



Vestnik of Geosciences

Вестник геонаук

Декабрь
December
2024,
№ 12 (360)

Журнал издается под научно-методическим руководством Отделения наук о Земле РАН
The journal is published under the research and methodological guidance of the RAS Department of Earth Sciences

Главный редактор А. М. Асхабов

Зам. главного редактора И. Н. Бурцев

Зам. главного редактора О. Б. Котова

Ответственный секретарь И. В. Козырева

Редакционный совет

Л. Н. Андреичева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Belarus
М. А. Т. М. Броекман, 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
Д. А. Зедгенизов, Екатеринбург, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
Н. А. Малышев, Москва, Россия
М. Мартинс, Ору-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
Д. Ю. Пущаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сун, Мианьян, 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

Chief Editor A. M. Askhabov

Deputy Chief Editor I. N. Burtsev

Deputy Chief Editor O. B. Kotova

Executive Secretary I. V. Kozyreva

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. Voytekhevsky, Apatity, Russia
A. D. Gvishiani, Moscow, Russia
V. A. Zhemchugova, Moscow, Russia
A. V. Zhuravlev, Syktyvkar, Russia
D. A. Zedgenizov, Yekaterinburg, Russia
V. A. Kashirtcev, Novosibirsk, Russia
M. Komac, Ljubljana, Slovenia
S. V. Krivovichev, St. Petersburg, Russia
S. K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
N. A. Malyshev, Moscow, 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
D. Yu. Pushcharovsky, Moscow, Russia
A. M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Sh. Sun, Mianyang, China
C. M. Soja, Hamilton, NY, USA
O. V. Udaratina, Syktyvkar, Russia
M. A. Fedonkin, Moscow, Russia
A. G. Shelomentsev, Yekaterinburg, 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 (2023) – 0.425



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 (2023) – 0.425

Содержание

Научные статьи

Content

Scientific articles

Гротит из сланцев Иртышской зоны смятия (Восточный Казахстан) <i>E. V. Наставко, Г. А. Федосюк, Б. Ю. Змееев</i>3	Grothite from schists of the Irtysh Shear Zone (East Kazakhstan) <i>E. V. Nastavko, G. A. Fedosyuk, B. Yu. Zmeev</i>3
Типохимизм сульфидов Au-Pd-рудопроявления Озерное (Полярный Урал) <i>A. П. Кондрикова, Е. Э. Тюкова, И. Д. Соболев, И. В. Викентьев</i>12	Typechemistry of sulfides of the Ozernoe Au-Pd occurrence (Polar Urals) <i>A. P. Kondrikova, E. E. Tyukova, I. D. Sobolev, I. V. Vikentiev</i>12
Раннеассельские цианобактерии и водоросли в органогенных постройках разреза «Писаный Камень» (р. Унья, Северный Урал) <i>H. A. Матвеева, Р. М. Иванова</i>26	Early Asselian cyanobacteria and algae in the organogenic buildups of the section «Pisaný Kamen» (Un'ya River, Northern Urals) <i>N. A. Matveeva, R. M. Ivanova</i>26
Перспективные агрохимикаты на основе вторичного минерального сырья предприятий лесопромышленного комплекса <i>И. А. Перовский, О. В. Броварова, Д. А. Шушков, И. Н. Бурцев, Е. А. Веселков</i>37	Prospective ameliorants based on industrial wastes of timber enterprisesx <i>I. A. Perovskiy, O. V. Brovarova, D. A. Shushkov, I. N. Burtsev, E. A. Veselkov</i>37
Вещественный состав отходов угледобычи обогатительной фабрики «Прокопьевскуголь» и перспектива применения метода винтовой сепарации для их обогащения <i>Н. Ю. Турукская, Т. А. Чикишева, А. Г. Комарова</i>47	Material composition of coal mining waste from the Prokopyevskugol Processing Plant and the prospect of using the screw separation method for their enrichment <i>N. Yu. Turetskaya, T. A. Chikisheva, A. G. Komarova</i>47

Хроника, события, факты

Chronicle, events, facts

Памяти талантливого химика-аналитика К 100-летию со дня рождения Льва Петровича Павлова (11.12.1924—21.07.2001).....53	In memory of a talented analytical chemist . On the occasion of the 100th anniversary of Lev Petrovich Pavlov's birth (11.12.1924—21.07.2001)53
Всероссийское литологическое совещание «Геология рифов — 2025» (анонс)55	All-Russian Lithological Conference «Reef Geology — 2025» (anouncement)55
Указатель материалов, опубликованных в <i>Вестнике геонаук</i> в 2024 г.56	Index of publications in <i>Vestnik of Geosciences</i> in 202456
Авторский указатель59	Author Index59

Правила
оформления
статьей



Vestnik
article
Formatting



Гротит из сланцев Иртышской зоны смятия (Восточный Казахстан)

Е. В. Наставко, Г. А. Федосюк, Б. Ю. Змеев

Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

evnastavko@yandex.ru, germanfedosyuk1002@gmail.com, zmeev200366@gmail.com

В сланцах Иртышской зоны смятия (Восточный Казахстан) обнаружен и изучен гротит – редкая фторглиноземистая разновидность титанита. Состав минералов получен при помощи сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Tescan Vega3. Нетипичные для титанита содержания Al_2O_3 и F позволили отнести его к Al-F-титаниту (гротиту). Кроме глинозема и фтора в изученном гротите присутствуют FeO и Y_2O_3 . Общая формула минерала имеет следующий вид: $(\text{Ca}_{0.94-1.02}\text{Y}_{0.02-0.04}\text{Fe}_{0.01-0.02})_{\Sigma 0.99-1.04}(\text{Ti}_{0.83-0.89}\text{Al}_{0.11-0.16})_{\Sigma 0.94-1.02}(\text{Si}_{0.95-0.99}\text{Al}_{0.01-0.05})_{\Sigma 1.00}\text{O}_4(\text{O}_{0.86-0.91}\text{F}_{0.09-0.14})_{\Sigma 1.00}$.

Максимальные содержания Al_2O_3 и F характерны для центральных частей крупных зерен гротита из мусковит-биотитовых сланцев, а минимальные – для мелких зерен гротита из биотитовых сланцев, что, по всей видимости, отражает более низкие параметры давления при образовании последних. Минеральный состав сланцев и низкие содержания глинозема в гротите могут указывать на возможность его кристаллизации в породах зеленосланцевой фации.

Ключевые слова: гротит, сланцы, метаморфизм, Восточный Казахстан, Иртышская зона смятия

Grothite from schists of the Irtysh Shear Zone (East Kazakhstan)

E. V. Nastavko, G. A. Fedosyuk, B. Yu. Zmeev

Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

Grothite, a rare fluorine-alumina variety of titanite, was found and studied in the shales of the Irtysh shear zone (Eastern Kazakhstan). The mineral composition was defined Tescan Vega3 scanning electron microscope (SEM). The Al_2O_3 and F contents, which are not typical for titanite, allowed classifying it as Al-F titanite (grothite). In addition to alumina and fluorine, the studied grothite contains FeO and Y_2O_3 . The general formula of the mineral is as follows: $(\text{Ca}_{0.94-1.02}\text{Y}_{0.02-0.04}\text{Fe}_{0.01-0.02})_{\Sigma 0.99-1.04}(\text{Ti}_{0.83-0.89}\text{Al}_{0.11-0.16})_{\Sigma 0.94-1.02}(\text{Si}_{0.95-0.99}\text{Al}_{0.01-0.05})_{\Sigma 1.00}\text{O}_4(\text{O}_{0.86-0.91}\text{F}_{0.09-0.14})_{\Sigma 1.00}$.

The maximum contents of Al_2O_3 and F are characteristic of the central parts of large grains of grothite from muscovite-biotite schists, and the minimum for small grains of grothite from biotite schists, which, apparently, reflects lower pressure parameters during the formation of the latter. The mineral composition of the shales and the low alumina contents in the grothite may indicate the possibility of its crystallization in the rocks of the greenschist facies.

Keywords: grothite, schists, metamorphism, Eastern Kazakhstan, Irtysh Shear Zone

Введение

Титанит на сегодняшний день является одним из наиболее информативных акцессорных минералов, который может служить как для геотермобарометрии (Hayden et al., 2008) так и для радиоизотопного датирования (Frost et al., 2001), которое приобретает все большую популярность (Балтыбаев, 2024; Кориш и др., 2024; Скублов и др., 2021 и др.).

Гротитом называют богатую глиноземом, железом и фтором разновидность титанита с формулой $(\text{Ca},\text{REE})(\text{Ti},\text{Al},\text{Fe})\text{SiO}_4(\text{O},\text{OH},\text{F})$. Кристаллизация богатой алюминием и фтором разновидности титанита возможна в широком диапазоне температур и давлений. Высокоглиноземистые титаниты (Al_2O_3 – до 14 мас. %), содержащие фтор (до 2.5 мас. %), типичны для эклогитов, доломитов и мраморов Австрии (Castelli et al., 2002; Franz et al., 1985). Долгое время считалось, что основным фактором появления гротита в минеральном парамагнезисе является давление в диапазоне 18–22 кбар (Franz et al., 1985). Именно высокие давления способствуют входению алюминия в структуру титанита.

Однако кроме давления нахождение глиноземистого титанита в явно невысокобарических породах может определяться составом породы и флюидной фазы (Markl et al., 1999). В последние годы обнаружен высокоглиноземистый гротит (Al_2O_3 – 7.9–12.7 мас. %) в рудах Березитового золотополиметаллического месторождения Верхнего Приамурья, которое имеет средние РТ-параметры образования. Появление гротита с таким содержанием глинозема авторы связывают с повышенной активностью фтора минералообразующей среды (Вах и др., 2009). Образование гротита в гранат-слюдистых сланцах шихтинской свиты Срединнокамчатского массива происходило в условиях низких давлений и температуры зеленосланцевой фации метаморфизма (Таращин и др., 2011).

Несмотря на хорошую изученность гротита в высокобарических породах, работы по его детальному изучению в образованиях коллизионных зон, мильтитах и бластомилонитах метаморфических пород отсутствуют. Иртышская зона смятия (ИЗС) является хорошо известным объектом, где широко развиты по-

Для цитирования: Наставко Е. В., Федосюк Г. А., Змеев Б. Ю. Гротит из сланцев Иртышской зоны смятия (Восточный Казахстан) // Вестник геонаук. 2024. 12(360). С. 3–11. DOI: 10.19110/geov.2024.12.1

For citation: Nastavko E. V., Fedosyuk G. A., Zmeev B. Yu. Grothite from schists of the Irtysh Shear Zone (East Kazakhstan). Vestnik of Geosciences, 2024, 12(360), pp. 3–11, doi: 10.19110/geov.2024.12.1

добные образования, нахождение и изучение в них гратита позволит расширить наши представления о диапазоне условий его кристаллизации.

Геологическое строение района

Район исследования расположен в центральной части Иртышской зоны смятия, или Иртышской сдвиговой зоны, которая на юго-западе разделена глубин-

ными разломами от Калба-Нарымского пояса, а на северо-востоке — от Рудно-Алтайского пояса (рис. 1, а). Существуют разные точки зрения на природу метаморфических пород ИЗС. Считается, что они имеют палеозойский возраст и сформировались за счет метаморфизма осадков Калба-Нарымской зоны (Савинский, 2017)*. Согласно другой точке зрения (Беспаев и др., 1997; Ермолов, 2013; Ермолов и др., 2018), породы ИЗС трактуются как выход на поверхность до-

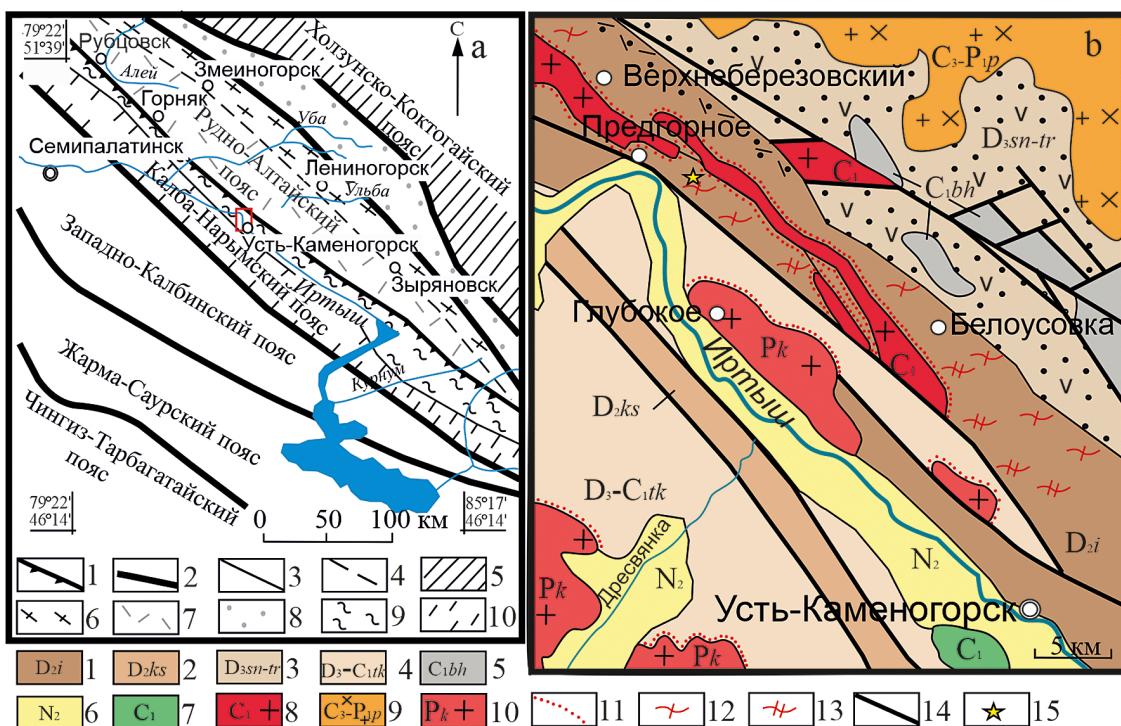


Рис. 1. Схема размещения рудных поясов Большого Алтая (а) (по: Беспаев и др., 1997):

1 — Иртыш-Маркакольский глубинный разлом; 2—4 — границы металлогенических поясов (2), зон (3) и подзон (4); 5—12 — металлогенические зоны и подзоны: 5 — Холзунско-Шуйско-Сицихэская зона; 6, 7 — Рудно-алтайская зона (6 — Лениногорско-Зыряновская, 7 — Алейская), 8 — Белоубинско-Сарымсактинская зона, 9 — Иртышская зона, 10 — Калба-Нарымская зона.

Красным прямоугольником выделен район работ.

Строение района исследований (б) (Геологическая..., 2019):

1 — иртышский метаморфический комплекс (D_2i), 2 — зеленокаменные песчаники и алевролиты кыстав-курчумской свиты (D_2ks), 3 — вулканогенные породы пестрого состава, сланцы, песчаники и известняки объединенных снегиревской, пихтовской, тарханская свит, 4 — сланцы, алевролиты, алевропесчаники такырской серии (D_3-C_1tk), 5 — известняки, известковисто-глинистые сланцы и известковистые песчаники бухтарминской свиты (C_1bh), 6 — красноцветная кора выветривания; 7—10: магматические комплексы: 7, 8 — прииртышская серия: 7 — габбро, 8 — граниты; 9 — субщелочные гранодиориты и граниты прииртышского комплекса (C_3-P_1p), 10 — калбинский гранитный комплекс (P_k); 11 — контактовые роговики, 12, 13 — породы регионального метаморфизма: 12 — породы фации зеленых сланцев, 13 — амфиболитовой фации; 14 — тектонические контакты, 15 — место отбора образца

Fig. 1. — Scheme of distribution of ore belts of the Great Altai (a) according to Bespaev et al., 1997:

1 — Irtysh-Markakol deep fault; 2—4 — boundaries of metallogenic belts (2), zones (3) and subzones (4); 5—12 — metallogenic zones and subzones: 5 — Kholzun-Shuya-Sitsikhe zone; 6—7 — Rudno-Altai zone (6 — Leninogorsko-Zyryanovskaya, 7 — Aleyskaya), 8 — Beloubinsko-Sarymsaktinskaya zone, 9 — Irtyshskaya zone, 10 — Kalba-Narymskaya zone. The red rectangle indicates the area of work.

Structure of the research area (b) (Geological..., 2019) — structure of the study area:

1 — Irtysh metamorphic complex (D_2i), 2 — greenstone sandstones and siltstones of the Kystav-Kurchum Formation (D_2ks), 3 — volcanogenic rocks of variegated composition, shales, sandstones and limestones of the combined Snegirevskaya, Pikhtovskaya, Tarkhanskaya Formation, 4 — shales, siltstones, silty sandstones of the Takyr series, 5 — limestones, calcareous-clayey shales and calcareous sandstones Bukhtarminskaya Formation, 6 — red-colored weathering crust; 7—10: igneous complexes: 7, 8 Irtysh series: 7 — gabbro, 8 — granites; 9 — subalkaline granodiorites and granites of the Priirtysh complex (C_3-P_1p), 10 — Kalbinsky granite complex (P_k); 11 — contact hornfels, 12, 13 — rocks of regional metamorphism: 12 — greenschist facies, 13 — amphibolite facies; 14 — tectonic contacts, 15 — sampling site

* Савинский И. А. Метаморфические комплексы НТ/МТ-типа северо-западной части Иртышской зоны смятия (Восточный Казахстан): специальность 25.00.04 «Петрология, вулканология» : Автореф....дис. канд. геол.-мин. наук. Новосибирск, 2017. 22 с.

Savinsky I. A. Metamorphic HT/MT complexes of the type of the northwestern part of the Irtysh Shear Zone (Eastern Kazakhstan): specialty 25.00.04 Petrology, abstract of PhD diss. Novosibirsk: 2017, 22 p. (in Russian)



кембрийских пород кристаллического фундамента Калба-Нарымской структурно-фациальной зоны.

Основная часть ИЗС (93–95 %) сложена регионально-метаморфизованными высокотемпературными породами низких давлений. Оставшаяся часть представлена узкими линейными зонами высокобарических метаморфических пород, природа которых трактуется как результат коллизионно-сдвиговых деформаций при столкновении Алтайской и Казахстано-Джунгарской литосферных плит (Савинский, 2017)*.

Свыше 90 % Иртышской зоны смятия занимают нижнедевонские отложения (D_2ef), представленные меланжево-динамометаморфическими образованиями иртышского комплекса (D_2i). Степень метаморфизма варьирует от зеленосланцевой до гранулитовой фации. Высокометаморфизованные породы заключены в матрикс зеленых сланцев в присутствии и при возможном термальном воздействии габброидных интрузий (Савинский, 2017)*. Петрографический состав комплекса характеризуется преимущественным развитием серицит-хлоритовых, кварц-серицитовых (до кварц-мусковитовых), слюдистых и слюдисто-кварцевых сланцев. В меньшей степени встречаются биотитовые и двуслюдянные гнейсы (плагиогнейсы), амфиболиты и кристаллические ставролит-кианитовые (340–320 млн лет), гранат-силлиманитовые (320–310 млн лет) и андалузит-силлиманитовые (310–280 млн лет) сланцы (Савинский, 2017)*. Породы иртышского комплекса прорваны раннекаменоугольными гранитами прииртышской серии (C_1p).

Отложения Калба-Нарымского террейна, развитые в западной, юго-западной и южной частях района исследований, в меньшей степени представлены живетскими (D_2gv) отложениями кыстав-курчумской (D_2ks) свиты, а также нижнедевонскими-раннекаменоугольными отложениями такырской (D_3-C_1tk) свиты.

В составе кыстав-курчумской (D_2ks) свиты преобладают переслаивающиеся серые, темно-серые до черных известковистые, известковисто-глинистые, тонкослоистые углеродисто-глинистые метаалевролиты и сланцы, зеленые хлорит-серицитовые сланцы, редко отмечаются прослои и пачки слабоизвестковистых метапесчаников. Породы свиты неравномерно метаморфизованы в пределах зеленосланцевой фации метаморфизма, интенсивно рассланцована, местами превращены в милониты. Возраст свиты обосновывается находками в ее отложениях фауны живетского возраста (табуляты, ругозы) (Навозов и др., 2011).

Такырскую (D_3-C_1tk) серию слагают тонко- и мелкопереслаивающиеся (слоистость горизонтальная) черные, темно-серые, серые, реже зеленовато-серые глинистые алевролиты, глинистые и углеродисто-глинистые сланцы, изредка прослои полевошпатово-кварцевых алевропесчаников. Породы обычно интенсивно рассланцована, местами превращены в филлитовидные углеродисто-кварцево-слюдистые сланцы и милониты.

Возраст отложений такырской серии фаунистически не обоснован и оценивается на основе палинологических анализов и геологических взаимоотношений с фаунистически охарактеризованными свитами. Отложения серии прорваны калбинским гранитным комплексом (Pk), сложенным порфировидными биотитовыми гранитами. Гранитоиды Калбинского бато-

лита отнесены к постколлизионным, а их возраст составляет 310–280 млн лет (Хромых и др., 2016).

На контакте калбинского комплекса и пород та-кырской серии развиты биотитовые роговики.

Отложения Рудно-Алтайского пояса развиты в северо-восточной части площади и сложены породами фаменского (D_3fm) яруса, в исследуемом районе они представлены вулканогенными отложениями пестрого состава, сланцами, песчаниками и известняками объединенных снегиревской, пихтовской, тарханской свит (D_3sn-tr). На породы тарханской свиты согласно налегают отложения турнейского яруса (C_1t_2), представленные бухтарминской свитой (C_1bh), которая сложена серыми и темно-серыми известковистыми, редко углистыми алевролитами, известняками с прослоями песчаников. Далее на северо-восток отложения фаменского яруса прорваны породами прииртышского комплекса (C_3-P_1p), в составе которого выделены три фазы внедрения: первая фаза представлена габброидами, диоритами, кварцевыми диоритами и диоритогнейсами, вторая — гранодиоритами, тоналитами, плагиогранитами и плагиогранитогнейсами, а к третьей фазе отнесены граниты и гранитогнейсы.

Объект и методы исследований

Объектом исследований являются биотитовые и мусковит-биотитовые сланцы ИЗС. Коренные выходы сланцев протяженностью 110–120 м и мощностью до 1.0–1.5 м северо-западного простирания обнажаются на восточной окраине поселка Предгорное Восточно-Казахстанской области (рис. 1, б). Отбор образцов проводился через 15–20 метров. Общее количество образцов — 8, из них 5 — мусковит-биотитовые и 3 — биотитовые сланцы.

В пределах ИЗС состав и уровень метаморфизма меняется в северо-восточном направлении. В исследуемом районе полные разрезы от кианитовых до зеленых сланцев присутствуют на западной окраине поселка Предгорное, где высокометаморфизованные породы заключены в матрикс зеленых сланцев. В месте отбора образцов обнажаются только биотитовые и мусковит-биотитовые сланцы.

Основное макроскопическое отличие заключается в интенсивности цвета: биотитовые сланцы — темные, зеленовато-серо-коричневые; мусковит-биотитовые — более светлые, зеленовато-серо-коричневые.

Во всех образцах сланцев обнаружен грит, в биотитовых сланцах это единичные зерна, в мусковит-биотитовых — до 1–2 %. В биотитовых сланцах это небольшие зерна размером до 0.05 мм, в мусковит-биотитовых сланцах наряду с мелкими зернами такого же размера присутствуют более крупные зерна размером 0.15–0.25 мм. В целом проанализирован состав 44 зерен (59 определений): в биотитовых сланцах — 17 (17 анализов), в мусковит-биотитовых — 27 (42 анализа).

Химический состав минералов изучался в полированных шлифах на сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) Tescan Vega3 с приставкой рентгеновско-флуоресцентного энергодисперсионного анализа (ЭДС) Oxford Instruments (АО «Развитие человеческого капитала» при ИОК «Техноград», Москва). Ускоряющее напряжение для СЭМ-съемки и анализа составило 20 кВ, предел обнаружения элементов — 0.1 %.

Последующие кристаллохимические пересчеты гроотита выполнялись зарядным методом по разработанной методике (Oberti et al., 1991). Для получения коэффициента корреляции между содержанием различных элементов было выполнено построение корреляционной матрицы в программе Excel по 52 анализам. При высокой и весьма высокой корреляции установление ее достоверности оценивалось при помощи *t*-критерия и уровня значимости *p*.

Минерало-петрографическая характеристика пород

Метаморфизованные породы ИЗС представлены биотитовыми и мусковит-биотитовыми сланцами. Выше упоминалось, что основное макроскопическое отличие пород заключается в интенсивности их цвета, что выражается в разном процентном соотношении светлой и темной слюды. Минеральный состав и структурно-текстурные особенности пород приведены на рис. 2.

Биотитовые сланцы макроскопически темные, зеленоватые, серо-коричневые, равномернозернистые породы со сланцеватой текстурой. Микроструктура пород гомеобластовая, гранолепидобластовая (рис. 2, а). Минеральный состав пород достаточно устойчив. Основная масса породы состоит из биотита (40–50 %), кварца (35–45 %) и плагиоклаза (5 %). Аксессории суммарно составляют до 5 % и представлены апатитом, гроотитом и цирконом. Вторичные изменения проявлены в незначительном развитии хлорита (5 %) по биотиту.

Темноцветные минералы представлены биотитом и хлоритом. Размер чешуек биотита достигает 0.1, реже 0.15 мм. Хлорит развивается по биотиту, собственных чешуек не образует. Кварц представлен изометричными зернами размером не более 0.05 мм, редко достигая 0.15–0.20 мм. Иногда мелкие зерна кварца слагают скопления размером до 2–3 мм. Плагиоклаз представлен субизометричными зернами альбита размером 0.05–0.1 мм.

Мусковит-биотитовые сланцы макроскопически светлые, зеленоватые, серо-коричневые, равномерно-

зернистые. Текстура сланцеватая. Микроструктура пород гомеобластовая, гранолепидобластовая (рис. 2, б). Минеральный состав пород достаточно устойчив. Породы сложены кварцем (30–40 %), биотитом (25–35 %), мусковитом (15–20 %) и плагиоклазом (5 %). Аксессории суммарно составляют около 5 %, представлены апатитом (1–2 %), гроотитом (1–2 %), ильменитом и цирконом. Из вторичных минералов присутствует хлорит (5 %), развивающийся по биотиту.

Темноцветные минералы представлены биотитом и хлоритом. Размер чешуек биотита достигает 0.1, реже 0.2 мм, мусковита — 0.1 мм. Хлорит развивается по биотиту, собственных чешуек не образует. Кварц представлен изометричными зернами размером не более 0.05 мм, редко 0.20–0.25 мм. Часто кварц слагает скопления размером 2–3 мм из мелких зерен. Мусковит совместно с биотитом образует скопления, размер чешуек не превышает 0.15 мм. Плагиоклаз представлен субизометричными зернами альбита размером 0.05–0.1 мм.

Сланцеватая текстура пород и наличие угловатых скоплений кварца, состоящих из мелких зерен (по всей видимости, реликтовые зерна протолита), являются признаками деформации.

Парагенезис биотитовых сланцев: биотит — кварц — альбит — хлорит — и мусковит-биотитовых сланцев: биотит — кварц — альбит — хлорит — серицит (мусковит) — типоморфен породам, претерпевшим метаморфизм зеленосланцевой фации.

Гроотит представлен идиоморфными зернами размером от 0.05 до 0.20 мм (рис. 3). Располагается гроотит как в кварц-слюдистой массе, так и на границе кварц-слюдистой основной массы и скоплений зерен кварца.

Отсутствие граната в исследованных образцах не позволило рассчитать РТ-параметры образования сланцев. По всей видимости, это связано с тем, что парагенезисы с гранатом Q — Ab — Chl — Ms — Grt встречаются только в породах из приконтактовой с силлиманитовыми гнейсами зоны, а РТ-параметры их образования составили 544–548 °C и 2.3–3.5 кбар, и их вряд ли можно отнести к области зеленосланцевого мета-

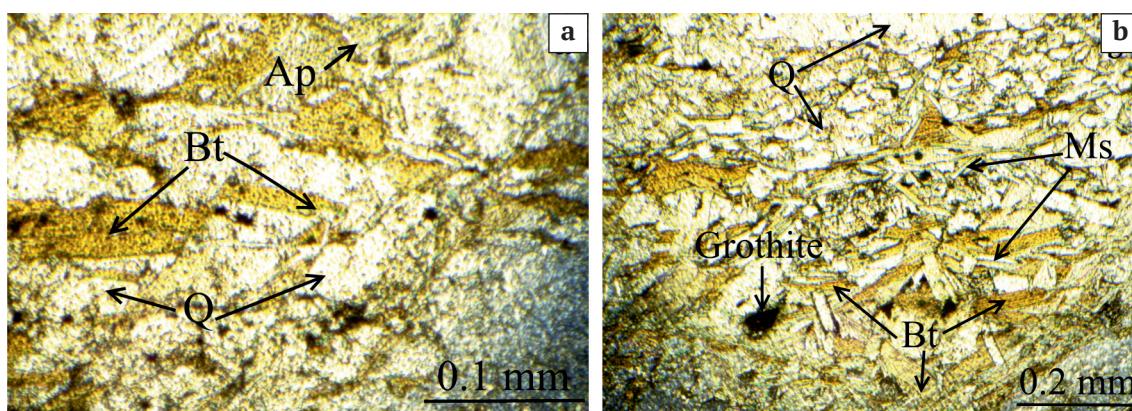


Рис. 2.Петрографические особенности биотитовых (а) и мусковит-биотитовых (б) сланцев (без анализатора). Условные обозначения здесь и далее по тексту приводятся по Whitney, Evans, 2010: Bt — биотит, grothite — гроотит, Ms — мусковит, Q — кварц

Fig. 2. Petrographic features of biotite (a) and muscovite-biotite (b) schists (without analyzer).

