еще предстоит исследовать.

И хотя между философским, математическим, кристаллографическим, минералогическим и прочими рассуждениями о полиэдрах (они везде в живой и неживой природе) зияют смысловые зазоры, кажется полезным, чтобы студенты знали, как решается задача о строгом именовании выпуклого полиэдра, как он кодируется матрицей смежности, а та — бинарным кодом, переводимым в натуральное число, как все выпуклые полиэдры закономерно (кластерами по числу вершин, на левом фланге — пирамиды, на правом —

«склеенные тетраэдры») выстраиваются на числовой прямой, наконец, как специальная кристаллографическая задача утопает в философской проблеме. Результаты схвачены почти десятком теорем и открывают перспективу исследования на стыке нескольких дисциплин. Профессор Д. П. Григорьев не уставал повторять своим студентам, что «минералы — не на бумаге, а в природе», т. е. в мире вещей. Мы постарались показать другую сторону проблемы — имя вещи не есть сама вещь, а принадлежит миру идей. Поэтому именование полиэдрических форм оказалось частью проблемы имени вещи в общей философской постановке. Отталкиваясь от предметов своей науки, время от времени стоит задумываться о природе вещей (Лукреций, 2006).

Автор благодарит к. г.-м. н. Д. Г. Степеничкува за творческое сотрудничество в пору нашего увлечения проблемой генерирования многообразий выпуклых полиэдров и рецензентов за профессиональные рекомендации, способствовавшие более полному и понятному изложению материала.

Литература / References

Войтеховский Ю. Л. 100 лет Федоровскому институту // Зап. РМО. 2021. № 4. С. 135—141. doi:10.31857/S0869605521040080
 Voytekhovsky Yu. L. 100 years of Fedorov Institute. Proc. Rus. Miner. Soc., 2021, No. 4, pp. 135—141. doi:10.31857/S0869605521040080. (in Russian)

Войтеховский Ю. Л., Степеничков Д. Г. Комбинаторная кристалломорфология. Кн. IV. Выпуклые полиэдры. Т. I. 4-...12-эдры. Апатиты: КНЦ РАН, 2008а. 833 с.
 Voytekhovsky Yu. L., Stepenschikov D. G. Combinatorial crystal morphology. Book IV. Convex polyhedra. Vol. I. 4-...12-hedra). Apatity: Kola SC RAS, 2008a, 833 p. (in Russian)

Войтеховский Ю. Л., Степеничков Д. Г. Комбинаторная кристалломорфология. Кн. IV. Выпуклые полиэдры. Т. II. Простые 13-...16-эдры. Апатиты: КНЦ РАН, 2008б. 828 с.