The symbols used here and throughout the text are given according to Whitney, Evans, 2010: Bt — biotite, grothite — grothite, Ms — muscovite, Q — quartz

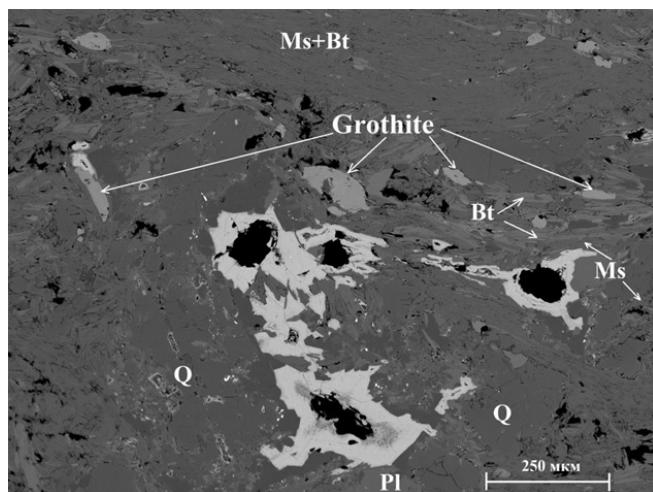


Рис. 3. BSE-изображение гротита в мусковит-биотитовом сланце

Условные обозначения: Bt — биотит, Ms — мусковит, Pl — плалиоклаз, Q — кварц

Fig. 3. BSE images of grothite in muscovite-biotite schists
Legend: Bt — biotite, Ms — muscovite, Pl — plagioclase, Q — quartz

морфизма. Авторы исследований связывают их с процессами локального прогрева (ороговикования) при внедрении интрузивных комплексов (Савинский, 2017)*.

Обсуждение результатов

Сводный химический состав гротита по 59 определениям приведен в таблице 1.

В крупных зернах состав определялся в центральной и краевой частях. Содержание Al_2O_3 , F, а также FeO и Y_2O_3 в гротите снижается от центральных частей крупных зерен к краевым в мусковит-биотитовых сланцах.

Для центральных частей крупных зерен гротита из мусковит-биотитовых сланцев характерны максимальные содержания глинозема (3.9–5.2 мас. %), иттрия (1.5–2.3 мас. %), железа (0.4–0.9 мас. %) и фтора (1.3–1.3 мас. %). Состав краевых частей зерен и мелких зерен схож и от центральных частей отличается пониженными содержаниями глинозема (3.6–4.8 мас. %), иттрия (1.3–1.6 мас. %), железа (0.3–0.7 мас. %) и фтора (1.1–1.2 мас. %). Для гротита из биотитовых сланцев характерны еще более низкие содержания глинозема (3.6–4.1 мас. %) и фтора (1.0–1.1 мас. %).

Учитывая значительное количество определений химического состава гротита, в таблице 2 приводятся только крайние значения, а также кристаллохимические формулы. Общая формула гротита из сланцев Иртышской зоны смятия имеет следующий вид: $(\text{Ca}_{0.94-1.02}\text{Y}_{0.02-0.04}\text{Fe}_{0.01-0.02})_{\Sigma 0.99-1.04}(\text{Ti}_{0.83-0.89}\text{Al}_{0.11-0.16})_{\Sigma 0.94-1.02}(\text{Si}_{0.95-0.99}\text{Al}_{0.01-0.05})_{\Sigma 1.00}\text{O}_4(\text{O}_{0.86-0.91}\text{F}_{0.09-0.14})_{\Sigma 1.00}$.

Корреляционная матрица (табл. 3) демонстрирует высокую и весьма высокую корреляцию между рядом элементов и их суммами. Весьма высокая корреляция связи обнаружена между суммарным содержанием оксидов кальция и титана и суммой оксида иттрия и глинозема, что согласуется со схемой изоморфизма $\text{Ca}^{2+}\text{Ti}^{4+} \leftrightarrow [\text{легкие РЗЭ, Y}]\text{Al}^{VI}\text{Fe}^{3+}$ (Russell et al., 1994). Коэффициент корреляции составляет –0.97 (рис. 4).

Положительная корреляция установлена между следующими парами: $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO}$, $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{F}$, суммой глинозема и иттрия с фтором и железом ($r = 0.84-0.95$). Отрицательная корреляция установлена между суммарным содержанием кальция и титана с глиноземом, иттрием, железом и фтором ($r = -0.85 \dots -0.93$). Во всех случаях корреляционная связь является сильной, статистически значимой. Корреляционные зависимости показаны на рис. 5.

Таблица 1. Средний состав и вариации химического состава гротита (мас. %)
Table 1. Average composition and variations of chemical composition of grothite (wt.%)

Элемент Element	Биотитовые сланцы Biotite schists	Мусковит-биотитовые сланцы Muscovite-biotite schists		
		мелкие зерна small grains (17)	мелкие зерна small grains (12)	к (15) c (15)
SiO_2	29.4 – 30.2 29.7	29.3 – 30.1 29.7	29.3 – 29.8 29.6	29.1 – 29.6 29.4
TiO_2	35.0 – 36.3 35.8	34.1 – 36.1 35.5	34.2 – 36.2 35.4	34.1 – 36.0 35.14
Al_2O_3	3.6 – 4.1 3.8	3.6 – 4.8 4.0	3.7 – 4.7 4.0	3.9 – 5.2 4.6
Y_2O_3	1.3 – 1.6 1.5	1.3 – 1.6 1.5	1.4 – 1.6 1.5	1.5 – 2.3 2.1
FeO	0.3 – 0.6 0.4	0.3 – 0.7 0.4	0.3 – 0.6 0.4	0.4 – 0.9 0.7
CaO	27.0 – 28.7 27.8	27.2 – 28.7 27.8	27.3 – 28.7 27.9	26.2 – 27.2 27.7
F	1.0 – 1.1 1.1	1.1 – 1.2 1.1	1.1 – 1.2 1.2	1.3 – 1.5 1.4

Примечание: c — центр зерна, k — край зерна.
Note: c — grain center, k — grain edge.

Таблица 2. Химический состав гротита (мас. %)
Table 2. Chemical composition of grothite (wt.%)

№ образца Sample No.	G1	G2	G5	G7	G5		G7			
Элемент Element	Мелкие зерна в однослюдяных сланцах Fine grains in single mica schists		Зерна из двуслюдяных сланцев / Grains from two-mica schists							
			мелкие зерна fine grains		крупные зерна / large grains					
					с	к	с	к		
SiO ₂	30.1	29.4	30.1	29.3	29.4	29.7	29.3	29.3		
TiO ₂	36.2	35.2	36.1	34.1	35.8	36.2	34.1	34.2		
Al ₂ O ₃	3.6	4.1	3.6	4.1	3.8	3.7	5.2	4.7		
Y ₂ O ₃	1.6	1.3	1.6	1.3	2.3	1.6	2.2	1.4		
FeO	0.5	0.5	0.3	0.7	0.4	0.3	0.9	0.6		
CaO	27.0	28.5	27.2	29.3	27.0	27.4	26.9	28.6		
F	1.0	1.1	1.1	1.2	1.3	1.1	1.4	1.2		
O=F	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.5		
Сумма Total	99.6	99.5	99.5	99.5	99.5	99.5	99.4	99.5		

Формулы рассчитаны методом по зарядам / The formulas are calculated using the charge method:

1. (Ca_{0.95}Y_{0.03}Fe_{0.01})_{Σ1.00}(Ti_{0.89}Al_{0.13})_{Σ1.02}(Si_{0.99}Al_{0.01})_{Σ1.00}O₄(O_{0.91}F_{0.09})_{Σ1.00}
2. (Ca_{0.99}Y_{0.02}Fe_{0.01})_{Σ1.02}(Ti_{0.86}Al_{0.12})_{Σ0.98}(Si_{0.96}Al_{0.04})_{Σ1.00}O₄(O_{0.90}F_{0.10})_{Σ1.00}
3. (Ca_{0.95}Y_{0.03}Fe_{0.01})_{Σ0.99}(Ti_{0.89}Al_{0.12})_{Σ1.01}(Si_{0.98}Al_{0.02})_{Σ1.00}O₄(O_{0.90}F_{0.10})_{Σ1.00}
4. (Ca_{1.02}Y_{0.02}Fe_{0.02})_{Σ1.05}(Ti_{0.83}Al_{0.11})_{Σ0.94}(Si_{0.95}Al_{0.05})_{Σ1.00}O₄(O_{0.89}F_{0.11})_{Σ1.00}
5. (Ca_{0.95}Y_{0.04}Fe_{0.01})_{Σ1.00}(Ti_{0.89}Al_{0.12})_{Σ1.01}(Si_{0.97}Al_{0.03})_{Σ1.00}O₄(O_{0.88}F_{0.12})_{Σ1.00}
6. (Ca_{0.96}Y_{0.03}Fe_{0.01})_{Σ1.00}(Ti_{0.89}Al_{0.11})_{Σ1.00}(Si_{0.97}Al_{0.03})_{Σ1.00}O₄(O_{0.89}F_{0.10})_{Σ1.00}
7. (Ca_{0.94}Y_{0.04}Fe_{0.02})_{Σ1.00}(Ti_{0.84}Al_{0.16})_{Σ1.00}(Si_{0.96}Al_{0.04})_{Σ1.00}O₄(O_{0.87}F_{0.13})_{Σ1.00}
8. (Ca_{1.00}Y_{0.02}Fe_{0.02})_{Σ1.04}(Ti_{0.83}Al_{0.13})_{Σ0.96}(Si_{0.95}Al_{0.05})_{Σ1.00}O₄(O_{0.89}F_{0.11})_{Σ1.00}

Примечание: с – центр зерна, к – край зерна.

Note: c – grain center, k – grain edge.

Таблица 3. Корреляционная матрица состава гротита
Table 3. Correlation matrix of grothite composition

Элементы Element	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	FeO	CaO	F	Al ₂ O ₃ + Y ₂ O ₃	CaO + TiO ₂
SiO ₂	1								
TiO ₂	0.67	1							
Al ₂ O ₃	-0.79	-0.72	1						
Y ₂ O ₃	-0.21	-0.11	0.51	1					
FeO	-0.64	-0.73	0.86	0.54	1.00				
CaO	-0.07	-0.35	-0.28	-0.82	-0.27	1			
F	-0.63	-0.50	0.86	0.79	0.77	-0.55	1		
Al ₂ O ₃ + Y ₂ O ₃	-0.65	-0.55	0.93	0.80	0.84	-0.56	0.95	1	
CaO + TiO ₂	0.49	0.50	-0.86	-0.85	-0.85	0.63	-0.93	-0.97	1

Примечание: жирным выделены коэффициенты корреляции (выше 0.75) между содержаниями тех компонентов, у которых высокая и очень высокая корреляция.

Note: Correlation coefficients (above 0.75) between the contents of those components with high and very high correlation are marked in bold.

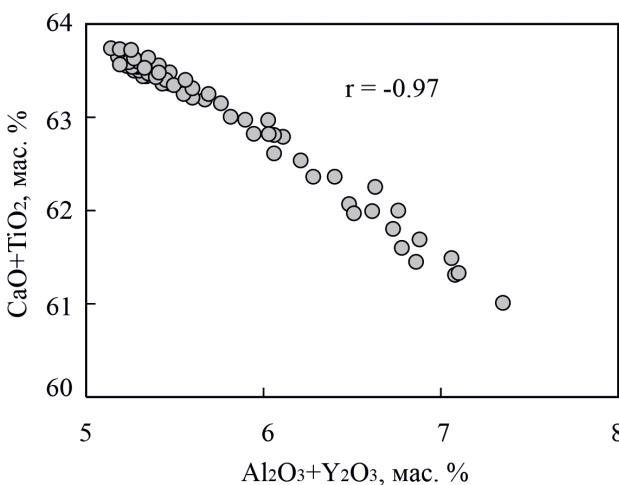


Рис. 4. Зависимость между суммарными содержаниями Al₂O₃ + Y₂O₃ и CaO + TiO₂ в гротите

Fig. 4. The relationship between total contents of Al₂O₃ + Y₂O₃ and CaO + TiO₂ in grothite

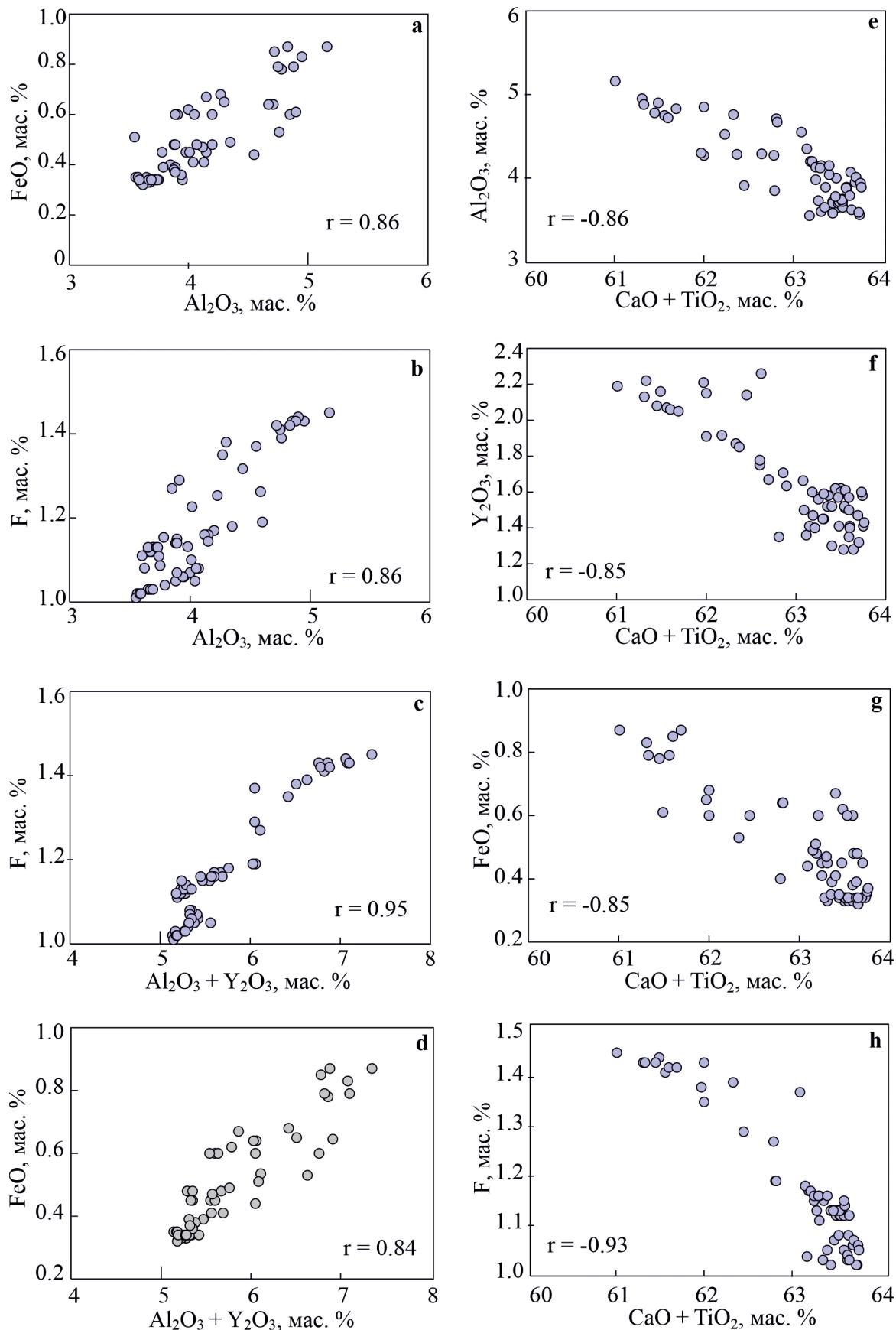


Рис. 5. Корреляционные зависимости между содержаниями:

Al_2O_3 – FeO (а), Al_2O_3 – F (б), $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ – F (в), $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ – FeO (д), $\text{CaO} + \text{TiO}_2$ – Al_2O_3 (е), $\text{CaO} + \text{TiO}_2$ – Y_2O_3 (ф), $\text{CaO} + \text{TiO}_2$ – FeO (г), $\text{CaO} + \text{TiO}_2$ – F (х) в грофите

Fig. 5. Correlation dependencies between contents:

Al_2O_3 – FeO (а), Al_2O_3 – F (б), $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ – F (в), $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Y}_2\text{O}_3$ – FeO (д), $\text{CaO} + \text{TiO}_2$ – Al_2O_3 (е), $\text{CaO} + \text{TiO}_2$ – Y_2O_3 (ф), $\text{CaO} + \text{TiO}_2$ – FeO (г), $\text{CaO} + \text{TiO}_2$ – F (х) in grothite



Содержание глинозема в гrottите из двуслюдяных сланцев ниже (3.6–5.2 мас. %), чем во включениях гrottита (до 8.5 мас. %) в цирконах из гранитоидов кристаллического фундамента Южного Ямала (Ерохин и др., 2019), высокоглиноземистом гrottите (Al_2O_3 7.9–12.7 мас. %) из руд Березитового золотополиметаллического месторождения Верхнего Приамурья (Вах и др., 2009), в гранат-слюдистых сланцах шихтинской свиты Срединнокамчатского массива и в высокоглиноземистых титанитах (Al_2O_3 до 14 мас. %) из эклогитов, доломитов и мраморов Австрии (Castelli et al., 2002; Franz et al., 1985).

Минеральный состав сланцев и низкие содержания глинозема в гrottите могут указывать на возможность его кристаллизации в породах зеленосланцевой фации.

Выводы

В результате проведенных исследований в сланцах Иртышской зоны смятия (Восточный Казахстан) установлено наличие гrottита — фтор-глиноземистой разновидности титанита с иттрием. Общая формула гrottита имеет следующий вид: $(\text{Ca}_{0.94-1.02}\text{Y}_{0.02-0.04}\text{Fe}_{0.01-0.02})_{\Sigma 0.99-1.04}(\text{Ti}_{0.83-0.89}\text{Al}_{0.11-0.16})_{\Sigma 0.94-1.02}(\text{Si}_{0.95-0.99}\text{Al}_{0.01-0.05})_{\Sigma 1.00}\text{O}_4(\text{O}_{0.86-0.91}\text{F}_{0.09-0.14})_{\Sigma 1.00}$.

Максимальные содержания Al_2O_3 и F характерны для центральных частей крупных зерен гrottита из мусковит-биотитовых сланцев, а минимальные — для мелких зерен гrottита из биотитовых сланцев, что, по всей видимости, отражает более низкие параметры давления при образовании последних.

Установленный парагенезис биотитовых сланцев: биотит — кварц — альбит — хлорит — и мусковит-биотитовых сланцев: биотит — кварц — альбит — хлорит — серицит (мусковит) — и относительно невысокие содержания глинозема в гrottите позволяют предположить его формирование в условиях зеленосланцевой фации метаморфизма.

Авторы выражают благодарность к. г.-м. н. Ю. В. Ерохину за консультацию в вопросах минералогии гrottита и рецензентам за замечания, способствовавшие лучшему изложению результатов.

Литература / References

- Балтыбаев Ш. К., Саватенков В. М., Петракова М. Е. Т-Т-эволюция раннепротерозойских пород Северного Приладожья по данным изучения U-Pb-, Rb-Sr- и Sm-Nd-систем в минералах // Геодинамика и тектонофизика. 2024. Т. 15. № 3. С. 759. DOI: 10.5800/GT-2024-15-3-0759
Baltybaev Sh. K., Savatenkov V. M., Petrakova M. E. T-T evolution of early Proterozoic rocks of the Northern Priladozhye region based on the study of U-Pb, Rb-Sr and Sm-Nd systems in minerals. Geodinamika i tektonofizika, 2024, V. 15, No. 3, p. 759. (in Russian)
- Беспаев Х. А., Полянский Н. В., Ганженко Г. Д., Дьячков Б. А., Евтушенко О. П., Ли Тянь Де. Геология и металлогенез Юго-Западного Алтая (в пределах территории Казахстана и Китая). Алматы: Гылым, 1997. 288 с.
Bespaev Kh. A., Polyanskiy N. V., Ganzhenko G. D., D'yachkov B. A., Evtushenko O. P., Li Tyan' De. Geology and metallogeny of the Southwestern Altai (within the

territory of Kazakhstan and China. Gylym, 1997, 288 p. (in Russian)

Вах А. С., Авченко О. В., Карабцов А. А., Степанов В. А. Первая находка гrottита в золоторудных месторождениях // Доклады Академии наук. 2009. Т. 428. № 3. С. 353–357.

Vakh A. S., Avchenko O. V., Karabtsov A. A., Stepanov V. A. First discovery of grothite in gold deposits. Doklady Earth Sciences, 2009, No. 428(3), pp. 353–357. (in Russian)

Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1 : 200 000. Издание второе. Серия Горно-Алтайская. Лист М-44-III (Новоегорьевское). Объяснительная записка. М.: Московский филиал ФГБУ ВСЕГЕИ, 2019. 180 с.

State Geological Map of the Russian Federation on a scale of 1 : 200 000. The second edition. Gorno-Altaiskaya series. Sheet M-44-III (Novoegoryevskoye). Explanatory note. Moscow: VSEGEI Moscow branch, 2019, 180 p. (in Russian)

Ермолов П. В., Мусина Е. В., Портнов В. С. Геологическая позиция и возраст регионально метаморфизованных пород Иртышской зоны смятия // Труды университета. 2018. № 4(73). С. 53–57.

Ermolov P. V., Musina E. V., Portnov V. C. Geological position and age of regionally metamorphosed rocks of the Irtysh Shear Zone. Univ. Proc., 2018, No. 4(73), pp. 53–57. (in Russian)

Ермолов П. В. Актуальные проблемы изотопной геологии и металлогении Казахстана. Караганда: Издательско-полиграфический центр Казахстанско-Российского университета, 2013. 203 с.

Ermolov P. V. Current issues of isotope geology and metallogeny of Kazakhstan. Karaganda: Kazakhstan-Russia University, 2013, 203 p. (in Russian)

Ерохин Ю. В., Иванов К. С., Хиллер В. В. Включения гrottита в цирконе из гранитоидов кристаллического фундамента Южного Ямала // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2019. Т. 22. № 1. С. 5–11. DOI: 10.21443/1560-9278-2019-22-1-5-11

Erokhin Yu. V., Ivanov K. S., Khiller V. V. Inclusions of grothite in zircon from granitoids of the crystalline basement of the Southern Yamal. Vestnik MSTU, 2019, V. 22, No. 1, pp. 5–11. (in Russian)

Кориш Е. Х., Савко К. А., Базиков Н. С., Ларионов А. Н. Возраст сиенитов палеопротерозойского дубравинского супрасубдукционного щелочно-карбонатитового комплекса Курского блока Сарматии // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2024. № 1. С. 4–13. DOI: 10.17308/geology/1609-0691/2023/4/4-13

Korish E. H., Savko K. A., Bazikov N. S., Larionov A. N. Age of syenites of the Paleoproterozoic Dubravinsky suprasubduction alkaline-carbonatite complex of the Kursk block of Sarmatia. Vestnik of Voronezh State University. Series: Geology, 2024, No. 1, pp. 4–13. (in Russian)

Навозов О. В., Соляник В. П., Клепиков Н. А., Караваева Г. С. Нерешенные вопросы пространственной и генетической связи некоторых видов полезных ископаемых с интрузиями Калба-Нарымской и Западно-Калбинской зон Большого Алтая // Геология и охрана недр. 2011. № 4. С. 66–72.

Navozov O. V., Solyanik V. P., Klepikov N. A., Karavaeva G. S. Unresolved issues of spatial and genetic connec-



- tion of some types of minerals with intrusions of the Kalba-Narym and West Kalba zones of the Greater Altai. *Geology and protection of the subsoil*, 2011, No. 4, pp. 66–72. (in Russian)
- Скублов С. Г., Мамыкина М. Е., Ризванова Н. Г.* U-Pb-возраст и редкоэлементный состав титанита из гранитов Белокурихинского массива, Горный Алтай // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2021. Т. 24. № 2. С. 168–177. DOI: 10.21443/1560-9278-2021-24-2-168-177
- Skublov S. G., Mamykina M. E., Rizvanov, N. G. U-Pb age and rare element composition of titanite from granites of the Belokurikha massif, Altai Mountains. *Vestnik MSTU*. 2021, V. 24, No. 2, pp. 168–177. (in Russian)
- Тарарин И. А., Бадрединов З. Г., Чубаров В. М., Шарова О. И.* Грохит гранат-слюдистых кристаллических сланцев шихтинской свиты Срединнокамчатского массива // Доклады Академии наук. 2011. Т. 438. № 6. С. 809–812.
- Tararin I. A., Badredinov Z. G., Chubarov V. M., Sharov, O. I. Grothite of garnet-micaceous crystalline schists of the Shikhtinskaya suite of the Sredinnokamchatka massif. *Doklady Earth Sciences*, 2011, V. 438, No. 6, pp. 809–812. (in Russian)
- Хромых С. В., Цыганков А. А., Котлер П. Д., Навозов О. В., Крук Н. Н., Владимиров А. Г., Травин А. В., Юдин Д. С., Бурмакина Г. Н., Хубанов В. Б., Буюнтуев М. Д., Анциферова Т. Н., Караваева Г. С.* Позднепалеозойский гранитоидный магматизм Восточного Казахстана и Западного Забайкалья: тестирование плюмовой модели // Геология и геофизика. 2016. № 5. С. 983–1004. DOI 10.15372/GiG20160510
- Khromykh S. V., Tsygankov A. A., Kotler P. D., Navozov O. V., Kruk N. N., Vladimirov A. G., Travin A. V., Yudin D. S., Burmakina G. N., Khubanov V. B., Buyantuev M. D., Antsiferova T. N., Karavaeva G. S. Late Paleozoic granitoid magmatism of East Kazakhstan and Western Trans-
- baikalia: testing the plume model. *Geology and geophysics*, 2016, No. 5, pp. 983–1004. DOI 10.15372/GiG20160510. (in Russian)
- Castelli D., Rubatto D. Stability of Al-and F-rich titanite in metacarbonate: petrologic and isotopic constraints from a polymetamorphic eclogitic marble of the internal Sesia Zone (Western Alps) // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2002. Vol. 142. № 6. P. 627–639. DOI: 10.1007/s00410-001-0317-6
- Franz G., Spear F. Aluminous titanite (sphene) from the Eclogite Zone, south-central Tauern Window, Austria // *Chemical Geology*, 1985. Vol. 50. № 1/3. P. 33–46.
- Frost B. R., Chamberlain K. R., Schumacher J. C. Sphene (titanite): phase relations and role as a geochronometer // *Chemical Geology*, 2001. Vol. 172. No. 1-2. P. 131–148.
- Hayden L. A., Watson E. B., Wark D. A. A thermobarometer for sphene (titanite) // *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 2008. Vol. 155. Iss. 4. P. 529–540. DOI: 10.1007/s00410-007-0256-y
- Markl G., Piazolo S. Stability of high-Al titanite from low-pressure calcsilicates in light of fluid and host-rock composition // *American Mineralogist*, 1999. Vol. 84. № 1/2. P. 37–47.
- Oberti R., Smith D. C., Rossi G., Caucia F. The crystal chemistry of high-aluminium titanites // *European Journal of Mineralogy*, 1991. Vol. 3. Iss. 5. P. 777–792. DOI: 10.1127/ejm/3/5/0777
- Russel J. K., Groat L. A., Halloran A. A. D. LREE-rich niobian titanite from mount Bisson, British Columbia: chemistry and exchange mechanisms // *Canadian Mineralogist*, 1994. Vol. 32. № 3. P. 575–587.
- Whitney D. L., Evans B. W. Abbreviations for names of rock-forming minerals // *American Mineralogist*, 2010. Vol. 95. № 1. P. 185–187. DOI:10.2138/am.2010.3371

Поступила в редакцию / Received 16.10.2024



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 553.3

DOI: 10.19110/geov.2024.12.2

Типохимизм сульфидов Au-Pd-рудопроявления Озерное (Полярный Урал)

А. П. Кондрикова¹, Е. Э. Тюкова^{1, 2}, И. Д. Соболев¹, И. В. Викентьев¹

¹ Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия,
viken@igem.ru

² Научный геоинформационный центр РАН, Москва, Россия

В работе приведены первые результаты локальных исследований содержаний и распределения микропримесей в минералах малосульфидных руд различных ассоциаций (медно-)золото-палладиевого проявления Озерное, открытого в 2002 г. на Полярном Урале и локализованного в клинопироксенитах и верлитах среднего палеозоя. Методом LA-ICP-MS выявлено, что набор и уровни концентраций элементов-примесей в трех ассоциациях (пирротин-пиритовой, пирротин-халькопирит-кубанитовой и борнит-халькопиритовой) различны. Для пирита первой ассоциации, распространенной на флангах рудной зоны, характерны высокие содержания примесей Co и Se, умеренные Ni и следовые Bi, Sb и Ag. В минералах пирротин-халькопирит-кубанитовой ассоциации, распространенной в пределах рудных зон, отмечается присутствие значимых содержаний Ag, Pb и Se, а также группы элементов (Sb, Bi, Au, Te и Pd), встречающихся в заметном количестве, но спорадически, что может быть обусловлено микровключениями их собственных минералов. В сульфидах меди борнит-халькопиритовой ассоциации, особенно в борните, фиксируются наиболее высокие концентрации Ag, Se, Te, Pd. Состав основных компонентов рудных и нерудных минералов изучен методом электронно-зондового микроанализа; основное внимание удалено изучению сульфидов, Fe-оксидов, оливинова и пироксена.

Ключевые слова: клинопироксениты, палладий, золото, микропримеси, метод LA-ICP-MS, электронно-зондовый микроанализ, Полярный Урал

Typochemistry of sulfides of the Ozernoe Au-Pd occurrence (Polar Urals)

A. P. Kondrikova¹, E. E. Tyukova^{1, 2}, I. D. Sobolev¹, I. V. Vikentiev¹

¹ Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia

² Scientific Geoinformation Center RAS, Moscow, Russia

The paper presents the first results of local studies of the content and distribution of trace elements in minerals of low-sulfide ores of various associations of the Ozernoe (copper-)gold-palladium occurrence, discovered in 2002 in the Polar Urals and localized in clinopyroxenites and wehrlites of the Middle Paleozoic. According to LA-ICP-MS data, the diversity and concentration levels of trace elements in three associations (pyrrhotite-pyrite, pyrrhotite-chalcopyrite-cubanite and bornite-chalcopyrite) are different. Thus, pyrite of the first association, common on the flanks of the ore zone, is characterized by high concentrations of Co, Se, moderate ones of Ni and traces of Bi, Sb, Ag. The minerals of the pyrrhotite-chalcopyrite-cubanite association, common within the ore zones, commonly contain Ag, Pb and Se, as well as groups of elements (Sb, Bi, Au, Te and Pd), occurring in noticeable amounts, but sporadically, which may be conditioned by microinclusions of their minerals. The highest concentrations of Ag, Se, Te, and Pd are recorded in copper sulfides of the bornite-chalcopyrite association, especially in bornite. The main components of ore and non-metallic minerals (sulfides, Fe-oxides, olivine and pyroxene) has been studied by electron probe microanalysis.

Keywords: clinopyroxenites, palladium, gold, trace impurities, LA-ICP-MS method, electron probe microanalysis, Polar Urals

Введение

Рудопроявление малосульфидных Au-Pd-руд Озерное было открыто в 2002 году в процессе доизучения территории Полярного Урала при проведении геолого-съемочных работ (ГДП-200) на правобережье руч. Дзелятышор — левого притока р. Малая Хараматолоу (Котельников, Романова, 2004). Рудопроявление распо-

ложено в самой северо-восточной оконечности ВойкароСынинского габбро-гипербазитового массива (рис. 1) и приурочено к оливинит-верлит-клинопироксенит-габбровому кэршорскому плутоническому комплексу (Озк). Магматические породы комплекса представлены безоливиновыми, оливинсодержащими и оливиновыми клинопироксенитами, габбро, верлитами и оли-

Для цитирования: Кондрикова А. П., Тюкова Е. Э., Соболев И. Д., Викентьев И. В. Типохимизм сульфидов Au-Pd-рудопроявления Озерное (Полярный Урал) // Вестник геонаук. 2024. 12(360). С. 12–25. DOI: 10.19110/geov.2024.12.2

For citation: Kondrikova A. P., Tyukova E. E., Sobolev I. D., Vikentiev I. V. Typochemistry of sulfides of the Ozernoe Au-Pd occurrence (Polar Urals). Vestnik of Geosciences, 2024, 12(360), pp. 12–25, doi: 10.19110/geov.2024.12.2

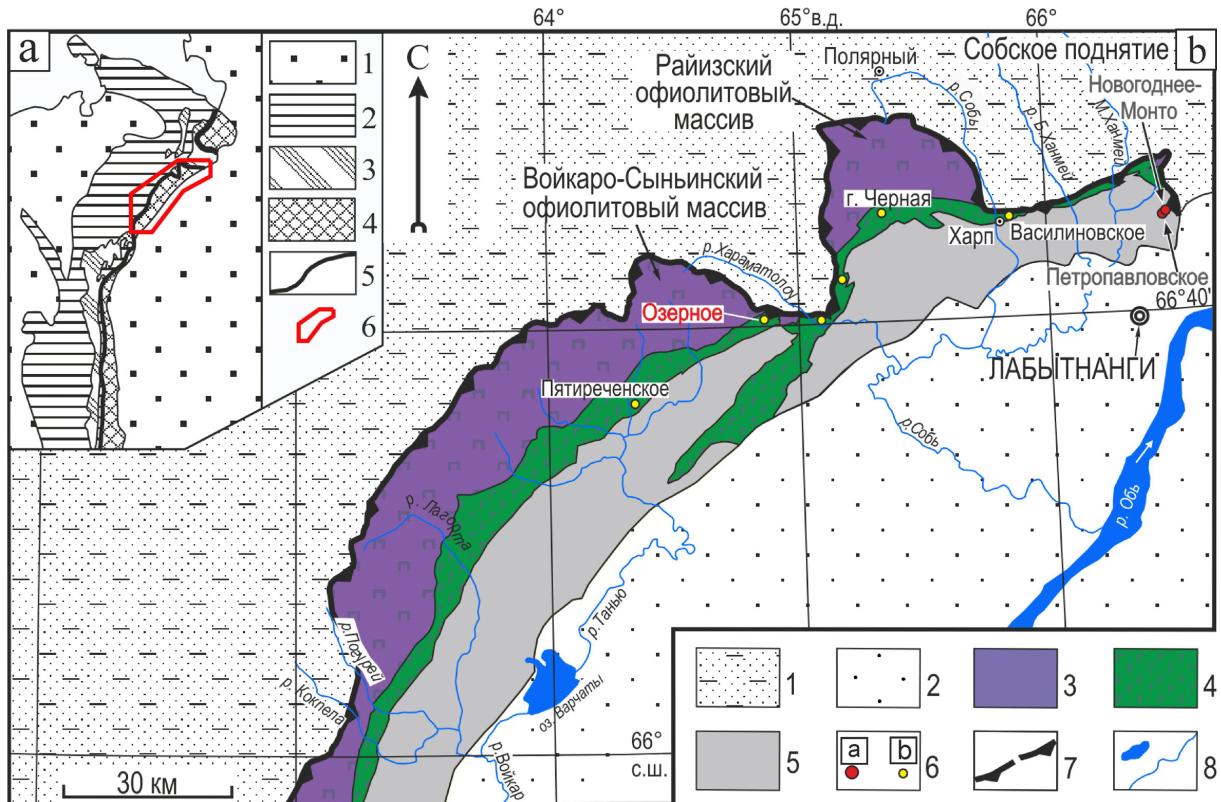


Рис. 1. Положение Озерного рудопроявления в складчато-надвиговой структуре Полярного Урала

На врезке: а) тектоническая схема северной части Уральского складчатого пояса (по: Кузнецов и др., 2000). 1 – мезозойско-кайнозойские комплексы чехла Восточно-Европейской платформы и Западно-Сибирской плиты; 2 – палеозойские комплексы Западного Урала; 3 – докембрийские комплексы Западного Урала; 4 – ранне- и среднепалеозойские комплексы Восточного Урала; 5 – Главная Уральская сутура; 6 – контур Войкарской зоны Полярного Урала; б) схема строения Войкарской зоны (по: Шишкин и др., 2007; Зылева и др., 2014) с упрощениями: 1 – позднедокембрийские и палеозойские образования Западно-Уральской мегазоны; 2 – мезозойско-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты; 3–5 – образования Войкарской зоны: преимущественно ордовикские метаморфизованные гипербазиты (3) и габброиды (4), преимущественно ордовикско-девонские магматические и осадочно-вулканогенные образования (5); 6 – благороднометалльные объекты: месторождения золота (а), Pd-Cu- и Pt-Au-Pd-рудопроявления (б); 7 – Главная Уральская сутура; 8 – реки, озера

Fig. 1. Position of the Ozernoye ore occurrence in the fold-and-thrust structure of the Polar Urals. Inset:

а) the tectonic scheme of the northern part of the Ural folded belt, based (according to Kuznetsov et al., 2000): 1 – Mesozoic-Cenozoic complexes of the cover of the East European Platform and the West Siberian Plate; 2 – Paleozoic complexes of the Western Urals; 3 – Precambrian complexes of the Western Urals; 4 – Early-Middle Paleozoic complexes of the Eastern Urals; 5 – the Main Uralian suture; 6 – the contour of the Voykar zone of the Polar Urals; б) scheme of the structure of the Voikar zone (according to Shishkin et al., 2007; Zyleva et al., 2014) with simplifications: 1 – Late Precambrian and Paleozoic formations of the West Ural megazone; 2 – Mesozoic-Cenozoic cover of the West Siberian plate; 3–5 – formations of the Voikar zone: mainly Ordovician metamorphosed hyperbasites (3) and gabbroids (4), mainly Ordovician-Devonian igneous and sedimentary-volcanogenic formations (5); 6 – precious metal objects: gold deposits (a), Pd-Cu and Pt-Au-Pd ore occurrences (b); 7 – the Main Uralian suture; 8 – rivers, lakes

винитами (рис. 2). Породы интенсивно метаморфизованы преимущественно в эпидот-амфиболитовой фации. Ряд исследователей (Кузнецов и др., 2007; Пыстин и др., 2010) отрицают принадлежность пород Озерного проявления к кэршорскому комплексу, в связи с тем что массив рудоносных клинопироксенитов и верлитов демонстрирует частичную дискордантность его структур по отношению к структурам окружающих пород и, вероятно, является тектонической пластиной пород, имеющих более древний возраст. Соответственно, они выделяют клинопироксениты и верлиты в самостоятельный Дзелятишорский массив, названный по одноименному ручью. Вопрос возраста пород массива остается дискуссионным в связи со сложностью датирования гипербазитов; в работах предшественников возраст пород оценивается от среднеордовикского до девонского. Для габброидов трех более южных участ-

ков развития кэршорского комплекса U-Pb-методом были получены конкордантные датировки единичных зерен циркона (SHRIMP II, ЦИИ ВСЕГЕИ), составляющие 454 ± 7 , 446.8 ± 4.3 и 446 ± 2 млн лет (3 пробы по 10 цирконов), что позволяет говорить о позднеордовикском возрасте пород комплекса (Ремизов и др., 2010).

Проявление довольно хорошо изучено (Пыстин и др., 2006, 2011; Шишкин и др., 2007; Потапов, 2011* и др.).

* Потапов И. Л. Структура, вещественный состав и минерагения Дзелятишорского верлит-клинопироксенитового массива (Полярный Урал): Автореф. канд. дис. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 2011. 26 с.

Potapov I. L. Structure, material composition and mineralogy of the Dzelyatishorsky wehrlite-clinopyroxenite massif (Polar Urals). Abstract of Ph.D. diss. Syktyvkar: IG KSC UB RAS, 2011, 26 p. (in Russian)

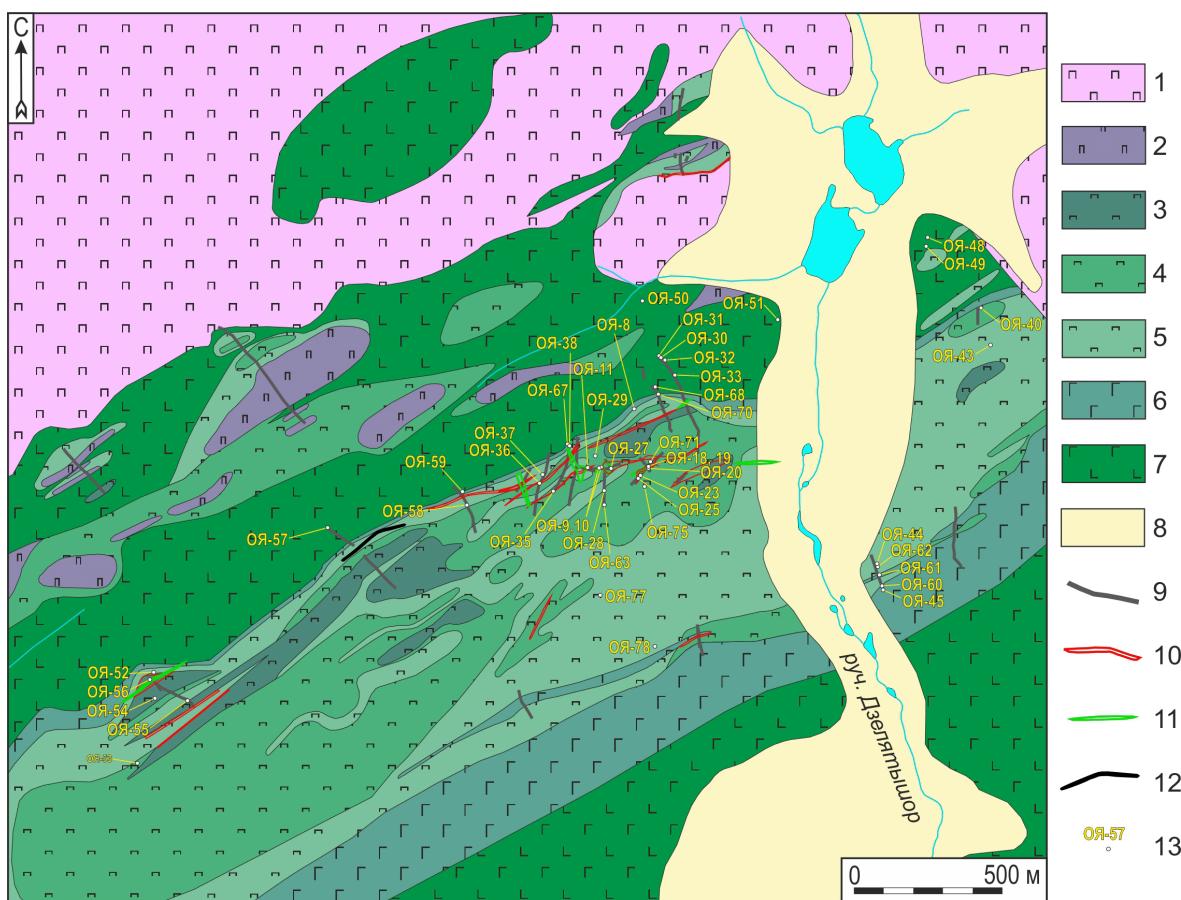


Рис. 2. Геологическая схема Au-Pd-проявления Озерное, составлена с использованием материалов Ямальской горной компании (Генералов и др., 2008):

1 — дуниты и гарцбургиты нерасчлененные райзско-войкарского комплекса (PZ1?); 2—6 — породы кэршорского «полосчатого» комплекса ($O_3?$): 2 — верлиты и оливиниты нерасчлененные, 3 — клинопироксениты высоколивиновые (оливина 20—40 об. %), 4 — клинопироксениты оливиновые, 5 — клинопироксениты, 6 — габброиды; 7 — аподолеритовые и апогабброльевые бластомильтониты с полосчатой текстурой, предположительно относящиеся к лагортайскому комплексу параллельных даек (O_3); 8 — аллювиальные и флювиогляциальные отложения (Q_{IV}); 9 — канавы; 10—12 — выходы рудных тел: 10 — Au-Pt-Pd, 11 — Cu, 12 — железорудные; 13 — точки наших геологических наблюдений и отбора образцов

Fig. 2. Geological scheme of the Ozernoye Au-Pd occurrence, compiled with materials from the Yamal Mining Company (Generalov et al., 2008):

1 — undifferentiated dunites and harzburgites of the Raiz-Voikar complex (PZ1?); 2—6 — rocks of the Kershore “banded” complex ($O_3?$): 2 — undifferentiated wehlrites and olivinites, 3 — high-olivine clino-pyroxenites (olivine 20—40 vol. %), 4 — olivine clino-pyroxenites, 5 — clinopyroxenites, 6 — gabbroids; 7 — apodolerite and apogabbro blastomylonites with a banded texture, presumably related to the Lagortayu complex of parallel dikes (O_3); 8 — alluvial and fluvioglacial deposits (Q_{IV}); 9 — ditches; 10—12 — outcrops of ore bodies: 10 — Au-Pt-Pd, 11 — Cu, 12 — iron ore; 13 — points of our geological observations and sampling

Была проведена разведка рудопроявления с проходкой траншей и серии колонковых скважин и их опробованием, и оценены его ресурсы. Минералогическим исследованиям руд проявления посвящен целый ряд работ (Кузнецов и др., 2004, 2007; Пыстин и др., 2006, 2007, 2012; Пыстин и др., 2006; Потапов, 2011*; Murzin et al., 2022). В рудах проявления основной интерес представляют палладий ($C_{Pd} = 0.1—1.66 \text{ г/т}$, среднее — 0.28 г/т) и золото ($C_{Au} = 0.1—2.15 \text{ г/т}$, иногда выше; среднее — 0.27 г/т); менее значимы платина ($C_{Pt} = 0.04—0.26 \text{ г/т}$, среднее — 0.05 г/т) и медь (Шишкун и др., 2007). Оруднение рассеянно- и редковкрапленное, в основном локализуется в клинопироксенитах, относимых к кэршорскому комплексу. На проявлении Озерное оценены прогнозные ресурсы по категории P_2 : палладия — 54.7 т, золота — 52.8 т, платины — 9.8 т.

Целью данной работы было выявление особенностей распределения элементов-примесей в сульфидах

и магнетите руд Озерного рудопроявления. Микропримеси в составе рудных минералов ранее здесь практически не изучались.

Методы исследований

В пределах Озерного рудопроявления в 2023—2024 гг. авторами были проведены полевые работы, выполнено выборочное картирование и опробование, в том числе и сохранившегося на участке керна колонковых скважин. В результате работ собрана представительная коллекция, насчитывающая 120 образцов для петрографических, минералогических, геохимических и изотопных исследований. Микроскопические исследования и последующие анализы выполнены в аншлифах прозрачно-полированных шлифов, в отдельных случаях — в эпоксидных шашках с замонтированными зернами рудных минералов.



Исследование содержаний основных компонентов минералов пород и руд выполнено в ИГЕМ РАН на рентгеноспектральном микроанализаторе (PCMA) Jeol JXA-8200, оснащенном пятью волновыми и одним энергодисперсионным спектрометрами; элементы определялись при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе на цилиндре Фарадея 20 нА, диаметре пучка 1 мкм (аналитик Е. В. Ковальчук), а также на сканирующем микроскопе JSM-5610, оснащенном системой энергодисперсионного микроанализа INCA-450 и спектрометром AztecOne (аналитик Л. А. Левицкая); изображения получены в режиме обратнорассеянных электронов (BSE). Условия анализа: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток на цилиндре Фарадея 20 нА, диаметр пучка 1 мкм. Время экспозиции на все элементы составляло 10 сек на пике и по 5 сек на фоне с обеих сторон. В качестве эталонов использованы Sb_2S_3 , CdSe, ZnS, HgS, CuFeS₂, AgSbS₂, Bi₂Te₃, GaAs, PbS и химически чистые металлы. Аналитические линии: для элементов Zn, S, Cu, Fe, Ni, Co — Ка; для Ag, As, Te, Sb, Se, Pd, Pt — La; для Hg, Bi, Pb — Ma, для Cd — Lβ. При анализе силикатов в качестве стандартов на определяемые элементы использовались соединения, близкие по составу к исследуемым фазам. Расчет поправок осуществлялся по методу ZAF-коррекции с использованием программы фирмы JEOL.

Изучение микропримесей в минералах выполнено с помощью метода масс-спектрометрии с индуктивно связанный плазмой и лазерным пробоотбором (LA-ICP-MS) на квадрупольном масс-спектрометре ThermoXSeries2 с системой лазерного пробоотбора NewWave UP213 (Викентьев и др., 2016) в центре коллективного пользования «ИГЕМ-Аналитика» в ИГЕМ РАН (аналитик В. Д. Абрамова). Для анализа использовались коммерческий сульфидный стандарт USGS mass-1 (Wilson et al., 2002) и сульфидный стандарт в пирротиновой матрице (по 20 ppm ЭПГ, золота и серебра), синтезированный в ИГЕМ РАН по методу (Ballhaus et al., 2006) и аттестованный в нескольких не-

зависимых лабораториях. Вскрытие зерен сульфидов осуществлялось с помощью профильной (бороздовой) абляции; диаметр луча лазера 60 мкм, частота 10 Гц, энергия на поверхности образца 7–8 Дж/см². Длина аналитического профиля составляла 200–300 мкм, пройденного лучом лазера за 1.5–2 мин (скорость прожига по линии — 5 мкм/с). Абляция начиналась после 30 с измерения фона. По каждому профилю получается много десятков анализов химического состава минералов — по макрокомпонентам (оценочно) и микропримесям (основная задача данного метода); предел чувствительности для большинства элементов составлял 0.02–0.05 ppm. Помимо таблиц с результатами при анализе получаются графики (чаще называемые «спектрами распределения»), представляющие собой временные развертки, на которых видно количество импульсов каждого элемента, подсчитанных масс-спектрометром в поступающей в него из камеры лазерного пробоотбора плазме. Развертки удобны для наглядного представления уровня содержания и равномерности распределения примесных компонентов. Для сопоставлений обычно выбираются участки без включений (без «пиковых» значений), отдельные для каждого минерала, данные по которым усредняются (области усреднения показаны рамками в верхних частях спектров на приводимых в статье рисунках). Расчет данных был проведен в приложении Iolite для программы Igor Pro (Paton et al., 2011).

Краткая геологическая и петрографическая характеристика

В районе рудопоявления Озерное породы кэршорского «полосчатого» комплекса представлены серией тектонических пластин, которые включают в себя амфиболизированные габбро с различными цветовыми индексами (от нормальных до меланократовых, рис. 3, g) и утратившие первично-магматическую структуру амфиболиты, оливиниты, верлиты, а также оли-

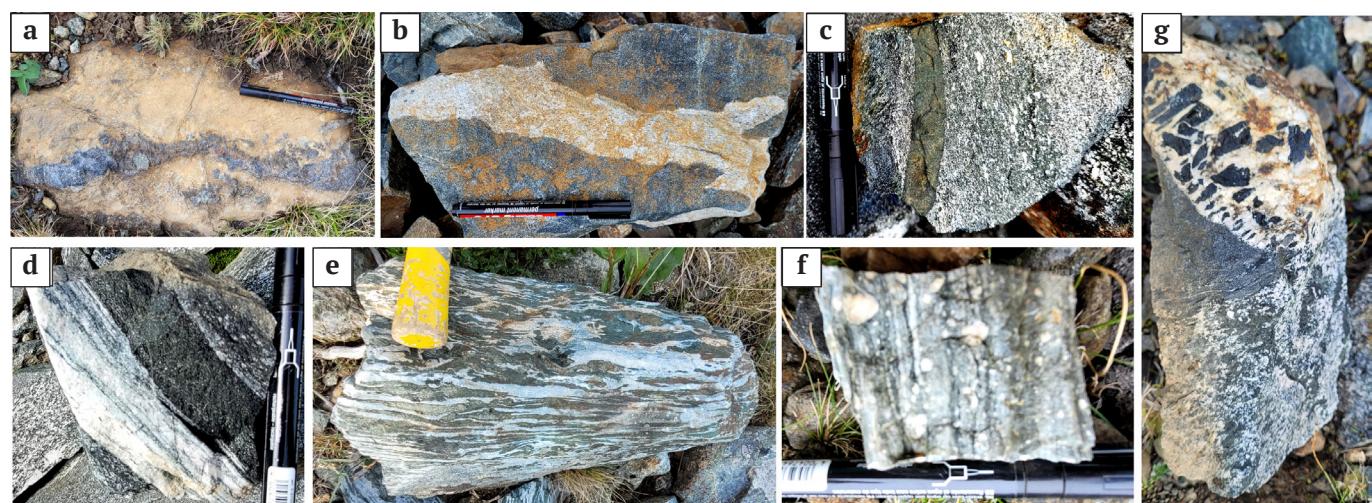


Рис. 3. Взаимоотношения магматических образований и их изменения: а — пересечение оливинитов клинопироксенитами; б—д — дайкоподобные образования разного состава в измененных габброидах; е — амфиболизированные габброиды с директивной текстурой; ф — аполейкоплагиогранитовые бластомилониты, г — контакт тулитовых габбро с амфиболизированными габброидами

Fig. 3. Relations of igneous formations and their alteration. a — intersection of olivinites with clinopyroxenites; b—d — dyke-like formations of different compositions in altered gabbrooids; e — amphibolized gabbrooids with directive structure; f — apolite-plagiogranitic blastomylonites, g — contact of thulite gabbroes with amphibolized gabbrooids

винсодержащие и оливиновые клинопироксениты. Наблюдаются пересечения оливинитов клинопироксенитами (рис. 3, а). В северной, наиболее разгнейованной части массива наблюдаются случаи неоднородного осветления за счет эпигенетической (симметаморфической?) дифференциации вещества. В некоторых случаях отмечаются кварц-полевошпатовые линейные зоны по жилам и дайкам, представленные апоплагиоклазитовыми и аполейкоплагиогранитовыми бластомилонитами с неяснополосчатой, линзовидно-полосчатой текстурой и бластопорфировой структурой, с реликтовыми, частично альбитизированными субдиоморфными порфиробластами плагиоклаза (рис. 3, ф). Одними из наиболее поздних плутонических образований рудопроявления Озёрное являются гигантозернистые тулитовые габбро (рис. 3, г), в которых отмечается уменьшение зернистости по мере приближения к контакту со средне- и мелкозернистыми габброидами кэршорского комплекса.

Преобладающие в качестве рудовмещающих клинопироксениты с различным содержанием оливина и менее распространенные верлиты рудопроявления Озерное имеют пятнистую, вкрашенную текстуру и средне-, крупнозернистую, гипидиоморфнозернистую до панидиоморфнозернистой с элементами петельчатой и пойкилоофитовой структуру. Оливин в количестве до 20 об. % выполняет интерстиции между кристаллами клинопироксена. Для верлитов с пятнистой, вкрашенной текстурой и равномерно-зернистой, среднезернистой, гипидиоморфнозернистой структурой отмечаются примерно равные соотношения оливина и клинопироксена. Метаморфические преобразования главным образом выражены в амфиболизации: кристаллы роговой обманки ксеноморфной и ромбической морфологии достаточно равномерно замещают крупные зерна клинопироксена. В редких случаях роговая обманка замещает кристаллы клинопироксена по каймам и отмечается в интерстициях между другими пордообразующими минералами. В единичных случаях по клинопироксену развивается хлорит. Оливин в породах замещается преимущественно хлоритом.

Таблица 1. Составы оливина и клинопироксена в клинопироксенитах и верлитах рудопроявления Озерное (PCMA, мас. %)

Table 1. Compositions of olivine and clinopyroxene in clinopyroxenites and wehrlites of the Ozernoye ore occurrence (EPMA, wt.%)

№ обр. Sample No.	Минерал Mineral	SiO ₂	Na ₂ O	K ₂ O	FeO	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	NiO	TiO ₂	MnO	Cr ₂ O ₃	Сумма Sum
ОЯ-6-1	Ol	38.69			24.88		36.68	0.01	0.05		0.39	0.01	100.70
ОЯ-6-1	Ol	38.15			27.59		34.86	0.02	0.03		0.36		101.01
ОЯ-11	Ol	37.77			23.37		37.59	0.01	0.09		0.41		99.24
ОЯ-11	Ol	37.95			23.41	0.01	37.77	0.01	0.08		0.41		99.64
ОЯ-12-2	Ol	37.74			21.00	0.02	39.33		0.05	0.01	0.48	0.01	98.65
ОЯ-12-2	Ol	37.96			20.28	0.03	39.80	0.01	0.01		0.43	0.02	98.55
ОЯ-6-1	Cpx	53.22	0.12		6.12	2.77	14.82	23.46	0.03	0.23	0.15	0.10	101.03
ОЯ-6-2	Cpx	57.37	0.21	0.17	4.57	2.25	21.18	13.02	0.03	0.07	0.11		98.98
ОЯ-11	Cpx	52.51	0.11		5.33	2.19	14.79	23.75	0.01	0.16	0.21	0.07	99.12
ОЯ-11	Cpx	53.22	0.09		6.07	1.57	14.81	24.16		0.12	0.16	0.08	100.27
ОЯ-12-2	Cpx	51.67	0.06		5.74	1.56	14.88	24.34	0.01	0.08	0.19	0.02	98.56
ОЯ-12-2	Cpx	53.72	0.05		4.23	0.89	15.13	24.77	0.01	0.06	0.23	0.02	99.10

Примечание: Ol — оливин, Cpx — клинопироксен; пропуск — элемент ниже предела обнаружения.

Note: Ol — olivine, Cpx — clinopyroxene; if omitted — element below detection limit.

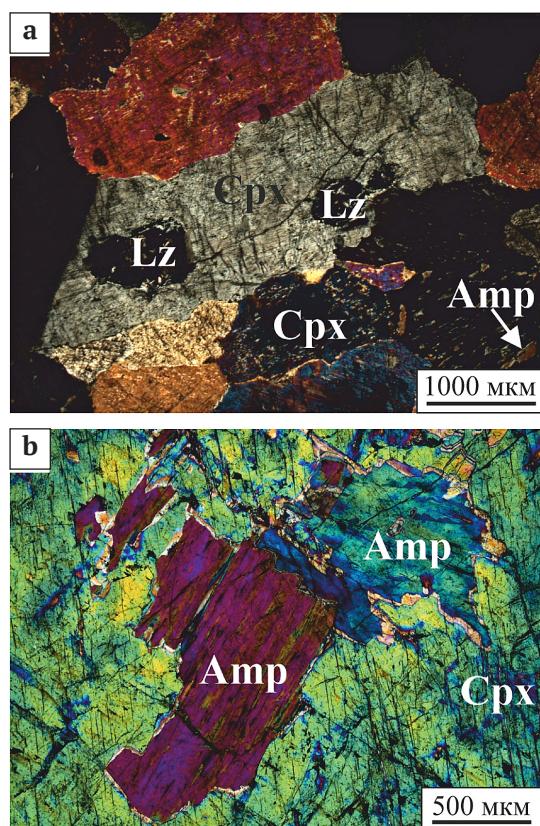


Рис. 4. Характер изменений минерализованных клинопироксенитов и верлитов Озёрного рудопроявления: а — хадакристаллы серпентинизированного и замещенного лизардитом оливина (Lz) в клинопироксene (Cpx), частично замещенном амфиболом (Amp), шлиф ОЯ-9; б — амфибилизация клинопироксена по массе кристалла, шлиф ОЯ-48-2. Изображения в проходящем свете, николи скрещены

Fig. 4. Character of substitution in mineralized clinopyroxenites and verlites of the Ozernoye ore occurrence: a — hadacrysts of lizardite-replaced olivine (Lz) in clinopyroxene (Cpx), partially replaced by amphibole (Amp), thin section OЯ-9; b — amphibolization of clinopyroxene, thin section OЯ-48-2. Images in transmitted light, crossed nicols



ственno боулингитом (рис. 4, б) и редкими тонкочешуйчатыми выделениями талька по объему, а по трещинам — петельчатым лизардитом, изредка волокнистым антигоритом и магнетитом, что, вероятно, по условиям отвечает метаморфизму фации зелёных сланцев (рис. 4).