- Voytekhevsky Yu. L., Stepenshchikov D. G. Combinatorial crystal morphology. Book IV. Convex polyhedra. V. 2. Simple 13-...16-hedra. Apatity: Kola SC RAS, 2008b, 828 p. (in Russian)
- Лосев А. Ф. Философия имени. М.: Академический проект, 2009. 300 с.
- Losev A. F. Philosophy of the Name. Moscow: Academic Project, 2009, 300 p. (in Russian)
- Луcretий (Тит Луcretий Кар). О природе вещей. М.: Мир книги, 2006. 336 с.
- Lucretius (Titus Lucretius Carus). On the Nature of Things. Moscow: Mir knigi, 2006, 336 p. (in Russian)
- Федоров Е. С. Основания морфологии и систематики многогранников // Зап. Импер. С.-Петербург. минерал. об-ва. 1893. Ч. 30. С. 241–341.
- Fedorov E. S. Foundations of morphology and systematics of polyhedra. Proc. Imp. Saint Petersburg Miner. Soc., 1893, pt. 30, pp. 241–341. (in Russian)
- Шафрановский И. И., Мокиевский В. А., Стулов Н. Н. Дискуссии о номенклатуре кристаллографических форм во Французском минералогическом обществе // Зап. ВМО. 1959. № 4. С. 492–495.
- Shafranovsky I. I., Mokievsky V. A., Stulov N. N. Discussions on the nomenclature of crystallographic forms at the French Mineralogical Society. Proc. All-Rus. Miner. Soc., 1959, No. 4, pp. 492–495. (in Russian)
- Boldyrev A. K. Die von Fedorov Institut angenommene kristallographische Nomenklatur. Zeitschr. Krist., 1925, Bd. 62, S. 145–150.
- Boldyrev A. K. Are there 47 or 48 simple forms possible on crystals? Amer. Miner., 1936, vol. 21, No. 11, pp. 731–734.
- Bouwkamp C. J. On the dissection of rectangles into squares // Proc. Nederl. Akad. Wetensch., 1946, A49, pt. I, pp. 1176–1188; A50, pt. II, pp. 58–71; pt. III, pp. 72–78.
- Bowen R., Fisk S. Generation of triangulations of the sphere // Math. Comp., 1967, vol. 21, pp. 250–252.
- Britton D., Dunitz J. D. A complete catalogue of polyhedra with eight or fewer vertices // Acta Cryst., 1973, A29, pp. 362–371.
- Brückner M. Vielecke und Vielfläche. Leipzig: Teubner, 1900, 250 S.
- Duijvestijn A. J. W., Federico P. J. The number of polyhedral (3-connected planar) graphs // Math. Comp., 1981, vol. 37, pp. 523–532.
- Engel P. On the enumeration of polyhedra // Discrete Math., 1982, vol. 41, pp. 215–218.
- Engel P. On the morphology of polyhedra // Zapiski (Proceedings) Rus. Miner. Soc., 1994, No. 3, pp. 20–25.
- Engel P. On the enumeration of the simple 3-polyhedra // Acta Cryst., 2002, A59, pp. 14–17.
- Federiko P. J. Enumeration of polyhedra: the number of 9-hedra // J. Comb. Theory, 1969, No. 7, pp. 155–161.
- Federiko P. J. Polyhedra with 4 to 8 faces // Geometr. Dedicata, 1975, vol. 3, pp. 469–481.
- Grace D. W. Computer search for non-isomorphic convex polyhedra. Ph. D. Thesis. Comp. Sci. Dept., Stanford University, California, USA. 1965.
- Hermes O. Die Formen der Vielfläche // J. reine angew. Math., 1899, vol. 120, S. 305–353.
- Kirkman T. P. Applications of the theory of the polyhedra to the enumeration and registration of results // Proc. Royal Soc. London, 1862/1863, vol. 12, pp. 341–380.
- Mani P. Automorphismen von polyedrischen Graphen. Math. Ann., 1971, vol. 192, S. 279–303.
- Voytekhevsky Yu. L. On the symmetry of 4- to 11-hedra // Acta Cryst., 2001a, A57, pp. 112–113.
- Voytekhevsky Yu. L. The Fedorov algorithm revised // Acta Cryst., 2001b, A57, pp. 475–477.
- Voytekhevsky Yu. L. Convex polyhedra with minimum and maximum names. Acta Cryst., 2017a, A73, pp. 271–273. <https://doi.org/10.1107/S2053273317004053>
- Voytekhevsky Yu. L. Accelerated scattering of convex polyhedra. Acta Cryst., 2017b, A73, pp. 423–425. <https://doi.org/10.1107/S2053273317009196>
- Voytekhevsky Y. L., Stepenshchikov D. G. On the symmetry of 9- and 10-hedra // Acta Cryst., 2002a, A58, pp. 404–407.
- Voytekhevsky Y. L., Stepenshchikov D. G. On the symmetry of simple 12- and 13-hedra // Acta Cryst., 2002b, A58, pp. 502–505.
- Voytekhevsky Y. L., Stepenshchikov D. G. On the symmetry of 11-hedra // Acta Cryst., 2003a, A59, pp. 195–198.
- Voytekhevsky Y. L., Stepenshchikov D. G. On the symmetry of simple 14- and 15-hedra // Acta Cryst., 2003b, A59, pp. 367–370.
- Voytekhevsky Y. L., Stepenshchikov D. G. The variety of convex 12-hedra revised // Acta Cryst., 2005, A61, pp. 581–583.
- Voytekhevsky Y. L., Stepenshchikov D. G. On the symmetry of simple 16-hedra // Acta Cryst., 2006, A62, pp. 230–232.