Клинопироксен, по составу соответствующий диопсиду, представлен идиоморфными кристаллами размером от 0.3 до 7 мм, а интерстициальный оливин, содержащий в своем составе до 27.6 мас. % оксида железа (табл. 1), — ксеноморфными, реже округлыми идиоморфными трещиноватыми кристаллами размером до 5 мм. Содержание оливина составляет до 5 об. % в оливинсодержащих разностях и до 20 об. % — в оливиновых клинопироксенитах, в верлитах соотношение клинопироксена и оливина примерно равное. В клинопироксенитах отмечается незначительный идио-

морфизм клинопироксена по отношению к оливину, также оливин отмечается в виде хадакристаллов в клинопироксене, что обуславливает пойкилофитовую структуру пород (рис. 4, а).

Рудные ассоциации

Вкрапленная текстура рудоносных клинопироксенитов и верлитов обусловлена значительным содержанием в них магнетита, содержание которого составляет 7–10 об. %. В оливинсодержащих и оливиновых клинопироксенитах и верлитах выделяются четыре морфологические разности магнетита (рис. 5, табл. 2): 1 — мирамекиты магнетита, образующие вростки в первично-магматических силикатах (рис. 5, а); 2 — кристаллический магнетит, имеющий ксеноморфную морфологию и размеры до 7 мм (рис. 5, б); 3 — магнетит, выполняющий отдельность в клинопироксene и представленный либо пластинчатыми кристаллами, либо мелкими ксеноморфными зернами размером до 0.5 мм (рис. 5, в); 4 — магнетит, выполняющий трещины в оливине (рис. 5, г).

В магнетитах различных морфологических разновидностей методом электронно-зондового микронализа было изучено содержание примесей V, Ti и Cr. Для кристаллического магнетита, который часто образует срастания с сульфидами, а также отмечается в основной массе, характерен достаточно большой разброс химического состава. Содержание оксида титана в магнетитах ксеноморфной морфологии колеблется в пределах 0.02–2.13 мас. %, оксида хрома — 0.01–2.5 мас. %, оксида ванадия — от 0.01 до 1.1 мас. %. Следует отметить, что в породах отмечаются лишь единичные типичные структуры распада ильменит-магнетитового состава, которые являются продуктами изменения магматического титаномагнетита. Мирамекиты магнетита характеризуются хорошо выдержаным по сравнению с другими разностями содержанием ванадия (0.5–0.98 мас. %). Такие структуры образуются на позднемагматических этапах при повышении давления кислорода в расплаве с участием водяного пара и, как следствие, окислении железа (Юрьев, 1969). В магнетите, выполняющем трещины в оливине, примесь ванадия не зафиксирована, тогда как в отдельности

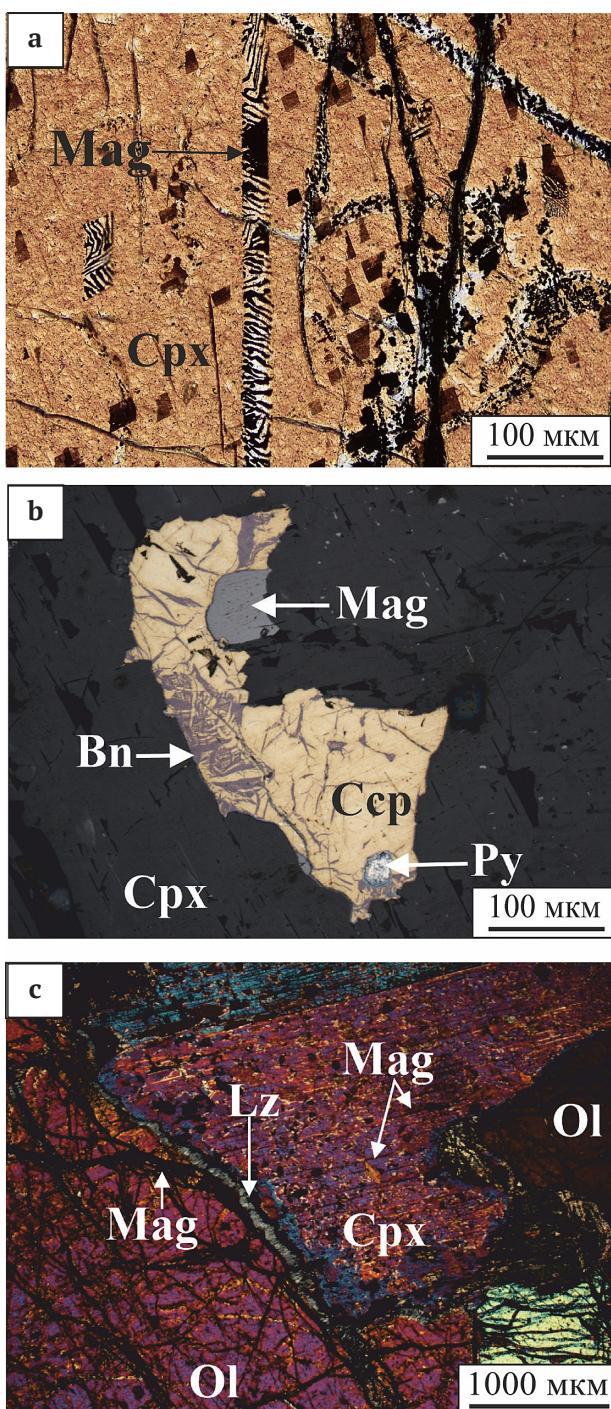


Рис. 5. Морфологические генерации магнетита: а — мирамекитовые вростки магнетита (Mag) в клинопироксene (Cpx), шлиф ОЯ-39-1б. Проходящий свет, николи скрещены; б — кристаллы магнетита в срастании с пирит-борнит-халькопиритовым агрегатом (Py, Bn; Ccp), шлиф ОЯ-6-2. Отраженный свет, николи параллельны; в — магнетит, выполняющий трещины в оливине (Ol), и отдельность в клинопироксene (Cpx), шлиф ОЯ-12-1. Проходящий свет, николи скрещены

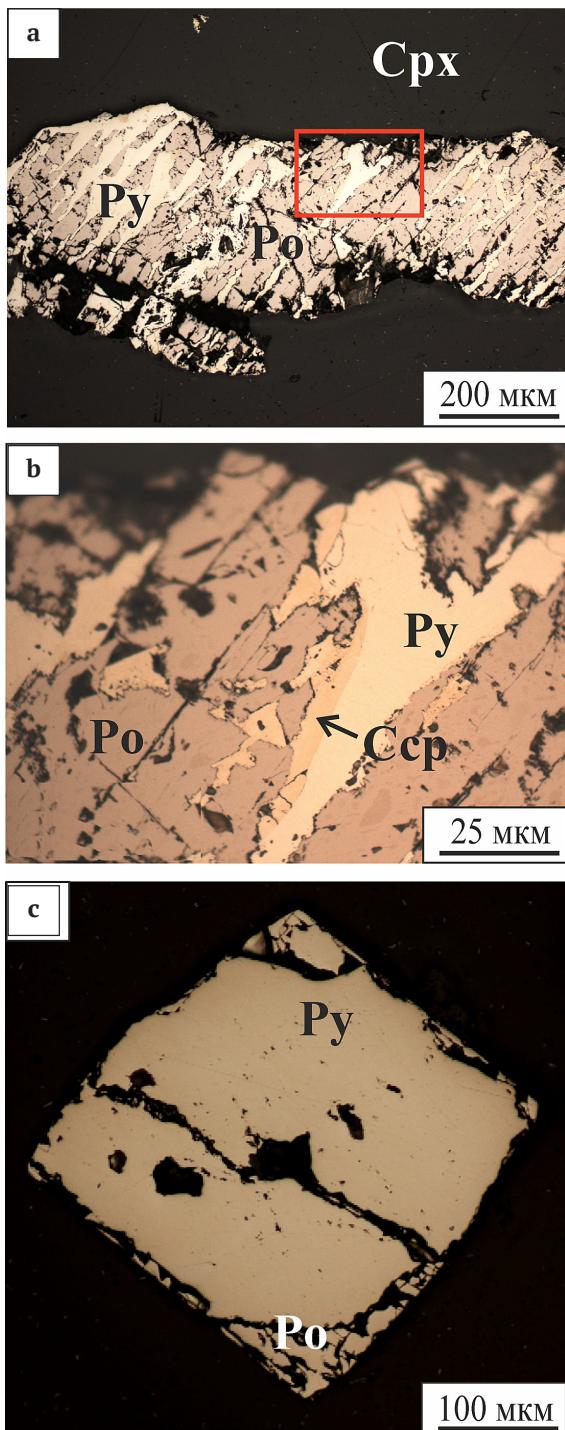
Fig. 5. Morphological generations of magnetite: a — myrmekite intergrowths of magnetite (Mag) in clinopyroxene (Cpx) thin section OЯ-39-1b. Transmitted light, crossed nicols; b — crystalline magnetite intergrown with pyrite-chalcopyrite-bornite aggregate (Py, Ccp, Bn), thin section OЯ-6-2. Reflected light, parallel nicols; c — magnetite filling cracks in olivine (Ol) and joint in clinopyroxene (Cpx), thin section OЯ-12-1. Transmitted light, crossed nicols

Таблица 2. Химический состав магнетита (PCMA, мас. %) различных морфологических разновидностей в клинопироксенитах и верлитах рудопроявления Озерное по результатам электронно-зондового микроанализа

Table 2. Chemical composition of magnetite (EPMA, wt.%) of various morphological varieties in clinopyroxenites and wehrlites of the Ozernoye ore occurrence according to the results of electron probe microanalysis

№ обр. Sample No.	Тип* Type	SiO ₂	MgO	FeO	TiO ₂	NiO	Al ₂ O ₃	MnO	CaO	V ₂ O ₃	ZnO	Nb ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	Σ
ОЯ-6-3	2	0.02	0.50	86.98	1.86	0.04	1.06	0.21	0.78		0.04	0.74		92.21
ОЯ-12-2	2	0.04	0.33	90.58	0.09	0.02	0.12	0.04	0.02	0.13	0.01	0.05		91.41
ОЯ-12-2	1	0.02	0.22	90.69	0.15	0.02	0.32		0.11	0.50	0.01	0.03	0.35	92.42
ОЯ-13	4		0.60	92.65	0.06	0.08		0.14			0.02	0.09		93.64
ОЯ-6-1	1	0.03	0.09	89.05	0.75	0.07	0.21	0.11	0.18	0.98		0.02	0.34	91.82
ОЯ-11	3	0.03	0.01	87.77	0.06	0.09	0.28	0.04	0.39	0.87		0.02	2.59	92.15

Примечание. *морфологические разновидности: 1 — миремкиты магнетита — вростки в первично-магматических силикатах; 2 — кристаллический магнетит; 3 — магнетит, выполняющий отдельность в клинопироксене; 4 — магнетит, выполняющий трещины в оливине; пустые ячейки здесь и в табл. 3 — элемент ниже предела обнаружения.



клинопироксена минерал характеризуется повышенным содержанием V₂O₅, что указывает на разные временные интервалы и источники вещества при образовании этих разностей магнетита. Для выделения генераций магнетита по характеру срастаний и химическому составу проводятся более детальные микрозондовые исследования.

Сульфидная минерализация во вмещающих породах составляет не более 3 об. % и проявлено в рудных зонах и между ними по-разному. Так, по наблюдениям керна скважин, вне главной рудной зоны проявлена **пирротин-пиритовая ассоциация** в виде моносульфидных (без карбоната, без силикатов) прожилков, а также в виде вкрапленности и гнезд в полевошпат-кварцевых образованиях в амфиболизированных габброидах и пироксенитах. В составе ассоциации также присутствует небольшое количество халькопирита и магнетита. В породах флангов проявления в пирротин-пиритовой ассоциации преобладает пирит, который образует кубические кристаллы и их агрегаты. В этой ассоциации кубический *пиррит* иногда псевдоморфно замещается пирротином (рис. 6, с), или минералы образуют субпараллельные реакционные срастания с зоной халькопирита между ними (рис. 6, а, б), а также пирит непсевдоморфно замещается пирротином.

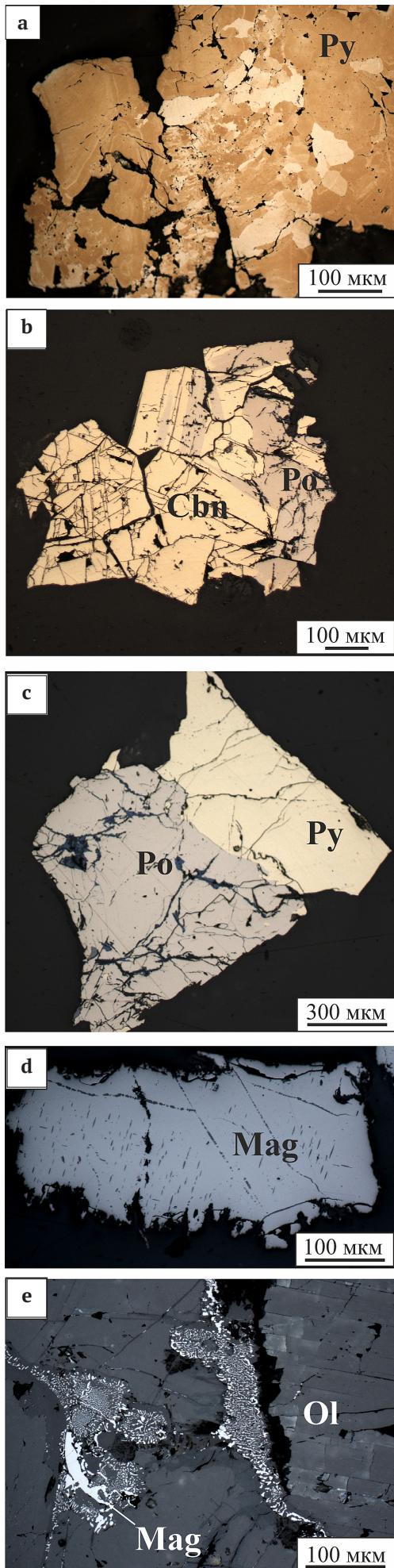
Пирротин-халькопирит-кубанитовая ассоциация распространена в пределах рудных зон в пироксенитах, иногда мелкокристаллических, а также в тек-

Рис. 6. Взаимоотношения минералов пирротин-пиритовой ассоциации:

а — субпараллельное, вероятно реакционное, срастание «пирротин (Po) + халькопирит (Ccp) + пирит (Py)» (обр. 529/169); б — то же, фрагмент; в — обрастане пирротином кубического кристалла пирита (обр. 531/121.5). Оптические снимки полированных образцов в отраженном свете, николи параллельны

Fig. 6. Relations between minerals of the pyrrhotite-pyrite association:

а — subparallel, probably wide intergrowth of pyrrhotite (Po) + chalcopyrite (Ccp) + pyrite (Py) (sample 529/169); б — the same, fragment; в — pyrrhotite fouling of cubic pyrite crystal (sample 531/121.5). Optical images of polished sections in reflected light, parallel nicols



тонизированных и измененных габброидах с директивной текстурой. Представлена рассеянной вкрапленностью (1–2 мм) в пироксенитах или линейными скоплениями (2–3 мм) в измененных габброидах. Магнетит **в** этой ассоциации интенсивно насыщен включениями шпинели и ильменита, образующими структуры распада (рис. 7, д), в продуктах изменения оливина встречаются мирамекиты магнетита (рис. 7, е); местами магнетит содержит редкие мелкие (1–3 мкм) включения теллуридов и других минералов Pd. В некоторых образцах магнетит образует октаэдрические кристаллы с закругленными ребрами и вершинами (растворение?). Кубанит образует рассеянную вкрапленность в пироксенитах, зерна угловатые, с выраженной спайностью (рис. 7, б), иногда встречаются срастания с халькопиритом и пирротином. Пирит ассоциации часто подвергается окислению, которое выявляет его тонкозональное и пятнистое строение (рис. 7, а).

Борнит-халькопиритовая ассоциация — основная ассоциация, продуктивная на элементы платиновой группы (ЭПГ). Представлена также рассеянной вкрапленностью преобладающего халькопирита (до 5 мм) в продуктах изменения крупнокристаллических пироксенитов. Халькопирит-1 в этой ассоциации образует ксеноморфные зерна в срастании с борнитом, иногда цементирует кристаллы магнетита (рис. 8, а). Ближе к периферии зерен встречаются включения более ярких белых фаз, которые представлены гесситом и петцитом и минералами ЭПГ.

Борнит часто содержит халькопирит-2 в виде ламелей распада, и наоборот (рис. 8, б). Минералы меди иногда цементируют пирит и идиоморфные кристаллы магнетита (рис. 8, б). По микротрещинам борнита и халькопирита часто развиваются халькоzin и ковеллин. Особенно следует отметить каплевидные сульфидные образования этой ассоциации преимущественно халькопирит-борнитового состава, в периферической части которых наблюдается микровкрапленность яркой белой фазы, которая представлена минералами палладия. Такие включения особенно характерны для краевых частей обособлений медных минералов (рис. 8, с; 9).

Рис. 7. Взаимоотношения минералов пирротин-халькопирит-кубанитовой ассоциации:

а — пирит (Py) зернистого строения (ОЯ-6-1); б — срастание пирротина (Po) и кубанита (Cbn) (ОЯ-28-2); в — контактное срастание пирротина и пирита (ОЯ-22); д — магнетит (Mag) со структурами распада шпинели и ильменита (ОЯ-6-1); е — мирамекиты магнетита в серпентините вокруг оливина (Ol) (ОЯ-6-2). Оптические снимки в отраженном свете, николи параллельны. Зерна а—д — из тяжелой фракции после травления в HF

Fig. 7. Relations between minerals of the pyrrhotite-chalcopyrite-cubanite association:

а — pyrite (Py) of granular structure (air etching) (ОЯ-6-1); б — intergrowth of pyrrhotite (Po) and cubanite (Cbn) (ОЯ-28-2); в — contact intergrowth of pyrrhotite and pyrite (ОЯ-22); д — magnetite (Mag) with spinel and ilmenite decomposition structures (ОЯ-6-1); е — magnetite myrmekites in serpentinite around olivine (Ol) (ОЯ-6-2). Optical images of polished sections in reflected light, parallel nicols. Grains а—д — enriched from heavy fraction after etching in HF

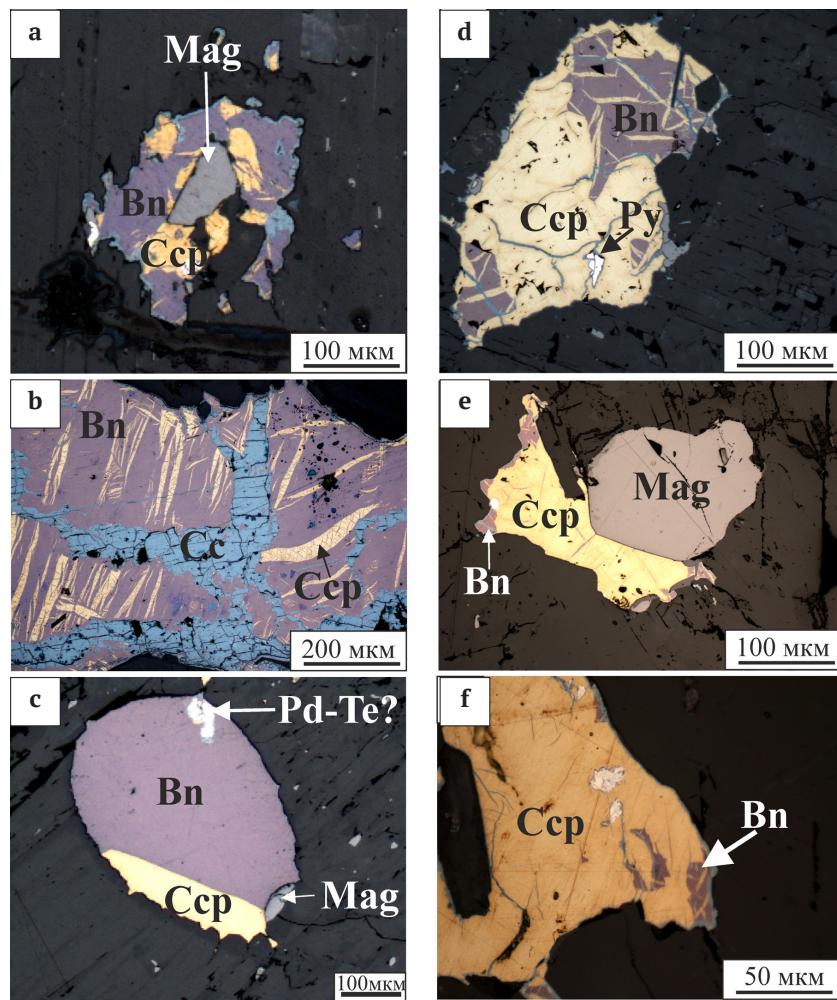


Рис. 8. Взаимоотношения минералов борнит-халькопиритовой ассоциации:

a — кристалл магнетита (Mag) цементируется халькопирит-борнитовым агрегатом (ОЯ-6-2); b — ламелли халькопирита (Ccp) в борните (Bn) и халькозине (Cc) по микротрецинам (ОЯ-6-3); c — «капля» халькопирит-борнитового состава с включением минерала состава Pd-Te (ОЯ-13); d — срастание «халькопирит + борнит» с включением пирита (Py) (ОЯ-20-1); e, f — кристалл магнетита цементируется халькопиритом (ОЯ-20-2). Оптические снимки в отраженном свете, николи параллельны

Fig. 8. Relations between minerals of the bornite-chalcopyrite association:

a — magnetite crystal (Mag) is cemented by chalcopyrite-bornite aggregate (ОЯ-6-2); b — chalcopyrite (Ccp) lamellae in bornite (Bn) and chalcocite (Cc) along microcracks (ОЯ-6-3); c — chalcopyrite-bornite droplet with an inclusion of Pd-Te mineral (ОЯ-13); d — chalcopyrite + bornite intergrowth with pyrite (Py) inclusion (ОЯ-20-1); e, f — magnetite crystal is cemented by chalcopyrite (ОЯ-20-2).

Optical images of polished sections in reflected light, parallel nicols

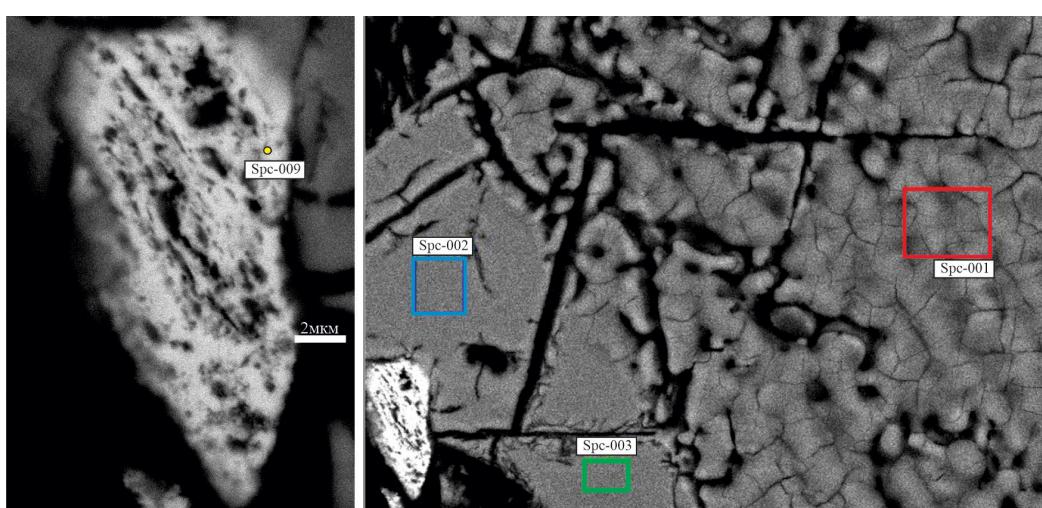


Рис. 9. Включение теллурида палладия (светлое включение состава $C_{\text{Pd}} \approx C_{\text{Te}}$, вероятнее всего котульскит) в халькопирите, слева — увеличенный фрагмент с изображением включения (ОЯ-28-2)

Fig. 9. Inclusion of palladium telluride (light inclusion; composition $C_{\text{Pd}} \approx C_{\text{Te}}$, most likely kotulskite) in chalcopyrite, on the left is an enlarged fragment with an image of the inclusion (ОЯ-28-2)



Элементы-примеси в рудных минералах

Главные элементы-примеси в пирите (зачастую это кубические кристаллы и их агрегаты) **пирротин-пиритовой ассоциации**, вскрытой в основном на флангах проявления, — Co, Pb, As, иногда присутствуют незначительные примеси Bi, Sb, Ni. Характер распределения примесей различен. Так, Co обычно распределен зонально в кристаллах пирита, и его содержание колеблется в пределах 0.15—0.38 мас. % до 0.5 мас. %. Изредка встречается пирит с равномерным высоким содержанием Co (>1 мас. %, в среднем $C_{Co} = 1.5$ мас. % при $C_{As} = 22$ ppm). В пирите повсеместно фиксируется примесь Se до 100 ppm, первые ppm Pb; иногда выявляется примесь Bi, Sb и следы Ag. Пирит часто замещается пирротином.

Здесь же, в породах флангов проявления, вскрытых скважинами, имеется вкрапленность хромшпинелидов и оксидов железа (магнетит-гематит), для которых характерен своеобразный комплекс элементов-примесей. Главными являются Cr, Mn, Mg, Ti, V, иногда Ni и еще реже Au и Ag. Распределение элементов хаотично, некоторые из пиков на графиках (Ni, Au, Ag), вероятно, обусловлены микровключениями, в том числе, возможно, и обогащенного ими пирита.

Пирротин в этой ассоциации, часто в виде пятен и каём, замещает пирит. Пики элементов-примесей Co, As, Bi, Pb тяготеют к пириту (рис. 10), а их провалы — к пирротину. Таким образом, при замещении пирита пирротином происходит высвобождение ряда примесей, которые, вероятно, в дальнейшем участвуют в процессе рудообразования.

В пирротин-халькопирит-кубанитовой ассоциации постоянными примесями в сульфидных минералах являются Ag, Pb и Se, а также примесь Pd, очевидно обусловленная микровключениями, т. к. в этом образце на сканирующем микроскопе установлено микровключение теллурида палладия (рис. 9).

Для сульфидов главной продуктивной на ЭПГ **борнит-халькопиритовой** ассоциации характерны примеси Te и иногда Pd. Наиболее существенная примесь теллура характерна для борнита. В халькопирите содержания примесей на порядок ниже. По данным лазерной абляции приведены средние содержания элементов по профилю, тогда как график распределения примесей демонстрирует наличие выраженных пиков содержаний элементов, которые, очевидно, соответствуют микровключениям разных минералов (рис. 11, 12).

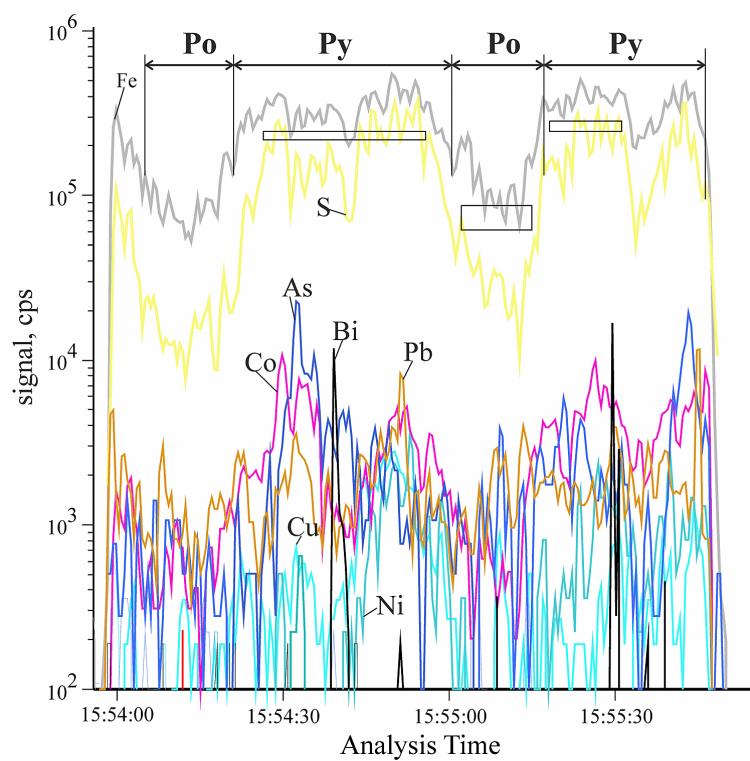
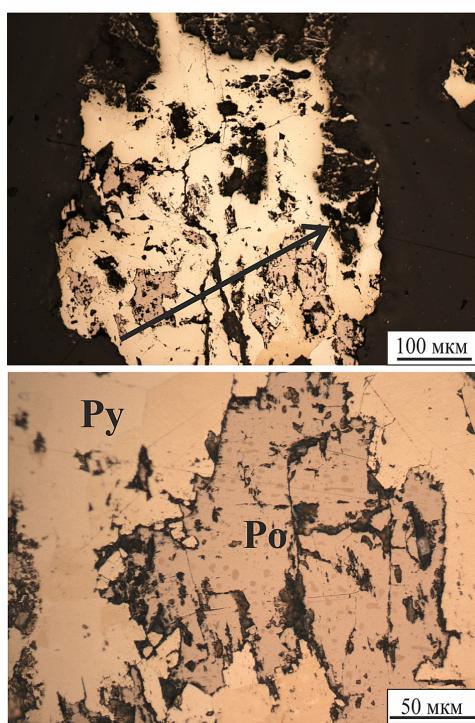


Рис. 10. Распределение элементов-примесей по профилю лазерного микроанализа (линия прожига показана стрелкой, аналогично на рис. 11 и 12) в пирите, «пятнами» замещенном пирротином (скв.529/169). Элементы-примеси содержатся в повышенных количествах главным образом в пирите: Co = 140—200 ppm, Ni = 100—170 ppm, As = 10—25 ppm, Ag — до 5 ppm, иногда появляются пики Bi, обусловленные, вероятно, микровключениями

Fig. 10. Distribution of trace elements according to the profile of laser microanalysis (the firing line is shown by an arrow as well as on Figs. 11 and 12) in pyrite, «spotted» by pyrrhotite (borehole 529/169). Trace elements are contained in increased amounts mainly in pyrite. Co = 140—200 ppm, Ni = 100—170 ppm, As = 10—25 ppm, Ag — up to 5 ppm, sometimes Bi peaks appear, probably due to some microinclusions

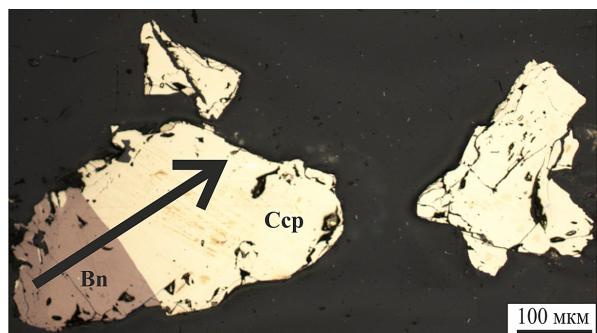
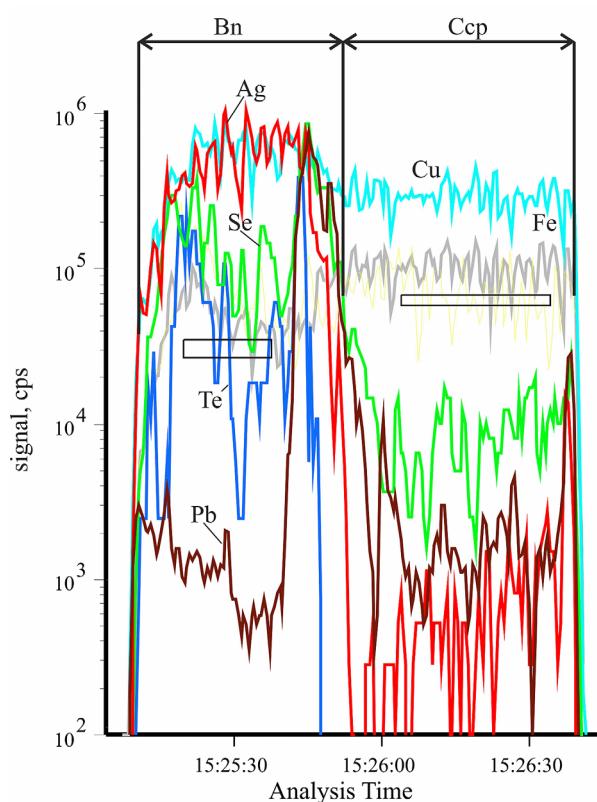


Рис. 11. Распределение элементов-примесей по профилю лазерного микроанализа в срастании «халькопирит-борнит» (ОЯ-12). Примеси концентрируются главным образом в борните и составляют: Se = 6630 ppm, Ag = 3660 ppm, Te = 300 ppm; Pb локализуется в контактовой части минералов. В халькопирите примесей на порядок меньше. Коэффициенты корреляции Ag-Te-Se = 0.7–0.8

Fig. 11. Distribution of trace elements according to the profile of laser microanalysis in the chalcopyrite-bornite intergrowth (ОЯ-12). The trace elements are concentrated mainly in bornite and are Se = 6630 ppm, Ag = 3660 ppm, Te = 300 ppm, Pb is localized in the contact part of the minerals. Chalcopyrite contains an order of magnitude fewer trace elements. The correlation coefficients are Ag-Te-Se = 0.7–0.8

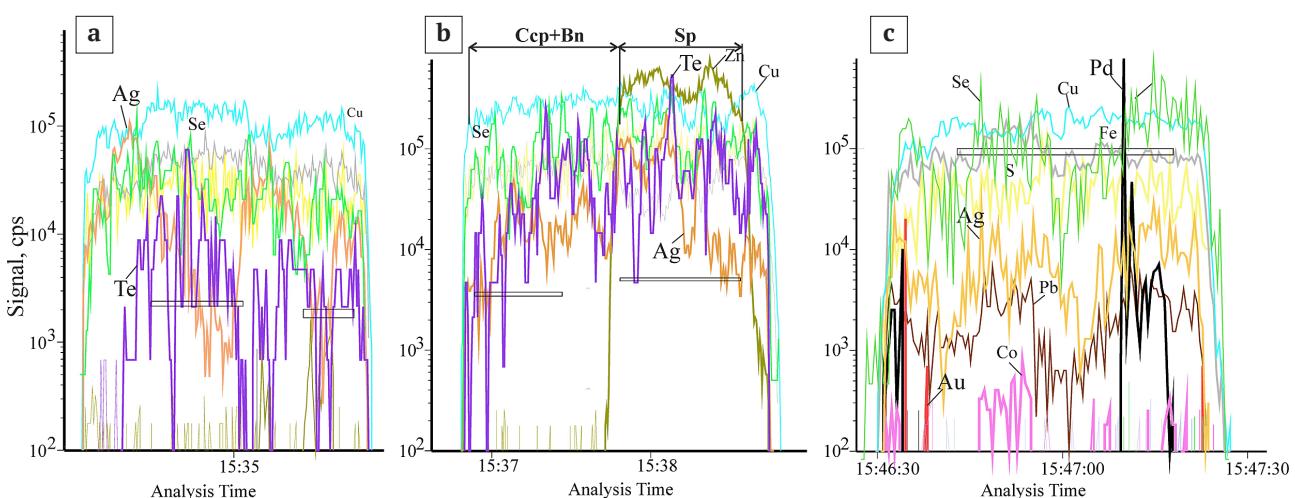
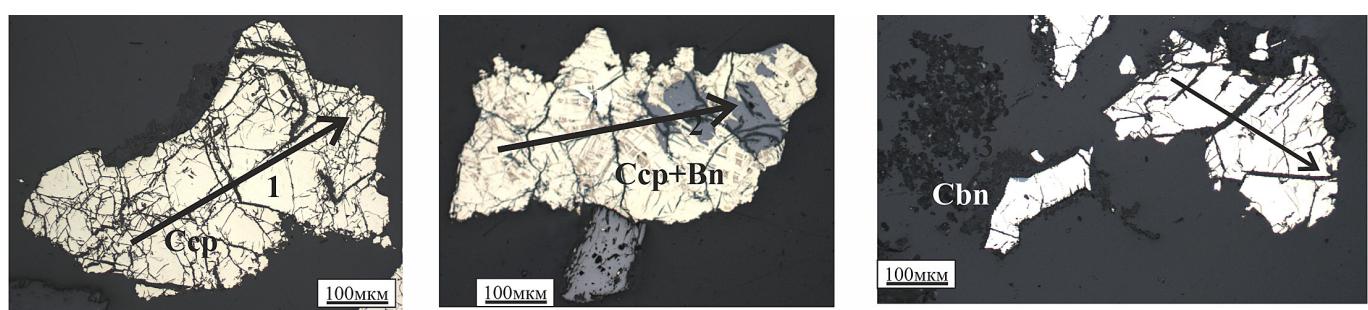


Рис. 12. Распределение элементов-примесей по профилю лазерного микроанализа в минералах продуктивной борнит-халькопиритовой ассоциации (ОЯ-28-1):

a — Ag = 98.4–131.7 ppm, Se = 74–75 ppm, Te = 165–168 ppm; b — Se = 90–201 ppm, Ag = 127–182 ppm, Te = 91–215 ppm, Pd = 4.4 ppm, Cd = 500 ppm, Au = 0.14 ppm; c — Se = 79.3 ppm, Te = 170 ppm, Ag = 105.6 ppm, Pd = 3.3 ppm, Au = 0.54 ppm

Fig. 12. Distribution of trace elements according to the profile of laser microanalysis in minerals of the productive bornite-chalcopyrite association (ОЯ-28-1):

a — Ag = 98.4–131.7 ppm, Se = 74–75 ppm, Te = 165–168 ppm; b — Se = 90–201 ppm, Ag = 127–182 ppm, Te = 91–215 ppm, Pd = 4.4 ppm, Cd = 500 ppm, Au = 0.14 ppm; c — Se = 79.3 ppm, Te = 170 ppm, Ag = 105.6 ppm, Pd = 3.3 ppm, Au = 0.54 ppm



Обсуждение

Анализ пространственной локализации разнотипного оруденения в ультрабазитах Полярного Урала массивов Рай-Из и Войкаро-Сынинского, а также в габброидах их обрамления обнаруживает некоторую зональность (Волченко, 1990; Аникина, 1995*; Кузнецов и др., 2004, 2007, 2013; Murzin et al., 2022; Викентьев и др., 2024). Латеральная геохимическая зональность в распределении благородных металлов: Pt → Pd → Au+Ag — описана на примере массива Рай-Из (Волченко, 1990), где платина концентрируется в хромитах от 5–10 мг/т до 200–300 мг/т; далее в приконтактовых частях рудных тел, в дунитах — палладий (1–30 мг/т), а золото (до 11 мг/т) встречается в узких зонах контактовых дунитов, где на границах с телами хромититов часто отмечаются хлорит-карбонатные прожилки, участки осветления пород и повышенная вкрашенность сульфидов. На проявлении Озерное отсутствуют в существенном объеме хромиты, но зато проявлены тектонически деформированные пироксениты и габброиды. Преобразования мантийных/нижнекоровых пород происходили в условиях от зелено-сланцевой до амфиболитовой фаций метаморфизма; широко развита серпентинизация и амфиболизация ультрабазитов, обусловленная экспансацией офиолитовых массивов и выведением их на верхнекоровый уровень; локально проявлена поздняя хлоритизация, отчасти эпидотизация и окварцевание пород. Все эти изменения сопровождаются разной степенью (как правило, невысокой) сульфидизации пород.

Заключение

Электронно-зондовые исследования показали, что клинопироксен — главный породообразующий минерал клинопироксенитов и верлитов, по составу отвечает диопсиду. Менее распространен в породах железистый оливин, достаточно выдержаный по составу. Выделенные при петрографическом изучении прозрачно-полированых шлифов морфологические разновидности магнетита демонстрируют в своем составе заметный разброс содержаний микропримесей титана, хрома и ванадия, за исключением мирмекитов магнетита, состав которых достаточно выдержан по ванадию. Для составления расширенных выводов о стадийности образования разновидностей магнетита и возможной их природе проводятся детальные микрозондовые исследования с использованием минеральной термометрии.

Выполненное нами изучение распределения элементов-примесей методом лазерной абляции в основных минералах руд показало, что комплекс таких примесей в минералах выделенных ассоциаций различен. Так, для пирита пирротин-пиритовой ассоциации, распространенной вне рудных зон, характерны высокие содержания примеси Co (до 1.5 мас. %), Se (до 1500 ppm),

умеренные Ni (до 400 ppm) и следы Bi, Sb, Ag. При этом пирротин, замещающий пирит, существенно обедняется примесями. Постоянными примесями минералов пирротин-халькопирит-кубанитовой ассоциации, распространенной в пределах рудных зон, является Ag (до 35 ppm), Pb и Se, иногда наблюдаются всплески содержаний Sb, Bi, Au, Te и Pd, которые обусловлены микровключениями минералов. Наиболее обогащены элементами-примесями Cu-Fe сульфиды борнит-халькопиритовой ассоциации: Ag (200–3600 ppm), Se (200–6600 ppm), Te (до 300 ppm), Pd (до 5 ppm). Максимальные концентрации примесей (и микровключения с содержащими их минералов) приурочены к борниту, т. е. наиболее высокомедистой фазе.

Авторы признательны ЦКП «ИГЕМ-аналитика» (LA-ICP-MS, В. Абрамова; PCMA, Е. Ковалчук; СЭМ с ЭДС, Л. Левицкая) за аналитические исследования, И. Прудникову, М. Гайковичу и Е. Зублюк — за содействие в проведении полевых работ 2023 г. и общую поддержку, рецензентам — за внимательное прочтение рукописи и замечания, которые привели к уточнению ряда положений статьи. Работы выполнены при финансовой поддержке гранта РНФ 23-17-00266.

Литература / References

- Викентьев И. В., Абрамова В. Д., Иванова Ю. Н., Тюкова Е. Э., Ковалчук Е. В., Бортников Н. С. Микропримеси в пирите золотопорфирового месторождения Петропавловское (Полярный Урал) по данным LA-ICP-MS // Докл. РАН. 2016. Т. 470. № 3. С. 326–330.
 Vikentiev I. V., Abramova V. D., Ivanova Yu. N., Tyukova E. E., Kovalchuk E. V., Bortnikov N. S. Trace elements in pyrite from the Petropavlovsk gold-porphyry deposit (Polar Urals): results of LA-ICP-MS analysis. Doklady Earth Sciences, 2016, V. 470, Part 1, pp. 977–981. (in Russian)
- Викентьев И. В., Тюкова Е. Э., Мокрий В. Д., Иванова Ю. Н., Шуйский А. С., Соболев И. Д. Платино-палладиевоерудопроявление Василиновское — новый тип минерализации в офиолитах Полярного Урала. Сообщ. 1. Геологическая позиция и минералогия // Геология рудн. месторожд. 2024. Т. 66. № 6. С. 699–729.
 Vikentiev I. V., Tyukova E. E., Mokry V. D., Ivanova Yu. N., Shuisky A. S., Sobolev I. D. Vasilinovskoe platinum-palladium occurrence as a new type of ophiolite mineralization in the Polar Urals. Report 1. Geological Position and Mineralogy. Geology of Ore Deposits, 2024, V. 66, No. 6, pp. 796–821. (in Russian)
- Волченко Ю. А. Сульфидная и самородная минерализация в гипербазитах и хромитовых рудах // Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1990. С. 207–216.
 Volchenko Yu. A. Sulfide and native mineralization in hyperbasites and chromite ores. Structure, evolution and mineralageny of the hyperbasite massif Rai-Iz. Sverdlovsk: Ural Scientific Center of the USSR Academy of Sciences, 1990, pp. 207–216. (in Russian)
- Григорьев С. И., Ремизов Д. Н. Кэршорский габброидный комплекс и проблема офиолитов Полярного Урала // Материалы XI Всерос. петрогр. совещ. Екатеринбург: Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, 2010. С. 191–192.
 Grigoriev S. I., Remizov D. N. Kershore gabbroic complex and the ophiolites problem of the Polar Urals. Proc. of

* Аникина Е. В. Платиноиды в хромитовых рудах Полярного Урала: Автореф. канд. дис. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 1995. 27 с.

Anikina E. V. Platinum group minerals in chromite ores of the Polar Urals. Author's abstract of Ph. D. dis., Syktyvkar: Institute of Geology Komi SC UB RAS, 1995, 27 p. (in Russian)



- the XI All-Russian Petrographic Conference. Yekaterinburg: Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, 2010, pp. 191–192. (in Russian)
- Душин В. А. Магматизм и геодинамика палеоконтинентального сектора севера Урала. М.: Недра, 1997. 213 с.
- Dushin V. A. Magmatism and geodynamics of the paleocontinental sector of the Northern Urals. Moscow: Nedra, 1997, 213 p. (in Russian)
- Зылева Л. И., Коновалов А. Л., Казак А. П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Сер. Зап.-Сибирская. Лист Q-42 — Салехард. Об. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 396 с.
- Zyleva L. I., Konovalov A. L., Kazak A. P., et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000. West-Siberian Series. Sheet Q-42 — Salekhard. Explanatory note. St. Petersburg: VSEGEI, 2014, 396 p. (in Russian)
- Котельников В. Г., Романова Н. В. Новый тип медного золото-пalladiевого оруденения на восточном склоне Полярного Урала // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XIV геол. съезда Респ. Коми. Сыктывкар, 2004. С. 40–42.
- Kotelnikov V. G., Romanova N. V. The new type of copper gold-palladium mineralization on the eastern slope of the Polar Urals. Geology and mineral resources of the European north-east of Russia. Proc. of the 14th geol. congress of the Komi Republic. Syktyvkar, 2004, pp. 40–42. (in Russian)
- Кузнецов Н. Б., Удоратина О. В., Андреичев В. Л. Палеозойское изотопное омоложение комплексов доуралид и проблема эволюции восточной окраины Восточно-Европейского континента в палеозое // Вестн. Воронежск. ун-та. Сер. геол. 2000. № 3 (9). С. 15–19.
- Kuznetsov N. B., Udaratina O. V., Andreichev V. L. Paleozoic isotopic rejuvenation of pre-Uralide complexes and the problem of evolution of the eastern margin of the East European continent in the Paleozoic. Vestn. Voronezh. University. Geol. Series, 2000, No. 3 (9), pp. 15–19. (in Russian)
- Кузнецов С. К., Котельников В. Г., Онищенко С. А., Филиппов В. Н. Медно-золото-пallадиевая минерализация в ультрабазитах Войкаро-Сынинского массива на Полярном Урале // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. № 5. 2004. С. 2–4.
- Kuznetsov S. K., Kotelnikov V. G., Onishchenko S. A., Filippov V. N. Copper-gold-palladium mineralization in ultrabasites of the Voykar-Syninsky massif in the Polar Urals // Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS, No. 5, 2004, pp. 2–4. (in Russian)
- Кузнецов С. К., Онищенко С. А., Котельников В. Г., Филиппов В. Н. Медно-золото-пallадиевая минерализация в ультрабазитах Полярного Урала // Докл. РАН. 2007. Т. 414. № 1. С. 67–70.
- Kuznetsov S. K., Onishchenko S. A., Kotelnikov V. G., Filippov V. N. Copper-gold-palladium mineralization in ultrabasites of the Polar Urals, Doklady Earth Sciences, 2007, V. 414, No. 1, pp. 67–70. (in Russian)
- Кузнецов С. К., Шевчук С. С., Вокуев М. В., Ковалевич Р. С. Эпигенетическая палладиевая минерализация в гипербазитах Войкаро-Сынинского массива на Полярном Урале // Доклады РАН. 2013. Т. 451. № 5. С. 553–555.
- Kuznetsov S. K., Shevchuk S. S., Vokuev M. V., Kovalevich R. S. Epigenetic palladium mineralization in hyperbasites of the Voikaro-Syninsky massif in the Polar Urals. Doklady Earth Sciences, 2013, V. 451, No. 5, pp. 553–555. (in Russian)
- Пыстин А. М., Пыстина Ю. И., Терешко В. В. и др. Состав и распределение минералов благородных и редких металлов в породах рудопроявления Озерное (Полярный Урал) // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 210–211.
- Pystin A. M., Pystina Yu. I., Tereshko V. V. et al. Composition and distribution of minerals of noble and rare metals in rocks of the Ozernoye ore occurrence (Polar Urals). Diamonds and noble metals of the Timan-Ural region. Syktyvkar: Geoprint, 2006, pp. 210–211. (in Russian)
- Пыстин А. М., Потапов И. Л., Пыстина Ю. И., Генералов В. И., Онищенко С. А., Филиппов В. Н., Шлома А. А., Терешко В. В. Малосульфидное платинометальное оруденение на Полярном Урале. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2011. 150 с.
- Pystin A. M., Potapov I. L., Pystina Yu. I., Generalov V. I., Onishchenko S. A., Filippov V. N., Shloma A. A., Tereshko V. V. Low-sulfide platinum-metal mineralization in the Polar Urals. Yekaterinburg: UB RAS, 2011, 150 p. (in Russian)
- Пыстин А. М., Потапов И. Л., Пыстина Ю. И. Проявление малосульфидных золото-платинометальных руд на Полярном Урале // Записки РМО. 2012. № 4. С. 60–73.
- Pystin A. M., Potapov I. L., Pystina Yu. I. Occurrence of low-sulfide gold-platinum metal ores in the Polar Urals. Proc. RMS, 2012, No. 4, pp. 60–73. (in Russian)
- Пыстина Ю. И., Онищенко С. А., Терешко В. В. Некоторые особенности минералогии рудных минералов Cu-Pd-Pt-Au проявления Озерное на Полярном Урале // Алмазы и благородные металлы Тимано-Уральского региона. Сыктывкар: Геопринт, 2006. С. 211–213.
- Pystina Yu. I., Onishchenko S. A., Tereshko V. V. Some features of the mineralogy of ore minerals of the Cu-Pd-Pt-Au occurrence Ozernoye in the Polar Urals. Diamonds and noble metals of the Timan-Ural region. Syktyvkar: Geoprint, 2006, pp. 211–213. (in Russian)
- Ремизов Д. Н., Григорьев С. И., Петров С. Ю. и др. Новые данные о возрасте габброидов кэршорского комплекса на Полярном Урале // Докл. РАН. 2010. Т. 434. № 2. С. 238–242.
- Remizov D. N., Grigoriev S. I., Petrov S. Yu. et al. New data on the age of gabbroids of the Kershore complex in the Polar Urals. Doklady Earth Sciences, 2010, V. 434, No. 2, pp. 238–242. (in Russian)
- Шишкин М. А., Астапов А. П., Кабатов Н. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (3-е поколение). Лист Q-41 (Воркута). Объясн. записка / Ред. В. П. Водолазская. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.
- Shishkin M. A., Astapov A. P., Kabatov N. V. et al. State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (3rd generation). Sheet Q-41 (Vorkuta). General note. Ed. V. P. Vodolazskaya. St. Petersburg: VSEGEI, 2007, 541 p. (in Russian)
- Юрьев Л. Д. Мирмекитовые структуры магнетита в монцонитах Приазовья // Новые данные о минералах СССР. 1969. Вып. 19. С. 242–247.



- Yuryev L. D. Myrmekite structures of magnetite in monzonites of the Azov region. New data on minerals of the USSR, 1969, 19, pp. 242–247. (in Russian)
- Ballhaus C., Bockrath C., Wohlgemuth-Ueberwasser C., Laurenz V., Berndt J. Fractionation of the noble metals by physical processes // Contrib. Mineral. Petrol. 2006. V. 152. P. 667–684.
- Murzin V., Palyanova G., Mayorova T., Beliaeva T. The gold-palladium Ozernoe occurrence (Polar Urals, Russia): mineralogy, conditions of formation, sources of ore matter and fluid // Minerals. 2022. V. 12. Paper 765.

Paton C., Hellstrom J., Paul B., Woodhead J., Hergt J. Iolite: Freeware for the visualisation and processing of mass spectrometric data // J. Anal. Atomic Spectrom. 2011. V. 26. P. 2508–2518.

Wilson S. A., Ridley I., Koenig A. E. Development of sulfide calibration standards for the laser ablation inductively-coupled plasma mass spectrometry technique // J. Anal. Atom. Spectrom. 2002. V. 17. P. 406–409.

Поступила в редакцию / Received 25.11.2024



Раннеассельские цианобактерии и водоросли в органогенных постройках разреза «Писаный Камень» (р. Унья, Северный Урал)

Н. А. Матвеева¹, Р. М. Иванова²

¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; nakaneva@geo.komisc.ru

² Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, Россия; ivanovarm@igg.uran.ru

В работе представлены результаты изучения остатков цианобактерий и известковых водорослей нижнепермских органогенных построек из разреза «Писаный Камень» на р. Унья (Северный Урал). Микроскопическое изучение позволило расширить таксономический состав раннепермских представителей цианобактерий и известковых водорослей в постройках: установлено 3 рода цианобактерий, 12 родов зеленых водорослей, 2 рода красных и 4 рода водорослей неясного систематического положения. Выявлено, что в формировании первой органогенной постройки в основном участвовали представители зеленых дасикладовых водорослей, а во второй – анхикодиевых. Установленные таксоны известковых водорослей являются космополитными, поэтому могут иметь важное значение для корреляции нижнепермских западноуральских разрезов.

Ключевые слова: Северный Урал, скелетные холмы, ассельский ярус, цианобактерии, ископаемые водоросли

Early Asselian cyanobacteria and algae in the organogenic buildups of the section «Pisanyi Kamen» (Un'ya River, Northern Urals)

N. A. Matveeva¹, R. M. Ivanova²

¹ Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

² Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Yekaterinburg, Russia

The paper presents the results of the study of the remains of cyanobacteria and calcareous algae of the Lower Permian organogenic buildups from the “Pisanyi Kamen” section at the Un'ya River (Northern Urals). The microscopic study allowed extending taxonomic composition of Early Permian cyanobacteria and algae in the buildups: 3 genera of cyanobacteria, 12 genera of green algae, 2 genera of red algae and 4 genera of unclear systematic position were identified. It was revealed that representatives of green algae of the families Dasycladaceae and Cyclocrinaeae mainly participated in the formation of the first organogenic buildup, and algae of the Anchicodiaceae family participated in the second buildup. The established Asselian taxa of calcareous algae are cosmopolitan, therefore they may be important for the correlation of the Lower Permian West Ural sections.

Keywords: Northern Urals, organogenic buildups, Lower Permian, cyanobacteria, ancient algae

Введение

Каменноугольно-пермское время считается периодом господства зеленых водорослей среди известковой микрофлоры (Иванова, 1972, 2013; Чувашов, 1967; Чувашов, Анфимов, 1988) с одним из максимумов в раннепермском интервале (Chuvashov et al., 1993). Их богатство и разнообразие было предопределено позднепалеозойским мощным этапом рифообразования в Уральском палеобассейне с мелководно-морскими обстановками (Ископаемые..., 1975; Королюк, 1975).

К настоящему времени известковые водоросли в основном используются при фациальном и палеоэкологическом анализе. Тем не менее исследования Б. И. Чувашова и В. П. Шуйского (1988), показали возможность зонального расчленения на основе водорослей в пределах одного бассейна седиментации.

Проведенное изучение каменноугольных водорослей Урала (Иванова, 2013) также показало, что альгофлора может конкурировать с другими ископаемыми организмами в биостратиграфическом расчленении.

За длительный период изучения пермских известковых водорослей Урала описаны их основные таксоны (Кордэ, 1951; Маслов, 1956; Чувашов, 1974; Кулик, 1978), проанализирована фациальная принадлежность, география распространения и биостратиграфическое значение (Чувашов, 1967, 1971; Чувашов, Анфимов, 1988; Чувашов, Шуйский, 1988; Chuvashov et al., 1993; Ископаемые..., 1975; Кулик, Королюк, 1978). Результаты исследований основаны в большей степени на изучении разрезов Среднего и Южного Урала.

Наиболее полный разрез нижнепермских отложений на Северном Урале с органогенными постройками представлен в обнажении «Писаный Камень» (обн. 28,

Для цитирования: Матвеева Н. А., Иванова Р. М. Раннеассельские цианобактерии и водоросли в органогенных постройках разреза «Писаный Камень» (р. Унья, Северный Урал) // Вестник геонаук. 2024. 12(360). С. 26–36. DOI: 10.19110/geov.2024.12.3

For citation: Matveeva N. A., Ivanova R. M. Early Asselian cyanobacteria and algae in the organogenic buildups of the section «Pisanyi Kamen» (Un'ya River, Northern Urals). Vestnik of Geosciences, 2024, 12(360), pp. 26–36, doi: 10.19110/geov.2024.12.3



нумерация по: Варсанофеева, 1933), расположенным на правом берегу в среднем течении р. Уньи, напротив о-ва Писаный (N 61.56026, E 58.16643) (рис. 1). Обнажение представляет собой скальные выходы, обрывающиеся в воду или находящиеся в залесенном береговом склоне протяженностью более 300 м (рис. 2, 3). Стратиграфически разрез наращивается сверху вниз по реке (с востока на запад). Породы массивные, их залегание можно проследить только по распределению ископаемых, согласно которому пласти стоят практически на головах под углами 85—90°. Изученный интервал разреза мощностью 138 м, по данным (Калашников, Михайлова, 1971), отвечает фузулинидовой зо-

не *Schwagerina vulgaris* — нижней части холодноложского горизонта ассельского яруса.