Received / Поступила в редакцию 11.08.2023



Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Российское минералогическое общество
Комиссия по технологической минералогии
Институт геологии им. академика Н. П. Юшкина
ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
Институт геологии ФИЦ КарНЦ РАН



Russian Federation Ministry of Science
and Higher Education
Russian Mineralogical Society
Commission on Technological Mineralogy
Academician N. P. Yushkin Institute
of Geology FRC Komi SC UB RAS
Institute of Geology FRC KarSC RAS

XVI Российский семинар

«Технологическая минералогия: комплексная оценка нетрадиционных видов минерального сырья и их рациональное использование»

The 16th Russian Seminar

«Technological mineralogy: comprehensive assessment of non-traditional types of mineral raw materials and their rational use»

12 апреля 2024 г.

Сыктывкар

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

April 12, 2024

Syktывkar

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS

ТЕМАТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА СЕМИНАРА

1. Результаты минералого-технологических исследований по комплексной оценке руд сложного состава и техногенного сырья.
2. Роль технологической минералогии и оценке минерально-сырьевой базы севера европейской части России.
3. Исследования в области технологической минералогии, ориентированные на решение проблем импортозамещения конкретных видов минерального сырья и экологической безопасности.
4. Аналитическое оборудование для исследований в области технологической минералогии.

ОРГКОМИТЕТ

Сопредседатели:

В. В. Щипцов — председатель Комиссии по технологической минералогии РМО, зав. отделом минерального сырья ИГ ФИЦ КарНЦ РАН

И. Н. Бурцев — директор ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

Секретариат:

Е. Н. Светова — секретарь комиссии по технологической минералогии РМО

Н. С. Ковальчук — представитель Сыктывкарского отделения РМО

Контрольные сроки и контакты:

Заявки на участие в семинаре по прилагаемой форме принимаются до **31 марта 2024 г.** Комиссией по технологической минералогии по электронной почте enkotova@rambler.ru и kovalchuk@geo.komisc.ru

РЕГЛАМЕНТ СЕМИНАРА

Форма представления докладов: устные (15 мин.) и стендовые.

Материалы докладов семинара планируется опубликовать в 2024 г. в журналах «Вестник геонаук», «Известия Коми НЦ УрО РАН (серия «Науки о Земле»)», «Труды КарНЦ РАН (серия «Геология докембрия»)» согласно требованиям к оформлению данных изданий.

Орграсходные взносы не предусмотрены. Планируется онлайн-участие.

THEMES

1. Results of mineralogical and technological researches on a comprehensive assessment of ores of complex composition and technogenic raw materials.
2. Role of technological mineralogy and assessment of the mineral resource base of the north of the European part of Russia.
3. Researches in the field of technological mineralogy, which are focused on solving problems of import substitution of specific types of mineral raw materials and environmental safety.
4. Analytical equipment for studies in the field of technological mineralogy.

ORGANIZING COMMITTEE

Co-chairs:

V. V. Shchiptsov — Chairman of the Commission on Technological Mineralogy of RMS, Head of Department of Mineral Raw Materials, Institute of Geology FRC KarSC RAS

I. N. Burtsev — Director of the Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS

Secretariat:

E. N. Svetova — Secretary of the Commission for Technological Mineralogy of RMS

N. S. Kovalchuk — representative of the Syktывkar branch of RMS

Deadlines and contacts:

Applications according to the attached form will be accepted until March 31, 2024 by the Commission on Technological Mineralogy, email: enkotova@rambler.ru и kovalchuk@geo.komisc.ru

REGULATIONS

Report presentation: oral (15 min) and poster.