Впервые толщу с нижнепермскими рифогенными отложениями в разрезе «Писаный Камень» на р. Унье исследовала В. А. Варсанофеева (1933), позже эти же отложения описывала А. И. Равикович (1956). По результатам изучения брахиопод и фузулинид (Калашников, Михайлова, 1971) была установлена стратиграфическая приуроченность этой толщи к ассельскому ярусу. Позднее в разное время ее изучали А. И. Антошкина (2003), А. Н. Сандула (2005) и Е. С. Пономаренко (Пономаренко, 2015; Ponomarenko, 2021). В результате этих исследований в строении разреза

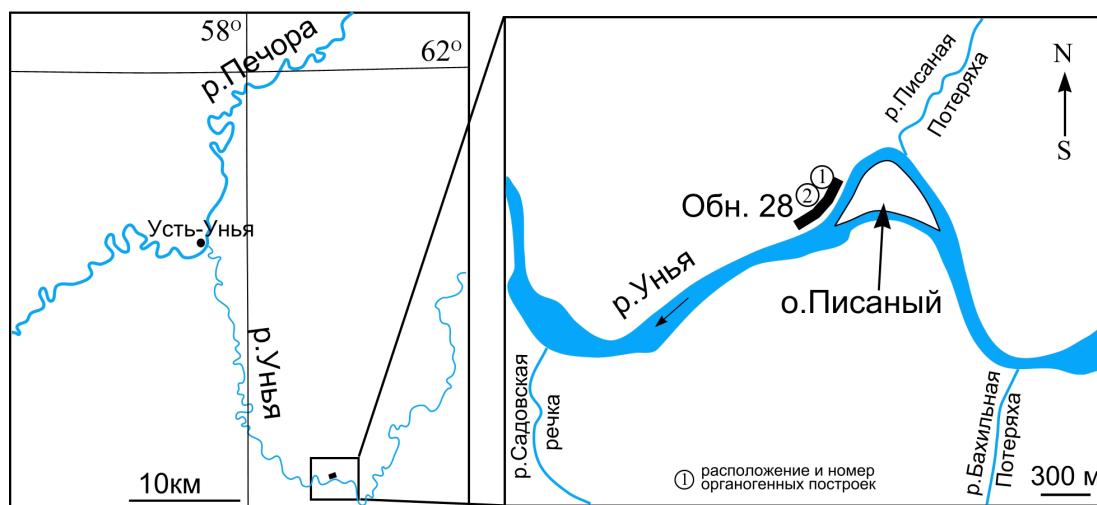


Рис. 1. Схема расположения разреза «Писаный Камень» (обн. 28) в бассейне р. Уньи

Fig. 1. Locality of the Pisanyi Kamen section (outcrop 28) in the Un'ya River basin

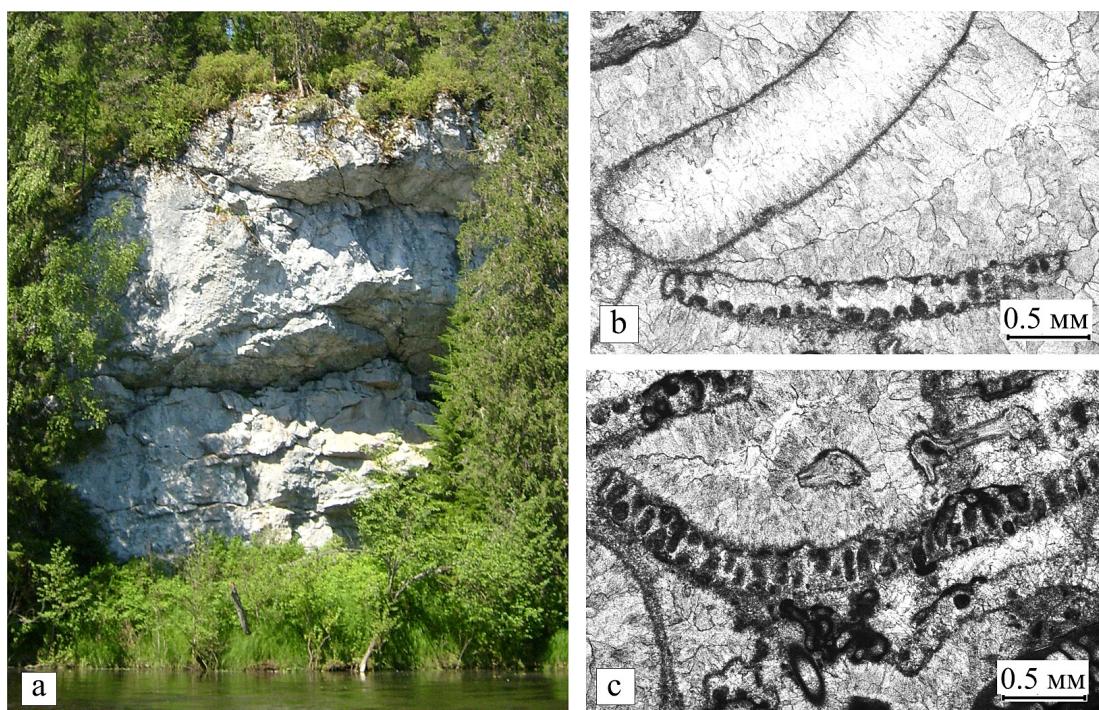


Рис. 2. Строение первой органогенной постройки в обн. 28 на р. Унье: а — общий вид; б — биоцементолит биогермный водорослевый; в — биоцементолит биокластовый

Fig. 2. Structure of the first organogenic buildup in outcrop 28 at the Un'ya River: a — overview; b — biohermic algal biocementite; c — biocemented bioclast



Рис. 3. Общий вид второй органогенной постройки в обн. 28 на р. Унье

Fig. 3. Overview of the second organogenic buildup in outcrop 28 at the Un'ya River

была выделена органогенная постройка, классифицированная как «скелетный холм» (Антошкина, 2003). Позднее Е. С. Пономаренко (2015) предложил свою модель строения, в которой один скелетный холм стратиграфически надстраивается над другим. Несмотря на продолжительную историю изучения разреза «Писаный Камень», остаются недостаточно исследованными остатки водорослей, которые имеют здесь породообразующее значение.

Ранее были описаны только зеленые водоросли *Anchicodium* и *Eugonophyllum*, которые определяли тип скелетных холмов как филлоидно-водорослевый (Пономаренко, Иванова, 2010). Проведенное таксономическое изучение остатков водорослей показало их более разнообразный состав, чем считалось ранее. Цель данной работы — описать впервые установленные комплексы цианобактерий и водорослей центральной части асельских органогенных построек в разрезе «Писаный Камень» (обн. 28) на р. Унье и оценить возможность их корреляции с другими отложениями на Западном Урале.

Материалы и методы

Материалом для статьи послужили образцы литологических пород, собранные во время полевых работ Е. С. Пономаренко и Н. А. Матвеевой в 2009 г. Описание органогенных построек приведено с использованием материалов полевого дневника Е. С. Пономаренко и по опубликованным данным (Пономаренко, 2015). Коллекция шлифов была любезно предоставлена Е. С. Пономаренко и хранится в лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Водоросли определялись по случайным сечениям в литологических шлифах (из каждого образца изготовлено по одному шлифу) под поляризационным микроскопом «ПОЛАМ Л-213М». Всего было просмотрено более 100 шлифов, из них в 80 были встречены остатки разнообразных известковых водорослей. Фотографирование производилось на микроскопе SOPTOPCX 40 Sunny Optical Technology (Group) Company Limited с цифровой камерой MC-20 в про-

грамме MCView. При определении водорослей авторы придерживались классификации (Иванова, 2013).

Результаты исследований

Таксономический состав

В результате микроскопических исследований были установлены следующие таксономические единицы (таблица 1): три рода цианобактерий *Tubiphytes* Maslov, *Girvanella* Nicholson et Etheridge и *Ellesmerella* Mamet et Roux (фототаблица 1); 12 родов зеленых водорослей, относимых к четырем семействам: Beresellaceae Maslov et Kulik, Dasycladaceae (Kutzing) Stizenberger (фототаблица 1), Cyclocrinaceae Maslov (фототаблица 2), Anchicodiaceae Shuysky; два рода красных водорослей — *Suundukella* Tchuvashov et Anfimov, *Eflügelia* Vachard, а также 4 рода водорослей неясного систематического положения (фототаблица 3). Полный список новых представителей цианобактерий и известковых водорослей представлен на рис. 4.

Распределение водорослей в органогенных постройках

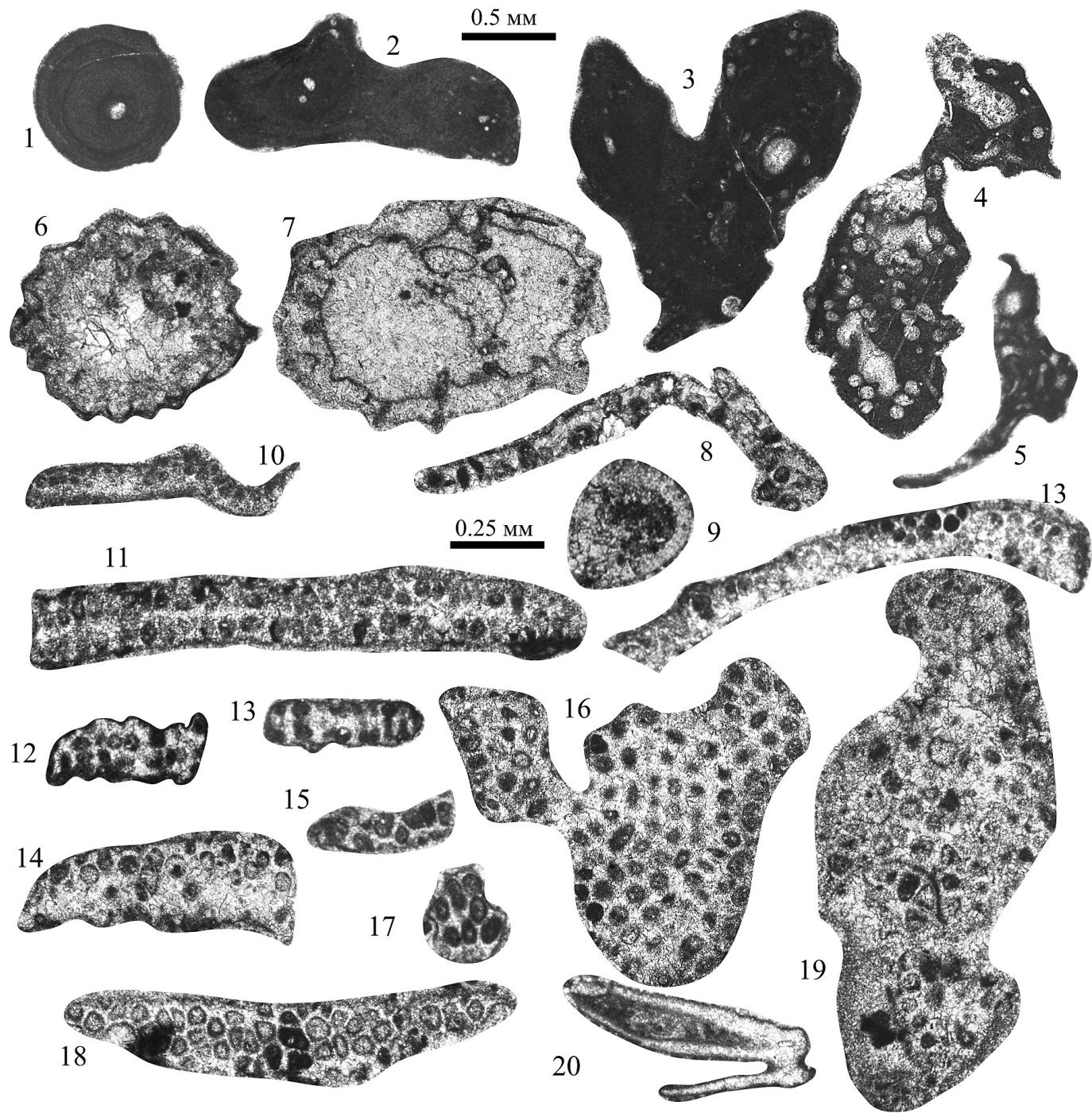
Первая органогенная постройка. Первая пачка (12 м) представлена светло-серыми массивными известняками, биокластовыми и густковыми, переходящими в биоцементолиты мшанковые. В них распространены только единичные фрагменты цианобактерий *Tubiphytes* и *Ellesmerella* (рис. 4). В выше залегающей второй пачке (8.5 м), представленной биоцементолитами водорослевыми (рис. 2, б) и биокластовыми (рис. 2, с), появляются первые представители зеленых водорослей родов *Claracrusta*, *Globuliferoporella*, *Epimastopora*, *Pseudoepimastopora* и *Anchicodium*. Доминируют здесь цианобактерии *Tubiphytes*, дазикладовые водоросли *Globuliferoporella* и *Pseudoepimastopora*. Менее распространены *Epimastopora*, *Anchicodium* и *Eugonophyllum*.

Редко встречаются цианобактерии *Ellesmerella*, зеленые водоросли *Claracrusta*, *Gyroporella* и *Clavaporella*, *Vilvaella*, *Atractyliopsis*, *Neoanchicodium*, *Ivanovia* и красные *Eflügelia*. В водорослевых и биокластовых биоце-

Таблица 1. Таксономический состав альгофлоры в органогенных постройках из разреза «Писаный Камень» (обн. 28)
Table 1. Taxonomic composition of algae flora in organogenic buildups from the «Pisanyi Kamen» section (outcrop 28)

Цианобактерии Cyanophyta	Зеленые водоросли Chlorophyta	Siphonocladales (Blackman et Tansley) Olm., 1904	Dasycladales Pascher, 1931	Siphonales Wille, 1884 (Blackman et Tansley), 1902	Kрасные водоросли Rhodophyta	Kennellales Korde, 1973	Водоросли неясного систематического положения Unclear systematic position
		Berellaceae Maslov et Kulik, 1956	Dasycladaceae (Kutzing, 1843) Stizenberger, 1860	Cyclocraeace Maslov, 1956	Anchicodiaceae Shuysky, 1987	Ungdarellaee Maslov, 1962	Stracheinaeae Loeblich et Tappan, 1961, emend
	Donezellaea Termier et Vachard, 1975, transl. Emend Shuysky, 1990	Dasporellae Pia, 1920, emend. Bassoulet et al., 1979	Gyroporella Pal, 1976, emend. Bassoulet et al., 1979	Ariculelleae Bassoulet et al., 1979	Tripoloporellae Pia, 1920, emend. Shuysky, 1987	Petshoreae Tchuvashov, 1987	Mametellae Tchuvashov, 1987
	Tubiphytes Maslov, 1956				Eugonophyllum Konishi et Wray, 1961		Niia Maslov, 1954
	Clarinella Nocholson et Etheridge, 1878	Claraerusta (?) Vachard, 1980	Anthracoporella Pia, 1920	Cytoporella Giambel, 1874 Globuliferoportella Tchuvashov, 1974	Epimastopora Pia, 1922	Anchicodium Johnson, 1946	Koivella
	Ellesmerella Mamet et Roux, 1987			Atractyliopsis Pia, 1937	Clavaporella Kochansky-Devide, 1959	Neoanchicodium Endo, 1960	Tchuvashov, 1974
					Pseudoeprimastopora		Vitaelia
							Syphaella
							Tchuvashov, 1974

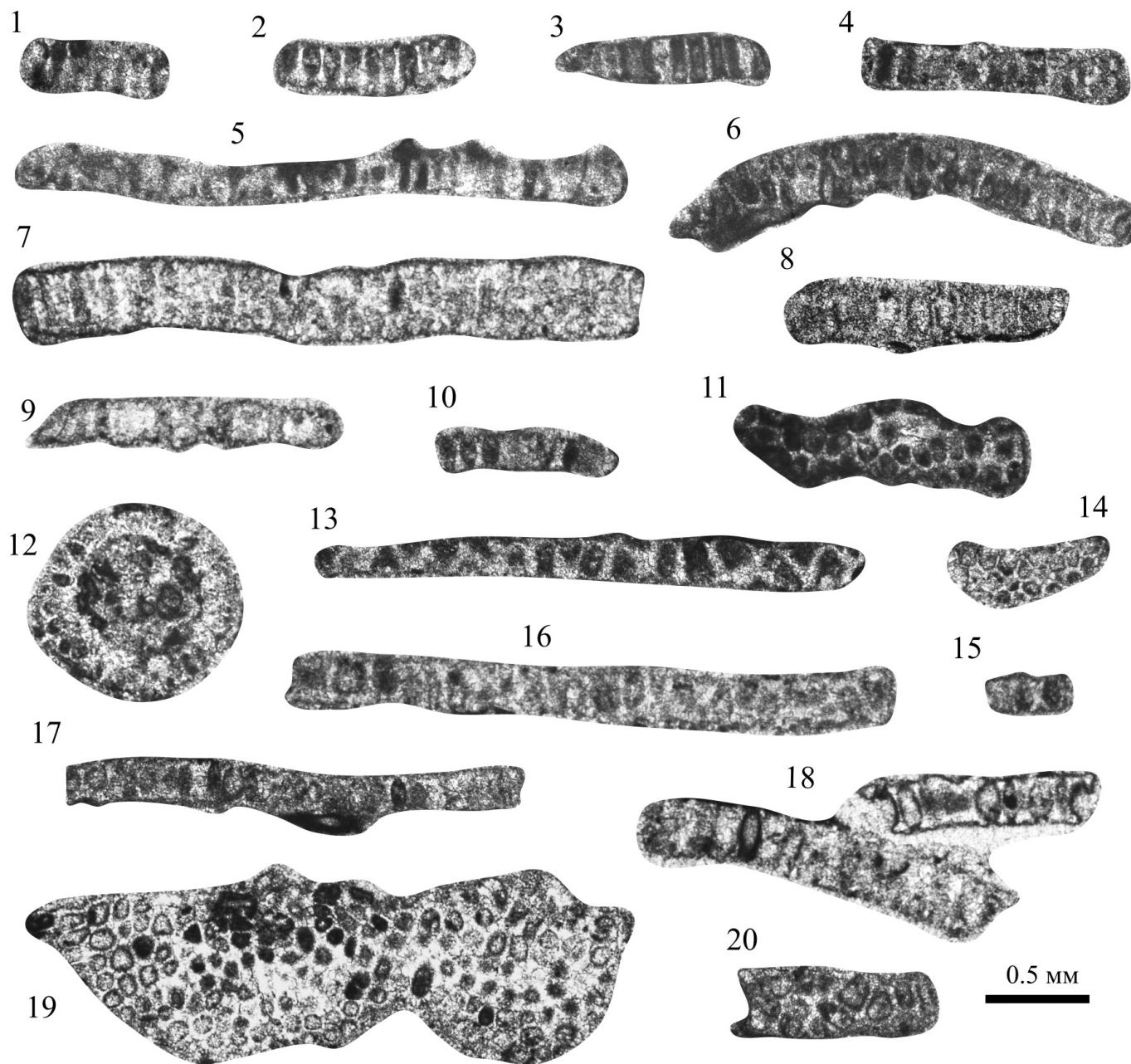
Прическа: сиреневый — порядок; зеленый — семейство; оранжевый — триба; голубой — род.
Note: lilac — order; green — family; orange — tribe; blue — genus.



Фототаблица 1. Раннеассельские цианобактерии и зеленые водоросли семейства Dasycladaceae из разреза «Писаный Камень» (обн. 28). Масштабная линейка 0.5 мм, для фиг. 9 — 0.25 мм

Phototable 1. Early Asselian cyanobacteria and green algae of the family Dasycladaceae from the section «Pisanyi Kamen» (outcrop 28). Scale ruler 0.5 mm, Fig. 9 — scale ruler 0.25 mm

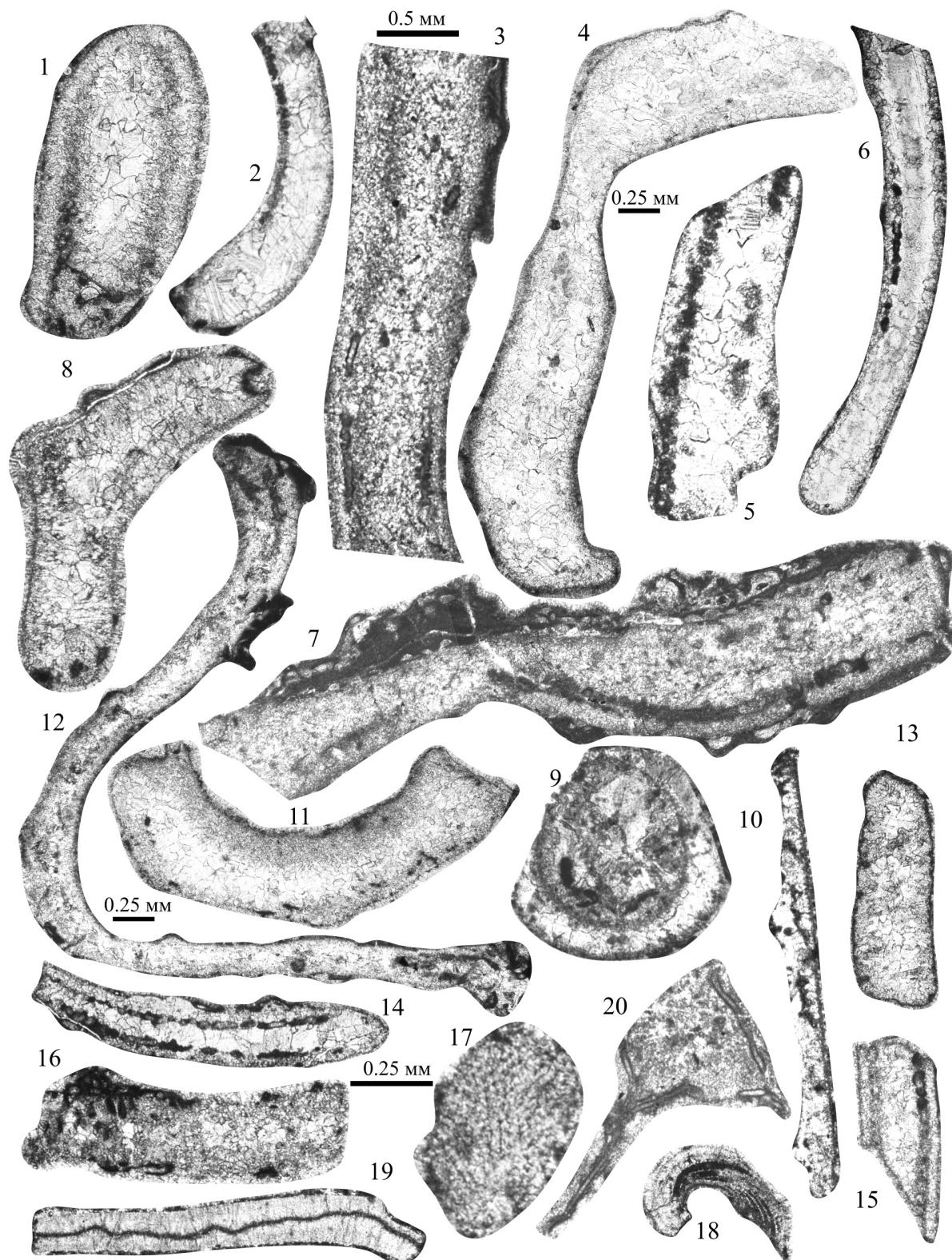
Fig. 1, 2. *Tubiphytes obscures shamovella* Rauser: 1 — sample 28/138, thin section; 2 — sample 28/134, thin section. **Fig. 3.** *Tubiphytes obscures obscures* Maslov, sample 28/134, thin section. **Fig. 4, 5.** *Ellesmerella permica* (Pia): 4 — sample 28/136, thin section; 5 — sample 28/137, thin section. **Fig. 6.** *Gyroporella* sp., sample 28/89, thin section. **Fig. 7.** *Gyroporella clavata* Tchuvashov, sample 28/142, thin section. **Fig. 8.** *Gyroporella* ex. gr. *clavata* Tchuvashov, sample 28/109, thin section. **Fig. 9.** *Anthracoporella spectabilis* Pia, sample 28/113, thin section, cross section. **Fig. 10.** *Globuliferoporella ilimensis* Tchuvashov, sample 28/127, thin section. **Fig. 11—13.** *Globuliferoporella symetrica* (Johnson): 11 — sample 28/142, thin section; 12 — sample 28/136, thin section; 13 — sample 28/89, thin section. **Fig. 14, 15, 17.** *Globuliferoporella* cf. *angulate* Tchuvashov: 14 — sample 28/137, thin section; 15, 17 — sample 28/85, thin section. **Fig. 16.** *Globuliferoporella angulata* Tchuvashov, sample 28/128, thin section, tangential slice. **Fig. 18, 19.** *Atractyliopsis carnica* E. Flügel, tangential slice: 18 — sample 28/142, thin section; 19 — sample 28/137, thin section. **Fig. 20.** *Clavaparella* (?) sp., sample 28/100, thin section



Фототаблица 2. Раннеассельские зеленые водоросли семейства Cyclocrinaceae из разреза «Писаный Камень» (обн. 28). Масштабная линейка 0.5 мм

Phototable 2. Early Asselian green algae of the family Cyclocrinaceae from the Pisanyi Kamen section (outcrop 28). Scale ruler 0.5 mm

Fig. 1. *Epimastopora* sp., sample 28/85, thin section. **Fig. 2–4.** *Epimastopora piae* Bilgütay: 2, 4 – sample 28/134, thin section; 3 – sample 28/118, thin section. **Fig. 5.** *Epimastopora* cf. *alpine* Kochansky et Herak, sample 28/138, thin section. **Fig. 6.** *Epimastopora* *alpine* Kochansky et Herak, sample 28/89, thin section. **Fig. 7–10.** *Epimastopora* cf. *flügeli* Kullk: 7, 9 – sample 28/138a, thin section; 8 – sample 28/140, thin section; 10 – sample 28/134, thin section. **Fig. 11–14.** *Epimastopora* aff. *rolloensis* Ràcz: 11 – sample 28/110, thin section; 12 – sample 28/78, thin section, cross section; 13 – sample 28/144, thin section; 14 – sample 28/137, thin section. **Fig. 15.** *Pseudoepimastopora* sp., sample 28/136, thin section. **Fig. 16–20.** *Pseudoepimastopora* *likana* (Kochansky et Herak): 16, 17, 20 – sample 28/134, thin section; 18 – sample 28/142, thin section; 19 – sample 28/138a, thin section



Фототаблица 3. Раннеассельские зеленые водоросли семейства Anchicodiaceae, красные водоросли и incertae sedis из разреза «Писаный Камень» (обн. 28). Масштабная линейка 0.5 мм, для фиг. 4, 11, 12, 17 — 0.25 мм

Phototable 3. Early Asselian green algae of the family Anchicodiaceae, red algae and incertae sedis from the section «Pisaný Kamen'» (28 outcrop). The scale ruler is 0.5 mm, for fig. 4, 11, 12, 17 the scale ruler is 0.25 mm

Fig. 1. *Eugonophyllum* sp., sample 28/108, thin section. **Fig. 2, 3.** *Eugonophyllum johnsoni* Konishi et Wray: 2 — sample 28/65, thin section; 3 — sample 28/105, thin section. **Fig. 4, 11, 13.** *Anchicodium funile* Johnson: 4 — sample 28/110, thin section; 11 — sample 28/144, thin section; 13 — sample 28/108, thin section. **Fig. 5—7.** *Eugonophyllum konishii* Kulik: 5 — sample 28/78, thin section; 6 — sample 28/110, thin section; 7 — attached foraminifera *Tolyphammina* and small fragments of algae *Claracrusta* are observed, sample 28/127, thin section.