Proceedings are to be published in 2024 in the journals Vestnik of Geosciences, Proceedings of the Komi SC UB RAS (Earth Sciences), Proceedings of the KarSC RAS (Precambrian Geology) according to the requirements for these journals.

No fees. Online participation is planned.



У истоков современной тектонической науки (90 лет со дня рождения Николая Иосифовича Тимонина)



2 января исполнилось бы 90 лет главному научному сотруднику, доктору геолого-минералогических наук, заслуженному деятелю науки Республики Коми, члену ученого совета института и специализированного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Николаю Иосифовичу Тимонину.

Н. И. Тимонин (2 января 1934 г. – 19 июня 2016 г.) родился в деревне Поруб Прилузского района Автономной области Коми, в 1957 г. окончил геолого-разведочный факультет Свердловского горного института имени В. В. Вахрушева (ныне Уральский государственный горный университет). Работал в геолого-разведочных организациях Южноуральского и Оренбургского геологических управлений, где участвовал в разведке угольных и медных месторождений.

В 1961 г. поступил на работу в Институт геологии Коми филиала АН СССР на должность старшего лаборанта, прошел путь младшего, старшего, ведущего и главного научного сотрудника и ученого секретаря института. Заочно окончил аспирантуру. С 1983 по 1996 г. работал заместителем председателя Президиума Коми филиала АН СССР (ныне Коми НЦ УрО РАН).

В 1971 г. в Геологическом институте АН СССР защитил кандидатскую диссертацию на тему «Тектоника гряды Чернышева», в 1998 г. в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН – докторскую диссертацию на тему «Печорская плита: история геологического развития в фанерозое».



At the origins of modern tectonic science (90 years since the birth of Nikolay Iosifovich Timonin)

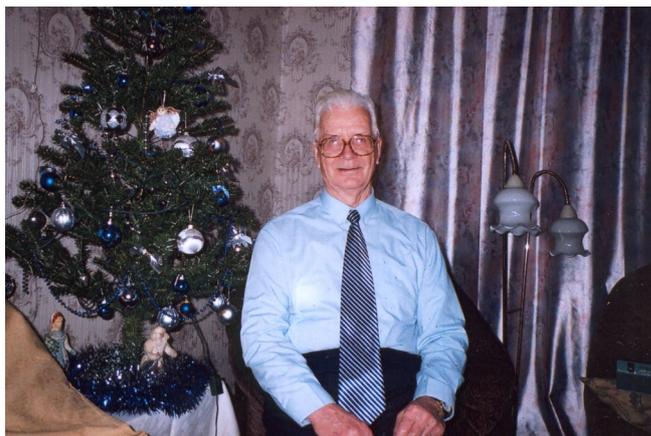
On January 2, the Chief Researcher, Doctor of geological and mineralogical sciences, Honored Scientist of the Komi Republic, Member of the Scientific Council of the Institute and the Specialized Council for the Defense of doctoral and candidate dissertations Nikolai Iosifovich Timonin would be 90 years old. He was a recognized expert in the field of regional geology and tectonics. For 25 years he conducted expeditionary field works in Timan, in the Northern Cis-Urals, in the Polar and Subpolar Urals, Pay-Khoy, islands of Vaygach and Novaya Zemlya.

Н. И. Тимонин был признанным специалистом в области региональной геологии и тектоники.

Область его научных исследований – региональная геология, геотектоника, геодинамика, геология нефти и газа. В течение 25 лет он проводил полевые экспедиционные работы на Тимане, в Северном Приуралье, на Полярном и Приполярном Урале, Пай-Хое, островах Вайгач и Новая Земля. Он всю жизнь интересовался Арктикой, собирал книги про её исследователей и до последних дней изучал новые материалы о геологическом строении арктического шельфа.