Fig. 8. *Anchicodium* sp., sample 28/69, thin section. **Fig. 9, 10.** *Anchicodium* ex. gr. *funile* Johnson, sample 28/78 thin section. **Fig. 12.** *Anchicodium* cf. *sindbadi* Elliott, sample 28/69, thin section. **Fig. 14, 15.** *Neoanchicodium catenoides* Endo: 14 — sample 28/71, thin section; 15 — sample 28/89, thin section. **Fig. 16.** *Ivanovia* cf. *tenuissima* Khvorova, sample 28/137, thin section. **Fig. 17.** *Suundukella mirabilis* Tchuvashov et Anfimov, sample 28/72, thin section. **Fig. 18.** *Eflügelia johnsoni* (Flügel), sample 28/134, thin section. **Fig. 19.**

Nuiia Maslov, 1954, sample 28/78, thin section. **Fig. 20.** *Koivaelia permiensis* Tchuvashov, sample 28/115, thin section

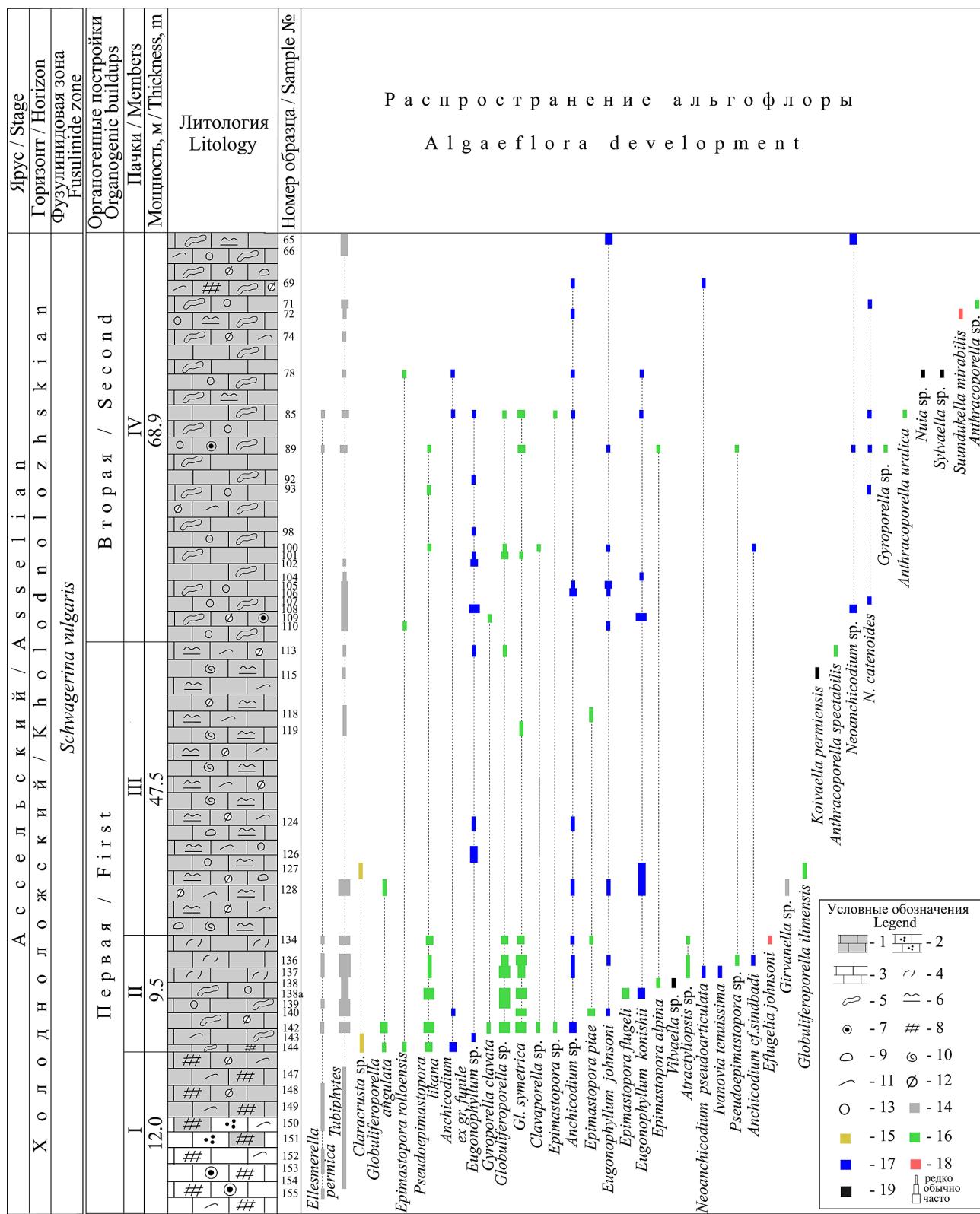


Рис. 4. Распространение цианобактерий и водорослей в центральной части органогенных построек разреза «Писаный Камень» (обн. 28). 1–3 – типы известняков:

1 — биоцементолиты, 2 — густковые, 3 — биокластовые; 4—19 — органические остатки: 4 — биокласти, 5 — водоросли, 6 — палеоаплизины, 7 — криноиди, 8 — мшанки, 9 — остракоды, 10 — гониатиты, 11 — брахиоподы, 12 — фузулиниды, 13 — мелкие фораминиферы, 14 — цианобактерии, 15 — зеленые водоросли порядка *Siphonocladales*, 16 — зеленые водоросли порядка *Dasycladales*, 17 — зеленые водоросли порядка *Siphonales*, 18 — красные водоросли, 19 — водоросли неясного систематического порядка

Fig. 4. Distribution of cyanobacteria and algae in the central part of the organogenic buildups of the section Pisanyi Kamen (outcrop 28).

1–3 – types of limestones: 1 – biocementolites, 2 – clotty, 3 – bioclastic; 4–19 – organic remains: 4 – bioclasts, 5 – algae, 6 – Palaeoaplysina, 7 – crinoids, 8 – bryozoans, 9 – ostracods, 10 – goniatites, 11 – brachiopods, 12 – fusulinides, 13 – small foraminifera, 14 – cyanobacteria, 15 – green algae of the order Siphonocladales, 16 – green algae of the order Dasycladales, 17 – green algae of the order Siphonales, 18 – red algae, 19 – incertae sedis



ментолитах характерны крупные обломки дазикладовых и реже крупные пластины кодиевых водорослей. Разрез первой постройки завершается мощной третьей пачкой (47.5 м) массивных палеоаплизиновых биоцементолитов; примечательно, что в них резко сокращается численность водорослей. Чаще всего встречаются тубифитесы и анхикодиевые *Eugonophyllum*, редко — *Claracrusta*, *Globuliferoporella*, *Epimastopora*, *Anchicodium*. Появляются единичные цианобактерии *Girvanella*, новые представители *Globuliferoporella*, *Anthracoporella* и проблематичные *Koivaella*. Важно отметить, что кодиевые здесь представлены крупными обломками, в отличие от дазикладовых, которые раздроблены на мелкие фрагменты.

Вторая органогенная постройка представлена мощной четвертой пачкой (68.9 м) также светло-серых массивных биогермных водорослевых биоцементолитов, в верхней части которой встречены редкие палеоаплизины. Здесь широко развиты цианобактерии *Tubiphytes* и зеленые анхикодиевые *Eugonophyllum*, *Anchicodium*, *Neoanchicodium*. Менее распространены цианобактерии *Ellesmerella*, дазикладовые *Globuliferoporella*, *Epimastopora*, *Pseudoepimastopora*, *Gyroporella*, *Clavaporella*, *Anthracoporella*. В единичных экземплярах появляются красные водоросли *Suundukella*, проблематичные *Nuia* и *Sylvaella*. Заметим, что здесь, в отличие от первой постройки, анхикодиевые водоросли представлены крупными обломками, дазикладовые, напротив, раздроблены на мелкие фрагменты.

Таким образом, в формировании первой органогенной постройки в основном участвовали представители зеленых дазикладиевых водорослей, а во второй постройке доминируют виды анхикодиевых водорослей. В целом в видовом разнообразии превалируют зеленые дазикладовые водоросли родов *Epimastopora* и *Globuliferoporella*. Реже наблюдаются представители родов *Anthracoporella*, *Eugonophyllum*, *Anchicodium* и *Neoanchicodium*. Остальные рода встречаются единичными видами.

Смена во времени доминирующего комплекса зеленых водорослей происходит при изменении условий среды обитания. Возможные причины таких изменений были рассмотрены ранее в работах (Пономаренко, 2015; Пономаренко, 2021) и, вероятнее всего, обусловлены колебанием уровня моря и гидродинамики водной среды. На неспокойный гидродинамический режим также может указывать сильная раздробленность дазикладовых водорослей. Для всестороннего понимания механизмов таких изменений требуются более детальные литолого-геохимические исследования, которые будут рассмотрены в следующих работах.

Обсуждение результатов

Анализ полученных авторами данных меняет представление о характеристика скелетных холмов. Определено, что в первой постройке преобладали представители дазикладовых водорослей, во второй — анхикодиевых.

При сравнении комплексов водорослей из асельских массивных биогермных известняков Северного (обн. 28, р. Уньи) и Среднего Урала (рр. Чусовая (обн. 61), Язьва (обн. 520), Косьва (обн. 205), Березовая (обн. 457))

(Чувашов, 1974) обнаружены общие виды: *Anthracoporella uralica* Tchuwashov, *A. spectabilis* Pia, *Gyroporella clavata* Tchuashov, *Globuliferoporella angulata* Tchuashov, *Gl. symmetrica* (Johnson), *Epimastopora piae* Bilgütay, *E. rolloensis* Rácz, *Pseudoepimastopora likana* (Kochansky et Herak), *Eugonophyllum johnsoni* Konishi et Wray, *Anchicodium funile* Johnson, *A. sindbadi* Elliott, *Ivanovia tenuissima* Khvorova, *Eflügelia johnsoni* (Flügel). В биокластовых разностях биогермных известняков Среднего Урала (р. Чигишан (обн. 88), обн. 480, 89, 99, 299) также встречены перечисленные общие таксоны. Отличительной особенностью среднеуральского комплекса является повышенное количество красных водорослей, в то время как в североуральском разрезе встречаются только их единичные экземпляры.

Изученные постройки по составу водорослей наиболее близки к представителям нижнепермских шиханов Куштау (Иванова, Кулагина, 2023) и Шахтау (Кулик, 1978) на Южном Урале. Среди них выделяются следующие асельские общие рода и виды: *Tubiphytes* Maslov, *Anthracoporella spectabilis* Pia, *Gyroporella* sp., *Globuliferoporella symmetrica* (Johnson), *Epimastopora flügeli* Kulik, *E. alpina* Kochansky et Herak, *Pseudoepimastopora likana* (Kochansky et Herak), *Eugonophyllum konishii* Kulik, *E. johnsoni* Konishi et Wray, *Neoanchicodium catenoides* Endo. Эндемичный род *Mizzia*, который, согласно данным (Иванова, Кулагина, 2023; Кулик, 1978), довольно широко распространен в асельских биогермах Южного Урала, не был обнаружен в наших образцах.

В результате проведенного сравнительного анализа были выявлены следующие общие таксоны: *Anthracoporella spectabilis* Pia, *Epimastopora flügeli* Kulik, *E. alpina* Kochansky et Herak, *Gyroporella clavata* Tchuashov, *Globuliferoporella angulata* Tchuashov, которые встречаются в асельских породах Северного, Среднего и Южного Урала. Следовательно, перечисленные виды зеленых водорослей являются космополитными, но поскольку они встречаются и в вышележащих сакмарских отложениях на Южном Урале (Кулик, 1978; Иванова, Кулагина, 2023), то на данный момент можно говорить о возможном их корреляционном потенциале в других западноуральских разрезах на уровне нижнего отдела перми. Несомненно, этот важный факт подлежит дальнейшему уточнению.

Выводы

Микроскопическое изучение остатков цианобактерий и известковых водорослей в породах из центральной части скелетных холмов в разрезе «Писаный Камень» позволило расширить их таксономический состав, определив среди них представителей трех родов цианобактерий, 12 родов зеленых водорослей трех семейств: *Dasycladaceae*, *Cyclocrinaceae*, *Anchicodiaceae*, двух родов красных водорослей и 4 рода водорослей неясного систематического положения.

Установлено преобладание дазикладовых водорослей в первой постройке и анхикодиевых во второй. Данная перестройка в альгологическом сообществе свидетельствует об изменении условий окружающей среды, а именно колебаниях уровня моря и усилении гидродинамики водной среды.

Выделенные водорослевые таксоны в изученном разрезе являются космополитными, и их можно ис-



пользовать для корреляции с другими нижнепермскими западноуральскими разрезами.

Авторы благодарят к. г.-м. н. Е. С. Пономаренко за материал, предоставленный для изучения, д. г.-м. н. А. И. Антошику, к. г.-м. н. Е. С. Пономаренко и к. г.-м. н. В. А. Матвеева за консультации и рекомендации при написании этой статьи, а также рецензентов за конструктивные замечания и советы, которые способствовали улучшению статьи.

Исследования проводились в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ ГР 122040 600013-9) и ИГУ РАН (№ ГР 123011800010-5).

Литература / References

- Антошикина А. И. Рифообразование в палеозое (на примере севера Урала и сопредельных территорий). Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 303 с.
- Antoshkina A. I. Formation of the reefs in the Palaeozoic (northern part of the Urals and adjacent areas). Yekaterinburg: UB RAS, 2003, 303 pp. (in Russian)
- Варсанофьева В. А. Предварительный отчет о работах 1927 г. в западной части юго-восточной четверти 121 листа // Тр. Всесоюз. геол.-разв. объед., вып. 289А, 1933. С. 1–44.
- Varsanofieva V. A. Preliminary report on the geological investigation of the south-eastern part of the 124-th sheet of the general geological map of USSR (the basin of the Unia River). Proc. of the United Geological and Prospecting Service of the USSR, 289, 1933, pp. 1–44. (in Russian)
- Иванова Р. М. Фациальные сообщества фораминифер и водорослей визейского бассейна на восточном склоне Южного Урала // Стратиграфия и фораминиферы нижнего карбона Урала. Свердловск, 1972. С. 20–35. Ivanova R. M. Facies communities of foraminifera and algae of the Visean basin on the eastern slope of the Southern Urals. Stratigraphy and foraminifera of the Lower Carboniferous of the Urals. Sverdlovsk, 1972, pp. 20–35 (in Russian)
- Иванова Р. М. Известковые водоросли карбона Урала. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013. 244 с.
- Ivanova R. M. (2013). Carboniferous calcareous algae of the Urals. Ural Branch of RAS Publ., Yekaterinburg, 244 p. (In Russian)
- Иванова Р. М., Кулагина Е. И. Водоросли пермского шихана Куштау // Геологический вестник. 2023. № 2. С. 53–65. DOI: 10.31084/2619-0087/2023-2-4
- Ivanova R. M., Kulagina E. I. Algae of the Permian shikhana Kushtau. Geologichesky vestnik, 2023, No. 2, pp. 53–65. (in Russian)
- Ископаемые органогенные постройки, рифы, методы их изучения и нефтегазоносность / И. К. Королюк, М. В. Михайлова, А. И. Равикович и др. М.: Наука, 1975. 236 с.
- Fossil organogenic structures, reefs, methods of their study and oil and gas potential. I. K. Korolyuk, M. V. Mikhailova, A. I. Ravikovich et al. Moscow: Nauka, 1975, 236 p. (in Russian)
- Калашников Н. В., Михайлова З. П. К стратиграфии верхнего карбона р. Уны // Геология северо-востока европейской части СССР и севера Урала. Сыктывкар, 1971. С. 61–65. (Тр. Ин-та геологии Коми фил. АН СССР. Вып. 14).
- Kalashnikov N. V., Mikhailova Z. P. To stratigraphy of Upper Carboniferous of the Un'ya River. Geology of the North-Eastern Part of the European part of USSR, 14, 1971, pp. 55–65. (In Russian)
- Корде К. Б. Новые роды и виды известковых водорослей из каменноугольных отложений Северного Урала // Тр. МОИП, Сер. геол. Т. I. 1951. С. 175–182.
- Korde K. B. New genera and species of calcareous algae from coal deposits of the Northern Urals. Proc. MOIP, ser. geol., V. I, 1951, pp. 175–182. (in Russian)
- Королюк И. К. Органогенные постройки и рифовые формации палеозоя западного склона Южного Урала и Приуралья // Литология и палеогеография биогермных массивов. М.: Наука, 1975. С. 108–123.
- Korolyuk I. K. Organogenic structures and reef formations of Paleozoya of the western slope of the Southern Urals and the Urals. Lithology and paleogeography of bioherm massifs. Moscow: Nauka, 1975, pp. 108–123. (in Russian)
- Кулик Е. Л. Известковые зеленые (сифоновые) водоросли ассельского и сакмарского ярусов биогермного массива Шахтау (Башкирия) // Вопросы микропалеонтологии, вып. 21. М.: Наука, 1978. С. 182–215.
- Kulik E. L. Calcareous green (siphonal) algae of the Asselian and Sakmarian stages of the Shakhtau bioherm massif (Bashkiria). Paleontology, 21, Moscow: Nauka, 1978, pp. 183–215. (in Russian)
- Кулик Е. Л., Королюк И. К., Раузер-Черноусова Д. М. К вопросу стратиграфического и фациального значения ассельских и сакмарских известковых водорослей (по материалам из биогермного массива Шахтау, Башкирия) // Вопросы микропалеонтологии. М.: Наука, 1978. Вып. 21. С. 216–233.
- Kulik E. L. Korolyuk I. K., Rauser-Chernousova D. M. On the issue of stratigraphic and facies importance of Asselian and Sakmarian calcareous algae (based on materials from the Shakhtau bioherm massif, Bashkiria). micropaleontology, 21. Moscow: Nauka, 1978, pp. 216–233. (in Russian)
- Маслов В. П. Ископаемые известковые водоросли СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 300 с. (Труды ГИН АН СССР; Вып. 160). Maslov V. P. Fossil calcareous algae of the USSR. Moscow: USSR AS, 1956, 300 p. (Proc. GIN USSR AS, 160). (in Russian)
- Пономаренко Е. С., Иванова Р. М. Генезис «червячковых известняков» в нижнепермской органогенной постройке Писаный Камень на р. Унье (Северный Урал) // Рифы и карбонатные псевфитолиты: Материалы Всерос. литологического совещания. Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 142–144.
- Ponomarenko E. S., Ivanova R. M. The genesis of a «worm-like limestones» in the Lower Permian organic buildups Pisanyi Kamen' at the Un'ya River (Northern Urals). Reefs and Carbonate Psefítolits. Proceedings of All-Russian Lithologic conference. Syktyvkar, 2010, pp. 142–144 (in Russian).
- Пономаренко Е. С. Верхнекаменноугольно-нижнепермские карбонатные отложения западного склона Северного Урала. Сыктывкар: Геопринт, 2015. 177 с.
- Ponomarenko E. S. Upper Carboniferous-Lower Permian carbonate deposits of the western slope of the Northern Urals. Syktyvkar: Geoprint, 2015, 177 p. (in Russian)
- Равикович А. И. К характеристике биогермных фаций верхнего палеозоя в бассейне верхней Печоры (р. Унья)



- // Бюлл. МОИП. Отд. геол., 1956. Т. XXXI (2). С. 36—59.
- Ravikovich A. I. To character of biohermal facies of the Upper Paleozoic in the Verkhnaya Pechora River basin (Un'ya River). Bulletin of Moscow Society of Naturalists Geological Series, 31, 1956, pp. 37—59. (in Russian)
- Сандула А. Н. Нижнепермский рифогенетический массив Писаный Камень (р. Унья, Северный Урал) // Геология рифов: Материалы международ. совещ. Сыктывкар, Геопринт: 2005. С. 145—147.
- Sandula A. N. The Lower Permian Reefogenous massif «Pisaniy Kamen» (Un'ya River, Northern Urals). Geology of reefs: Proceedings of the international symposium. Syktyvkar: Geoprint, 2005, pp. 145—147. (In Russian)
- Чувашов Б. И. Водоросли девона, карбона и нижней перми Среднего и Южного Урала, их экология и стратиграфическое значение // Ископаемые водоросли СССР. М.: Наука, 1967. С. 125—130.
- Chuvashov B. I. Algae of the Devonian, Carboniferous and Lower Permian of the Middle and Southern Urals, their ecology and stratigraphic significance. Fossil algae of the USSR. Moscow: Nauka, 1967, pp. 125—130. (in Russian)
- Чувашов Б. И. Новый род позднепалеозойских красных водорослей // Палеонтологический журнал. 1971. № 2. С. 85—89.
- Chuvashov B. I. A new genus of Late Paleozoic red algae. Paleontological Journal, 1971, No. 2, pp. 85—89. (in Russian)
- Чувашов Б. И. Пермские известковые водоросли Урала // Водоросли, брахиоподы и миоспоры из пермских отложений западного Урала: Сборник по вопросам стратиграфии. № 20. Свердловск: УНЦ РАН, 1974. С. 3—76 (Труды Института геологии и геохимии Уральского научного центра АН СССР. Вып. 109).
- Chuvashov B. I. Permian calcareous algae of the Urals. Algae, brachiopods and myospores from the Permian de-
- posits of the western Urals. Collection of articles on stratigraphy No. 20. Sverdlovsk: USC RAS, 1974, pp. 3—76 (Proc. of Institute geology and geochemistry of USC USSR AS, 109) (in Russian)
- Чувашов Б. И., Анфимов А. Л. Новые известковые водоросли среднего карбона — нижней перми Урала и Приуралья // Известковые водоросли и строматолиты (систематика, биостратиграфия, фациальный анализ. Новосибирск: Наука, 1988. С. 54—70.
- Chuvashov B. I., Anfimov A. L. New calcareous algae of the middle carboniferous—Lower Permian of the Urals and the Urals. Calcareous algae and stromatolites (taxonomy, biostratigraphy, facies analysis). Novosibirsk: Nauka, 1988, pp. 54—70. (in Russian)
- Чувашов Б. И., Шуйский В. П. Стратиграфические и фациальные комплексы известковых водорослей палеозоя Урала // Известковые водоросли и строматолиты (систематика, биостратиграфия, фациальный анализ). Новосибирск: Наука, 1988. С. 98—125.
- Chuvashov B. I., Shuysky V. P. Stratigraphic and facies assemblages of calcareous algae of the Paleozoic of the Urals. Calcareous algae and stromatolites (systematics, biostratigraphy, facies analysis). Novosibirsk: Nauka, 1988, pp. 98—125. (in Russian)
- Chuvashov B. I., Shuysky V. P., Ivanova R. M. Stratigraphical and facies complexes of the Paleozoic calcareous algae of the Urals, in: Barattolo F., De Castro P., Parente M. (eds), Studies on fossil benthic algae. Boll Soc. Paleont. Ital., 1993. Spec. Vol. 1, pp. 93—119.
- Ponomarenko E. S. Palaeoecological features of Lower Asselian (Lower Permian) carbonate skeletal mounds in the Pisanyi Kamen' section (Un'ya River, Northern Urals). Depositional Rec. 2021, 7. pp. 311—332. <https://doi.org/10.1002/dep2.141>

Поступила в редакцию / Received 31.10.2024



Перспективные агрохимикаты на основе вторичного минерального сырья предприятий лесопромышленного комплекса

И. А. Перовский¹, О. В. Броварова², Д. А. Шушков¹, И. Н. Бурцев¹, Е. А. Веселков³

¹ Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; igor-perovskij@yandex.ru

² Институт агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия; olbrov@mail.ru

³ООО «Вершина», Сыктывкар, Россия; greatcity@bk.ru

В результате хозяйственной деятельности предприятий лесопромышленного комплекса по производству бумажной продукции образуются значительные объемы вторичного минерального сырья, которые нуждаются в утилизации. Перспективным направлением использования такого сырья является известкование почв. Методами рентгеновской дифракции, рентгенофлуоресцентного и термического анализов, масс-спектрометрии с индуктивно связанным плазмой, радиологическими исследованиями установлен вещественный состав вторичных минеральных ресурсов АО «Сыктывкарский ЛПК»: пыли электрофильтров печей, гашеной извести, полученной из некондиционного оксида кальция, кородревесной золы. Установленные закономерности изменения фазового и химического состава вторичного сырья позволили разработать оригинальные смеси агрохимикатов с названиями «Эдемит» и «Пушонка плюс», которые были опробованы для раскисления почв на опытном участке. Установлено, что известкование способствовало увеличению значения pH почвы в среднем с 4.6 до 6.6, степени насыщенности основаниями до 44–92 % и снижению показателя гидролитической кислотности в два раза по сравнению с контрольным вариантом.

Ключевые слова: известковые агрохимикаты, кальцит, портландит, оксид кальция, «Эдемит», «Пушонка плюс», кислые почвы, мелиоранты

Prospective ameliorants based on industrial wastes of timber enterprises

I. A. Perovskiy¹, O. V. Brovarova², D. A. Shushkov¹, I. N. Burtsev¹, E. A. Veselkov³

¹Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

²Institute of Agrobiotechnology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia

³Vershina LLC, Syktyvkar, Russia

As a result of activity of enterprises of the timber industry complex for the production of paper products, significant volumes of secondary mineral raw materials are formed, which need to be utilized. Soil liming is a promising direction of utilization of such raw materials. By methods of X-ray diffraction, X-ray fluorescence and thermal analyses, mass spectrometry with inductively-coupled plasma, radiological studies the material composition of secondary mineral resources of Syktyvkar TP (dust of electric filters of furnaces, slaked lime obtained from substandard calcium oxide, bark and wood ash) has been determined. The determined features of changes in phase and chemical composition of secondary raw materials allowed to develop original compositions of agrochemicals named "Edemit" and "Pushonka plus", which were tested for soil liming on the experimental field. It was found that liming contributed to the increase of soil pH value from 4.6 to 6.6 on average, the degree of saturation with bases up to 44–92 % and decrease of hydrolytic acidity twice as compared to the control variant.

Keywords: lime agrochemicals, calcite, portlandite, calcium oxide, «Edemit», «Pushonka Plus», acidic soils, ameliorants

Введение

На территории Республики Коми почвы представлены в основном типичными подзолами и дерново-подзолами, серьезным недостатком которых является их высокая кислотность. При низких значениях pH значительно снижается урожайность и качество культурных растений, эффективность внесения удобрений. Для нормализации кислотности почвы и повышения ее плодородия проводят известкование различными агрохимикатами. В качестве раскислителей почв в основном используют известняково-доломитовую муку.

На территории республики имеются крупные месторождения доломитов и известняков: Чиняворыкское (Княжпогостский район); Западное, Йшкемес и Вапол (Усть-Куломский район); Юньягинское (Воркута) (Юшкин и др., 1987; Бурцев и др., 2016; Бурцева, Бурцев, 2016). Однако отсевы от дробления карбонатных пород не используются предприятиями для выпуска известковых агрохимикатов из-за трудности в сертификации получаемой продукции (Киселевич, 2024). Сельскохозяйственные предприятия Республики Коми для известкования почв применяют известняково-

Для цитирования: Перовский И. А., Броварова О. В., Шушков Д. А., Бурцев И. Н., Веселков Е. А. Перспективные агрохимикаты на основе вторичного минерального сырья предприятий лесопромышленного комплекса // Вестник геонаук. 2024. 12(360). С. 37–46. DOI: 10.19110/geov.2024.12.4

For citation: Perovskiy I. A., Brovarova O. V., Shushkov D. A., Burtsev I. N., Veselkov E. A. Prospective ameliorants based on industrial wastes of timber enterprises. Vestnik of Geosciences, 2024, 12(360), pp. 37–46, doi: 10.19110/geov.2024.12.4



доломитовую муку, ввозимую из других регионов (Кировская, Свердловская, Челябинская, Оренбургская, Рязанская области и др.). Высокие транспортные расходы для доставки известковых мелиорантов из других регионов приводят к удорожанию мелиоративных мероприятий. Высокая стоимость агрохимикатов приводит к уменьшению дозы вносимого в почву мелиоранта и сокращению сельскохозяйственных площадей, нуждающихся в известковании.

Перспективным сырьем для получения известковых агрохимикатов могут быть некоторые продукты и отходы переработки предприятий лесопромышленного комплекса. Так, на АО «Сыктывкарский ЛПК» (АО «СЛПК») имеются значительные объемы некондиционного карбонатного минерального сырья (некондиционный оксид кальция с содержанием CaO после обжига менее 92 %, пыль электрофильтров, крупная фракция химически осажденного карбоната кальция), которые образуются в процессе переработки известнякового сырья в химически осажденный карбонат кальция, используемый как наполнитель при производстве бумаги. Кроме того, при сжигании на теплоэлектростанции кородревесных отходов образуется значительное количество золы. Производимые отходы являются постоянно образующимися вторичными минеральными ресурсами, которые могут быть использованы для получения комплексного известкового агрохимиката.

Целью работы является исследование вещественного состава вторичных минеральных ресурсов АО «СЛПК» для получения на его основе известковых агрохимикатов, а также оценка их эффективности для известкования кислых почв.

Материалы и методы

Объектами исследований выступили: пыль электрофильтров печей № 1 и 2, гашеная известь, полученная из некондиционного оксида кальция, кородревесная зора, агрохимикаты «Эдемит» и «Пушонка плюс».

Для оценки постоянства химического и фазового состава образцы вторичного минерального сырья отбирались в разные месяцы: пыль электрофильтров печи № 1 была отобрана в феврале, марте, июне 2024 г. (обозначение образцов — П1-Ф, П1-М, П1-И); пыль электрофильтров печи № 2 (обозначение — П2-Ф, П2-И), некондиционный оксид кальция (обозначение для гидратированных образцов — ГИ-Ф, ГИ-И), кородревесная зора (обозначение З-Ф, З-И) — в феврале и июне.

Агрохимикат «Эдемит» получают смешением пыли электрофильтров и кородревесной зоры в таких соотношениях, чтобы содержание кальцита составляло не менее 70 %, а портландита — не более 15 %. Агрохимикат «Пушонка плюс» производится путем смешения гашеной извести, полученной из некондиционного оксида кальция, с кородревесной зорой в таких соотношениях, чтобы содержание портландита составляло не менее 60 %, а кальцита — не менее 15 %.

Содержание основных элементов в образцах определено с помощью рентгенофлуоресцентного энергодисперсионного анализатора Clever A-17 с учетом по-

терь при прокаливании. Содержания гидратной воды и CO₂ определены нагреванием образца при температурах 520 и 975 °C соответственно согласно госстандарту (ГОСТ 22688-2018). Рентгеновские профили для диагностики фазового состава получены на дифрактометре DX-2700BN для излучения CuK_α, (40 кВ, 30 мА) с шагом 20 0.05°. Термический анализ проведен с помощью дериватографов TGA/DSC 3+ и DTG-60A/60AH в атмосфере воздуха в интервале температур от 25 до 1000 °C при скорости нагрева 10 °C/мин.

Концентрацию свинца, кадмия в агрохимикалах определяли с помощью атомно-эмиссионного спектрометра Agilent 7700. Содержание мышьяка и ртути определяли в лаборатории испытательного центра ГЦАС «Кировский» (Киров) с использованием метода атомно-абсорбционной спектрометрии согласно ФР.1.31.2009.06624 и ГОСТ Р 58663-2019 соответственно.

Радиологические исследования агрохимикатов проведены в лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Удельные активности Sr-90, Cs-137, Ra-226, Th-232, K-40 измеряли с использованием спектрометрического комплекса «Прогресс-БГ». Эффективную удельную активность (A_{эфф}) рассчитывали по формуле:

$$A_{\text{эфф}} = A_{\text{Ra}} + 1.3A_{\text{Th}} + 0.09A_{\text{K}},$$

где A_{Ra} и A_{Th} — удельные активности ²²⁶Ra и ²³²Th, находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, A_K — удельная активность ⁴⁰K (Бк/кг).