За время работы в институте Николай Иосифович выполнил палеотектоническую реконструкцию территории северо-востока европейской части России, провел расчленение платформенного чехла Печорской плиты на структурно-формационные комплексы и сделал детальное описание слагающих их формаций, разработал геодинамическую модель развития Печорской плиты в фанерозое. В истории развития Печорской плиты им выделено семь рубежей структурной перестройки и составлены структурные карты по основным поверхностям несогласий.

Результаты исследований Н. И. Тимонина отражены в 225 научных работах, в числе которых 10 монографий, написанных лично и в соавторстве:





«Атлас литолого-палеогеографических карт палеозоя и мезозоя Северного Приуралья масштаба 1 : 2 500 000» (Л.: Наука, 1972. 45 карт), «Тектоника гряды Чернышева» (Л.: Наука, 1975. 130 с.), «Структура платформенного чехла Европейского Севера СССР» (Л.: Наука, 1982. 200 с.), «Структурно-тектоническая карта Печорской плиты масштаба 1 : 1 000 000» (М.: Центр геология, 1985), «Тектонические критерии прогноза нефтегазоносности Печорской плиты» (Л.: Наука, 1986. 216 с.), «Новоземельский мемориал» (Сыктывкар, 1995. 297 с.), «Печорская плита: история геологического развития в фанерозое» (Екатеринбург, 1998. 240 с.), «Национальный парк «Югыд ва» (М.: ДИК, 2001. 208 с.), «Палеогеодинамика Пай-Хоя» (Екатеринбург, 2004. 226 с.), «Минерагения Пай-Хоя» (Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 292 с.).

Н. И. Тимонин был организатором и членом оргкомитета ряда международных, всероссийских и региональных конференций и совещаний. В должности заместителя председателя Президиума Коми НЦ УрО РАН он занимался организацией научных исследований в Республике Коми, координацией геологических исследований в регионе; выполнял большую общественную работу, избирался председателем профбю-

ро Института геологии, членом и секретарем партбюро Коми филиала АН СССР, членом Сыктывкарского горкома КПСС нескольких созывов, председателем научно-методического комитета общества «Знание».

Н. И. Тимонин был награжден орденом «Знак Почета» (1967), медалью «Ветеран труда» (1983), почетными грамотами Президиума АН СССР (1974), Президиума РАН (1999), Президиума УрО РАН (1985), Совета Министров Коми АССР (1985), Президиума Верховного Совета Коми АССР (1985), бронзовой медалью ВДНХ СССР (1977), почетным знаком «Ударник девятой пятилетки» (1976), знаками «За активную работу» общества «Знание» СССР (1983), «За заслуги в изучении недр Республики Коми» (2000), «Отличник разведки недр» (2008), «За безупречную службу Республике Коми» (2011). В 1992 г. Н. И. Тимонину было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Республики Коми», в 2001 г. он стал лауреатом Государственной премии Республики Коми за участие в создании трехтомной работы «Энциклопедия Республики Коми». Николай Иосифович был избран действительным членом Уральского академии геологических наук.

Редколлегия

План научных мероприятий в ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН на 2024 год

- XVIII Геологический съезд Республики Коми – 10–12 апреля
- XVI Российский семинар «Технологическая минералогия: комплексная оценка нетрадиционных видов минерального сырья и их рациональное использование» – 12 апреля
- XXXIII научная конференция «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента» – 26–28 ноября
- XXXVIII Черновские чтения – 11 декабря

Scientific events at IG FRC Komi SC UB RAS in 2024

- The 18th Geological Congress of the Komi Republic – April 10–12
- The 16th Russian Seminar: Technological mineralogy: comprehensive assessment of non-traditional mineral raw and its rational use” – April 12
- The 33rd Scientific Conference “Structure, substance, history of lithosphere of the Timan-Northern Ural segment” – November 26–28
- The 38th Chernov Readings – December 11

Редакторы издательства:

О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка

Т. В. Хазовой

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 29.02.2024. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6,5. Тираж 140. Заказ 1220. Учредитель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН). Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru
На обложке использованы фото П. Безносова, А. Перетягина, Н. Уляшевой, А. Иевлева, Н. Сокепиной