Лабораторные исследования проведены для оценки эффективности влияния вторичного минерального спрея на pH почвы и всходимость растений. В качестве тестовых культур использовали озимую рожь и горох. Почву отбирали с опытного участка Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, очищали от корней и просеивали на сите с размером ячейки 3 мм (почва дерново-подзолистая, среднесуглинистая). Вторичное минеральное сырье вносили в почву в концентрации 2, 4, 6 т/га. В одном из вариантов применяли смесь образцов пыли электрофильтров с кородревесной зорью с соотношением 80 : 20 мас. %, которую вносили в концентрации 4 т/га.

Аграрные испытания агрохимикатов «Эдемит» и «Пушонка плюс» проводились в вегетационный период с июня по сентябрь 2024 г. на опытном поле Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в м. Еляты. Схема эксперимента показана на рис. 1. Общая площадь экспериментального участка составила 600 м², повторность опыта — четырехкратная. Агрохимикат вносился в почву дважды: в июне и сентябре в концентрации 2 и 3 т/га. В течение вегетационного периода проведено четырехкратное механизированное культивирование участка для поддержания черного пара (удаления зеленой массы).

Определение агрохимических показателей почвы проводили в соответствии с ГОСТами и методиками, используемыми в химии почв. Величину pH солевых вытяжек и гидролитической кислотности определяли ионометрически по ГОСТ 26483-85, используя анализатор жидкости «Эксперт-001». Определение суммы поглощенных оснований выполняли с помощью автоматического титратора АТП-02 в соответ-



ствии с ГОСТ 27821-88). Определение подвижных соединений фосфора осуществляли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре GENESYS 150 согласно ГОСТ 26207-91. Массовую долю обменных соединений калия определяли на пламенном анализаторе ADM-300 по ГОСТ 26207-91. Определение обменных катионов кальция и магния проводили комплексонометрическим методом, используя в качестве индикаторов мурексид для Ca^{2+} и хромовый темносиний — для Mg^{2+} . Массовую долю органического углерода и органического вещества почвы определяли по методу Тюрина в модификации ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Методика..., 2020) с применением спектрофотометра GENESYS 150.

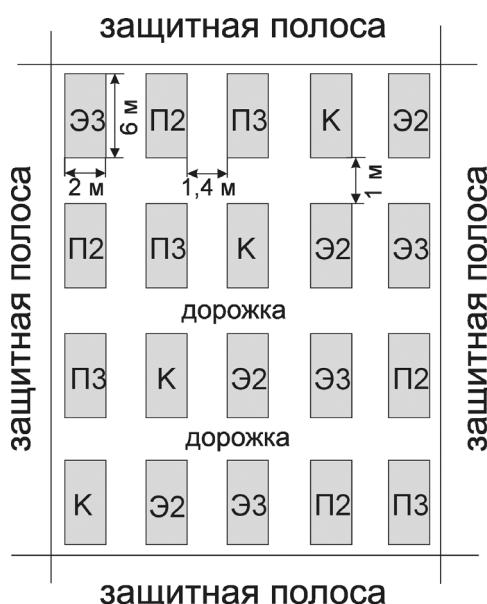


Рис. 1. Схема полевых испытаний агрохимикатов

Fig. 1. Scheme of field experiments of ameliorants

Результаты и обсуждение

Характеристика исходного сырья. Для производства химически осажденного карбоната кальция используются карбонатные породы высокой чистоты, получаемый из них карбонат кальция должен соответствовать по физико-химическим показателям (ГОСТ 8253-79). Проведенный в ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН анализ показал, что в Республике Коми наиболее подходящими по качеству являются известняки месторождений Юньянинского, Сирачайского, Седьюнского, Белоборского, проявлений гряды Чернышева и других районов. АО «СЛПК» до недавнего времени использовал сырье, ввозимое из других регионов (Акишинское месторождение, АО «Касимовнеруд» в Рязанской области), а в настоящее время по нашей рекомендации испытывает известняки Юньянинского месторождения (ООО «Карьерауправление-Север», МОГО «Воркута»). Высокое качество исходного сырья определяет и относительную химическую «чистоту» образующихся при его переработке отходов. Поскольку значительная часть отходов — это фактически не вовлекаемая в химические процессы мелкая и тонкая фракция или незначительно химически измененная ком-

понента, будет вполне корректно называть всю совокупность неутилизируемого в производство бумаги карбонатного сырья не отходами, а вторичным минеральным ресурсом. Ниже приводится характеристика такого вторичного минерального сырья.

Пыль электрофильтров. В табл. 1 представлен химический состав исследуемых образцов вторичного минерального сырья. Образцы пыли электрофильтров печи № 2, отобранные в феврале и июне (табл. 1, обр. П2-Ф, П2-И), имеют практически идентичный химический состав. Они характеризуются высоким содержанием CaO , которое составляет 53.94—54.01 (здесь и далее мас. %). Потери при прокаливании имеют значение 41.78—41.82 %. В качестве основных примесей присутствуют P_2O_5 (1.52—1.54 %), MgO (1.12—1.46 %), Na_2O (0.99—1.13 %). Дифрактограммы пыли электрофильтров печи № 2 практически совпадают. На них присутствует серия интенсивных рефлексов кальцита, а также очень слабые рефлексы апатита и портландита (рис. 2).

В отличие от образцов пыли электрофильтров печи № 2 содержание CaO в образцах пыли электрофильтров печи № 1, отобранных в феврале, марте, июне, различается, варьируя от 59.86 до 71.49 % (табл. 1, обр. П1-Ф, П1-М, П1-И). Значение потерь при прокаливании лежит в диапазоне 24.24—37.77 %. К основным примесным компонентам относятся MgO (1.03—1.42 %) и SiO_2 (0.22—0.98 %). Фазовый состав образцов пыли электрофильтров печи № 1, отобранных в разное время, также различается (рис. 2). На дифрактограмме мартовского образца пыли наблюдается серия интенсивных рефлексов оксида кальция и кальцита, слабые рефлексы портландита. В июньском образце пыли основными фазами являются кальцит, портландит, оксид кальция, в качестве примеси присутствует периклаз.

Исследование образцов пыли электрофильтров методом синхронного термического анализа показало, что на кривых ДТА (рис. 3, а, б) пыли электрофильтров печи № 1 присутствуют два эндотермических эффекта. Первый эндоэффект с потерей массы 2.11—10.82 % лежит в температурном диапазоне 400—500 °C и связан с разложением портландита. Второй эффект, находящийся в интервале 600—850 °C, сопровождается большей потерей массы (19.49—30.86 %) и соответствует диссоциации кальцита.

Кривые ДТА пыли электрофильтров печи № 2 практически идентичны и характеризуются одним интенсивным эндоэффектом в диапазоне 600—850 °C с потерей массы 39.84—39.95 %, относящимся к разложению кальцита (рис. 3, с, д).

На основании данных термического и рентгенофлуоресцентного анализов были рассчитаны содержания кальцийсодержащих фаз. Их количество в образцах пыли электрофильтров печи № 1 значительно варьирует: содержание кальцита изменяется от 44.27 до 70.13 %, портландита — от 8.67 до 44.28, оксида кальция — от 1.93 до 36.81 %. Пыль электрофильтров печи № 2 демонстрирует стабильный фазовый состав и характеризуется высоким содержанием кальцита (90.54—90.79 %) и низким содержанием примесных фаз — портландита (0.33—0.53 %) и апатита (1.64—1.65 %).

Таблица 1. Химический состав (мас. %) вторичного минерального сырья и агрохимикатов «Эдемит» и «Пушонка плюс»

Table 1. Chemical composition (wt. %) of raw materials and “Edemite” and “Pushonka Plus” ameliorants

Образец Sample	П1-Ф	П1-М	П1-И	П2-Ф	П2-И	ГИ-Ф	ГИ-И	З-Ф	З-И	Эдемит Edemite	Пушонка Pushonka
SiO ₂	0.94	0.99	0.32	0.14	0.12	1.20	0.17	12.01	11.90	0.80	0.60
TiO ₂	н. о.	0.08	н. о.	н. д.	0.12	0.08	0.03				
n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d						
Al ₂ O ₃	0.35	0.26	0.17	0.09	<0.01	0.59	0.11	8.35	8.15	1.35	0.80
Fe ₂ O ₃	0.16	0.14	0.16	0.06	<0.01	0.31	0.07	3.23	3.26	1.11	0.59
MnO	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	н. о.	н. о.	2.17	2.17	0.50	0.29
n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d						
MgO	1.42	1.17	1.03	1.12	1.46	3.97	1.03	3.54	3.39	2.30	0.76
CaO	64.31	71.49	59.86	54.01	53.94	67.12	70.92	39.02	38.96	51.82	62.94
Na ₂ O	0.58	0.29	0.22	1.12	0.98	н. о.	н. о.	1.63	1.87	0.20	0.20
K ₂ O	0.07	0.63	0.29	0.05	0.04	0.02	0.01	6.00	5.97	1.56	0.48
P ₂ O ₅	0.67	0.09	0.07	1.52	1.54	0.03	0.01	5.89	5.71	1.78	1.35
SO ₃	0.09	0.59	0.1	0.1	0.09	0.08	0.05	5.36	5.14	1.80	1.02
п.п.п. l.o.i.	31.39	24.24	37.77	41.78	41.82	26.60	27.60	11.93	12.03	36.70	30.88
Cl	н. о.	0.02	1.20	н. о.	н. о.						
n/d	n/d	n/d	n/d	n/d	n/d					n/d	n/d
Сумма Sum	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Гашеная известь, полученная из некондиционного оксида кальция

Образцы гашеной извести, полученной из некондиционного оксида кальция, отобранные в феврале и июне, различаются содержанием примесей: в февральском образце оно составляет 6.28 %, в июньском значительно ниже – 1.48 % (табл. 1, обр. ГИ-Ф и ГИ-И). Оксид кальция является главным компонентом химического состава (67.12–70.92 %) при потерях при прокаливании 26.60–27.60 %. Дифрактограммы образцов, отобранных в разные месяцы, почти совпадают (рис. 2). Основной фазой гашеной извести является портландит, примесной фазой – кальцит. В февральском об-

разце, кроме того, присутствует примесь периклаза и ларнита.

На кривой ДТА образцов гашеной извести наблюдаются интенсивный эндоэффект в температурном диапазоне 400–500 °C и слабый эндоэффект в интервале 590–700 °C, интерпретация которых такая же, как для образцов пыли электрофильтров (рис. 3, e, f). Основная потеря массы на кривой ТГ (17.94–21.66 %) приходится на температурный диапазон 400–500 °C. Потеря массы, сопровождающая слабый эндоэффект, составляет 3.40–5.50 %.

По расчетным данным, в образцах гашеной извести содержание портландита изменяется от 74.75 до 81.61 %, кальцита – от 7.72 до 12.50 %.

Кородревесная зола

Образцы кородревесной золы, отобранные в феврале и июне (табл. 1, обр. З-Ф и З-И), по химическому составу отличаются незначительно. Основным компонентом химического состава золы является CaO с содержанием 38.96–39.02 %. В меньшем количестве присутствуют SiO₂ (11.90–12.01 %), Al₂O₃ (8.15–8.35 %), K₂O (5.97–6.00 %), SO₃ (5.14–5.36 %), P₂O₅ (5.71–5.89 %), MgO (3.39–3.54 %), Fe₂O₃ сум. (3.23–3.36 %), MnO (2.17 %), Na₂O (1.63–1.87 %), потери при прокаливании составили 11.93–12.03 %.

Образцы золы имеют схожие дифрактограммы. На профиле в диапазоне $2\Theta = 15–40^\circ$ наблюдается широкое гало, указывающее на присутствие аморфной фазы (рис. 2). Диагностированными фазами являются кальцит, апатит, кварц, гипс, портландит, ангидрит.

На кривой ДТА золы присутствует три эндотермических эффекта в температурных интервалах 230–280, 400–450 и 570–710 °C и один экзотермический с экстремумом при 380–382 °C (рис. 3, g, h). Вероятно, первый эндоэффект и экзоэффект соответствуют дегидратации и перестройке решетки гипса. Второй эффект

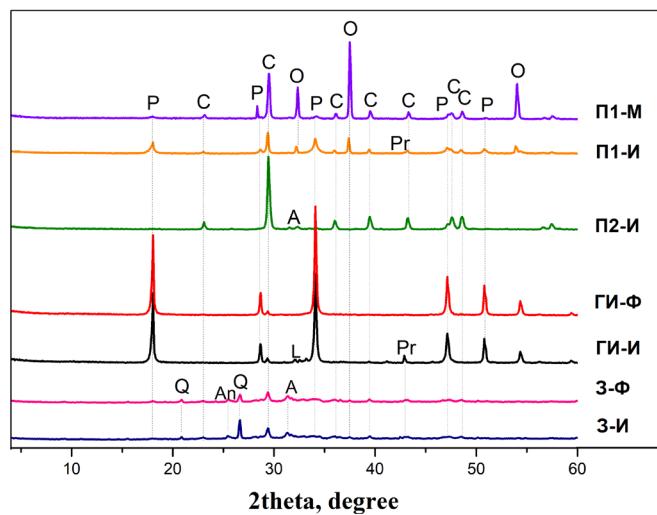


Рис. 2. Дифрактограммы вторичного минерального сырья: Р – портландит, С – кальцит, О – оксид кальция, А – апатит, Пр – периклаз, Q – кварц, An – ангидрит

Fig. 2. X-ray diffraction patterns of raw materials. Р – portlandite, С – calcite, О – calcium oxide, А – apatite, Пр – periclase, Q – quartz, An – anhydrite

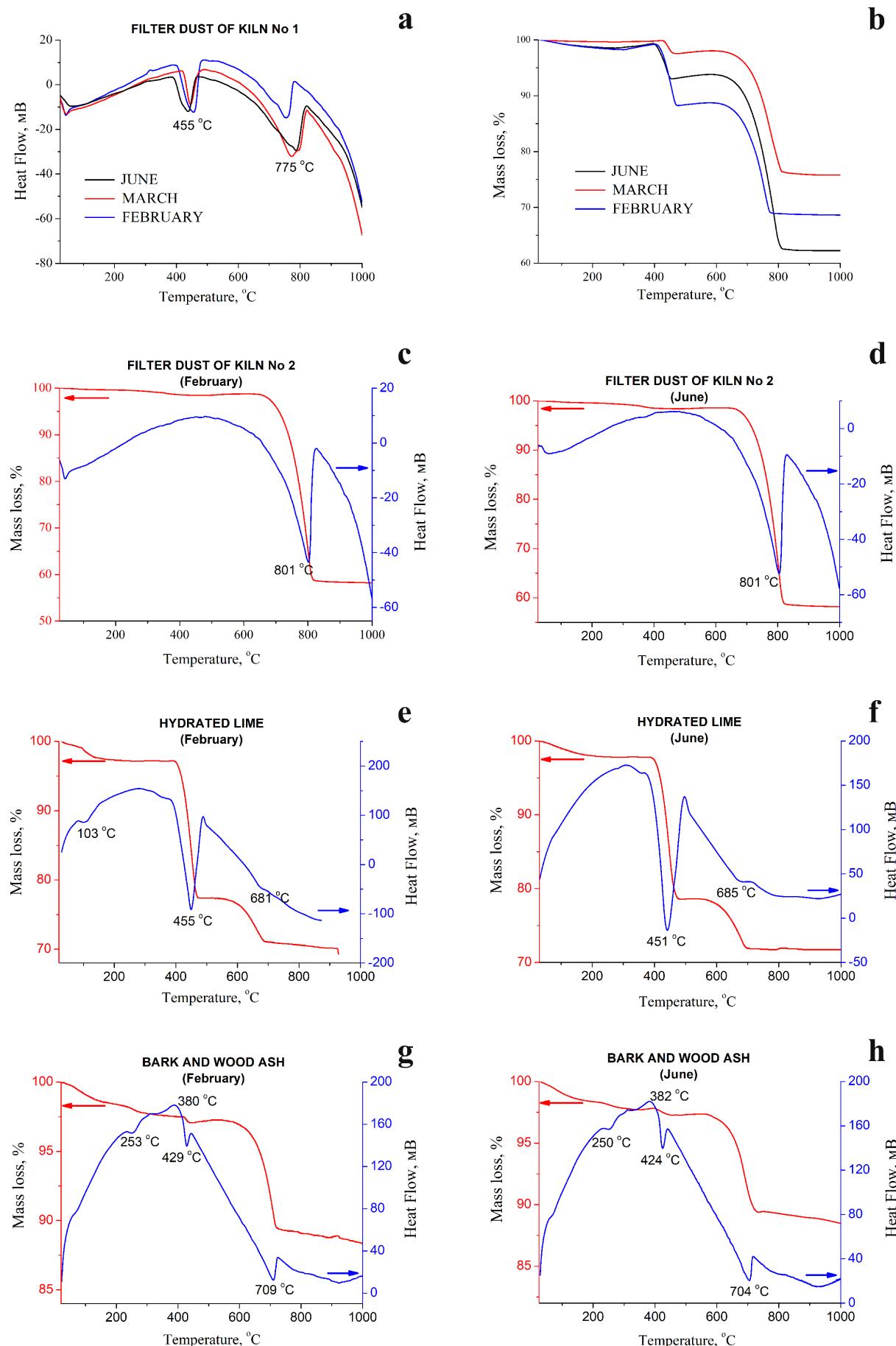


Рис. 3. Кривые нагревания образцов пыли электрофильтров печи № 1 (а, б), печи № 2 (с, д), гашеной извести, полученной из некондиционного оксида кальция (е, ф), кородревесной золы (г, х), отобранных в разное время

Fig. 3. Heating curves of samples of electrostatic precipitator dust of furnace No. 1 (a, b), furnace No. 2 (c, d), slaked lime obtained from unconditioned calcium oxide (e, f), bark ash (g, h), taken at different times



относится к дегидратации портландита и сопровождается небольшой потерей массы — 0.47 %. Третий эндоЭффект с потерей массы 7.72 % связан с разложением кальцита.

По расчетным данным, содержание кальцита в золе составляет 17.38—17.53 %, портландита 1.74—2.05 %.

Лабораторные испытания исходного сырья

Для оценки эффективности влияния исходного сырья на pH почвы и всходимость растений были проведены лабораторные эксперименты. В табл. 2 показаны результаты изменения pH почвы при внесении предлагаемых продуктов в различной концентрации в течение трех недель. В одном из вариантов применяли смесь образцов пыли электрофильтров с кородревесной золой с соотношением 80 : 20 мас. %, которую вносили в концентрации 4 т/га (обр. П1-Ф-3, П1-И-3, П2-Ф-3, П2-И-3). В результате экспериментов установлено, что внесение пыли электрофильтров в концентрации 2 т/га привело к повышению pH почвы до 7.34—7.64, в концентрации 4 т/га — до 7.47—7.75 (табл. 2). Добавка исходного сырья в концентрации 6 т/га повышает pH почвы до 7.65—7.99, при этом значение pH = 7.99 достигается при внесении образца пыли электрофильтров, содержащего 4 % CaO. При внесении смеси из образцов пыли электрофильтров с кородревесной золой pH возрастает до значений 7.45—7.63. Установлено, что внесение исходного сырья в почву не снижает всходимость гороха и ржи.

Характеристика агрохимикатов «Эдемит» и «Пушонка плюс»

На сегодняшний день в Республике Коми площадь сельскохозяйственных угодий составляет 418 216 га. На земли сельскохозяйственного назначения, на ко-

торых ведется (или велось) производство сельскохозяйственной продукции, приходится 297 480 га, в том числе на пашни — 75 004 га (Макаровский, 2017). Площади земель, нуждающихся в известковании, составляют 28 000 га. При нормативе расхода мелиоранта 4—6 т/га необходимый объем агрохимического материала составляет 112—168 тыс. т. Объем пыли электрофильтров составляет около 3 тыс. т в год, некондиционного оксида кальция — 10—15 тыс. т в год. Суммарные объемы производимой продукции могут составить 20 тыс. т в год, что позволит удовлетворить 12—18 % потребности аграрного комплекса Республики Коми.

Для увеличения объемов производимых агрохимикатов целесообразнее получать комплексный агрохимикат, состоящий из карбоната кальция и/или гашеной извести с добавкой кородревесной золы. Добавление кородревесной золы позволит получить агрохимикат, который помимо основного компонента (кальция) содержит полезные для почвы микроэлементы: калий, фосфор, серу. При этом в агрохимикахатах необходимо контролировать содержание CaO, который резко повышает pH почвы и может привести к понижению доступности питательных веществ и ухудшению условия для роста и развития растений.

На основании проведенных исследований были предложены для внедрения два агрохимиката, которые получили названия «Эдемит» и »Пушонка плюс». Агрохимикат «Эдемит» производится смешением пыли электрофильтров и кородревесной золы в таких соотношениях, чтобы содержание кальцита составляло не менее 70 %, а портландита — не более 15 %. Агрохимикат «Пушонка плюс» производится путем смешения гашеной извести, полученной из некондиционного оксида кальция, с кородревесной золой в таком соотношении, чтобы содержание портландита составляло не менее 60 %, а кальцита — не менее 15 %.

Таблица 2. pH почвы и всходимость культур после внесения исходного сырья

Table 2. pH of soil and crop germination after raw materials application

Образец / Sample	Культура Cultivation	pH вытяжки после пролива, $\Delta \pm 0.10$ extract pH after spillage $\Delta \pm 0.10$		pH почвы после внесения (ГОСТ 26423-85) $\Delta \pm 0.10$ Soil pH after application (GOST 25423-85) $\Delta \pm 0.10$	Всходимость / Germination	
		до внесения before application	после внесения after application		исходное количество семян, шт. initial number of seeds, pcs.	количество взошедших семян, шт. number of emerged seeds, pcs.
почва исх. / initial soil				6.57		
контроль / control	горох / peas	6.45	—	6.58	10	6
контроль / control	ржнь / rye	6.43	—	6.57	16	10
П1-Ф (4 т/га)	горох / peas	6.65	7.71	7.75	11	4
П1-Ф (6 т/га)	ржнь / rye	6.26	7.41	7.99	18	10
П1-И (2 т/га)	горох / peas	6.77	7.77	7.64	10	6
П1-И (4 т/га)	ржнь / rye	6.79	7.58	7.77	16	9
П2-Ф (4 т/га)	горох / peas	6.60	7.76	7.53	10	7
П2-Ф (6 т/га)	ржнь / rye	6.84	7.86	7.65	16	13
П2-И (2 т/га)	горох / peas	6.57	7.73	7.34	10	5
П2-И (4 т/га)	ржнь / rye	6.62	7.87	7.47	16	13
П1-Ф-3 (4 т/га)	горох / peas	6.62	7.70	7.45	10	6
П1-И-3 (4 т/га)	ржнь / rye	6.71	7.82	7.63	16	10
П2-Ф-3 (4 т/га)	горох / peas	6.53	7.85	7.49	10	6
П2-И-3 (4 т/га)	ржнь / rye	6.50	7.84	7.55	16	11



В табл. 1 представлен химический состав агрохимикатов. Содержание CaO в агрохимикахатах «Эдемит» и «Пушонка плюс» составляет 51.82 и 62.94 % соответственно при потерях при прокаливании 36.70 и 30.88 %. В небольших количествах содержатся полезные компоненты — K₂O (0.48—1.56 %), P₂O₅ (1.35—1.78 %), SO₃ (1.02—1.80 %), MgO (0.76—2.30 %). Дифрактограмма агрохимиката «Эдемит» характеризуется серией интенсивных рефлексов кальцита и слабых рефлексов портландита, апатита и кварца (рис. 4). Рентгеновский профиль агрохимиката «Пушонка плюс» содержит серию интенсивных рефлексов портландита и слабые рефлексы кальцита.

По расчетным данным, в агрохимикате «Эдемит» содержание кальцита имеет значение 75.79 %, портландита — 8.85 %. В агрохимикате «Пушонка плюс» содержится портландита 63.06 % и кальцита 22.53 %.

Данные по содержанию токсичных элементов в исследуемых агрохимикатах представлены в табл. 3. Согласно СанПиН 1.2.3685-21, по ориентировочно-допустимой концентрации свинца, ртути и предельно-допустимой концентрации мышьяка агрохимикаты соответствуют требованиям, по концентрации кадмия — не соответствуют. Кадмий присутствует в исходном сырье в виде карбоната кадмия, изоструктурного к кальциту, поэтому избавиться от него весьма затруднительно. Но, согласно полученному заключению по оценке опасности загрязнения почв кадмием¹ от ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» (Москва), уровень поступления кадмия на песчаных и супесчаных почвах не превысит 0,002 мг/кг почвы в год, на глинистых и торфяно-болотных почвах — 0,003 мг/кг почвы в год при условии, что максимальная разовая доза внесения агрохимикатов на песчаных и супесчаных почвах будет не более 3 т/га, на глинистых и торфяно-болотных — не более 5 т/га. Таким образом, при соблюдении регламентов и технологии применения агрохимикатов, накопление кадмия в почве выше гигиенических нормативов и риск загрязнения выращенной продукции маловероятны. Результаты радиационно-гигиенической оценки представлены в табл. 3. Значения эффективной

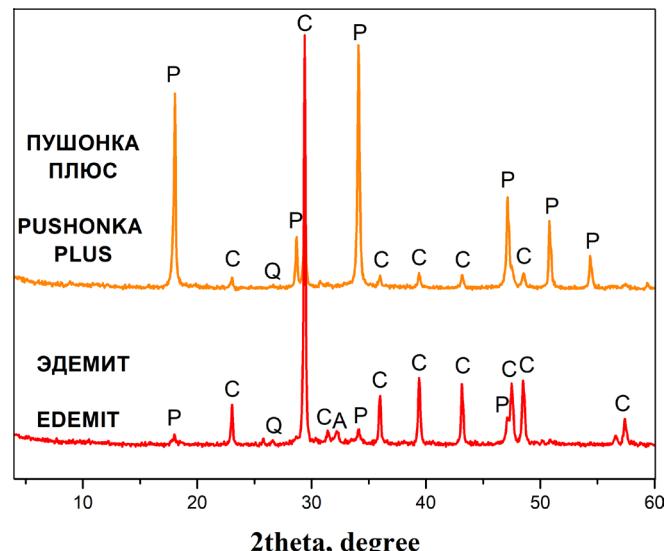


Рис. 4. Дифрактограммы агрохимикатов «Эдемит» и «Пушонка плюс». Р — портландит, С — кальцит, А — апатит, Q — кварц

Fig. 4. X-ray diffraction patterns of “Edemite” and “Pushonka plus” ameliorants. P — portlandite, C — calcite, A — apatite, Q — quartz

удельной активности исследованных образцов не превышают 370 Бк/кг и соответствуют нормам НРБ-99/2009 (Нормы..., 2009).

Полевой эксперимент

Натурные испытания агрохимикатов «Пушонка плюс» и «Эдемит» проводились в вегетационный период 2024 г. на опытном поле Института агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Почва опытного участка супесчаная, слабоподзолистая, характеризующаяся до закладки опыта низким уровнем плодородия. Для определения потребности почвы в известковании были проведены исследования агрохимических показателей почвы.

Таблица 3. Содержание токсичных элементов и удельная активность радионуклидов в агрохимикатах

Table 3. Content of toxic elements and specific activity of radionuclides in ameliorants

Агрохимикат / Ameliorant	Содержание элемента, мг/кг Content of element, mg/kg				Удельная активность радионуклидов, Бк/кг Specific activity of radionuclides, Bq/kg				
	Pb	Cd	Hg	As	²²⁶ Ra	²³² Th	⁴⁰ K	⁹⁰ Sr	¹³⁷ Cs
Эдемит / Edemite	4.8	1.00	0.30	0.76	23.2	<8**	224	<1**	10,7
Пушонка плюс / Pushonka plus	6.4	1.45	0.25	0.27	8.4	<8**	127	<1**	6,5
СанПиН 1.2.3685-21	32.0*	0.5*	2.1	2.0*		—	—	—	—
НРБ-99/2009	—	—	—	—		≤ 370	—	—	—

Примечание. * — для песчаных и супесчаных почв; ** — значение удельной активности с указанным знаком «<» меньше нижнего предела диапазона измерения

Note. * — for sandy and sandy loam soils; ** — value of specific activity with the indicated sign “<” is less than the lower limit of measurement range

¹ Заключение по оценке опасности загрязнения почв кадмием при использовании агрохимиката «Раскислитель почвы «Пушонка плюс», производимого ООО «Вершина»; заключение по оценке опасности загрязнения почв кадмием при использовании агрохимиката «Раскислитель почвы «Эдемит», производимого ООО «Вершина»

Conclusion on assessment of soil contamination hazard by cadmium when using agrochemical soil deoxidizer Pushonka plus, produced by Vershina LLC; Conclusion on assessment of soil contamination hazard by cadmium when using agrochemical soil deoxidizer Edemite, produced by Vershina LLC.



Таблица 5. Агрохимические показатели почвы опытных участков после однократного внесения агрохимикатов «Эдемит» и «Пушонка плюс» (в начале периода вегетации)

Table 5. Agrochemical parameters of soil of experimental plots after single application of “Edemite” and “Pushonka plus” ameliorants (at the beginning of vegetation period)

Образец Sample	pH	Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г Hydrolytic acidity, mmol/100 g	Сумма поглощенных оснований, ммоль/100 г Base absorption sum, mmol/100 g	Степень насыщенности почв основаниями, % Degree of soil saturation with bases, %
K-1	5.5	3.4	0.80	19.1
K-2	4.8	3.19	0.71	19.5
K-3	4.6	3.05	0.41	11.9
K-4	4.7	2.8	0.46	14.2
Э2-1	6.5	1.37	12.13	89.8
Э2-2	6.2	1.5	6.50	81.3
Э2-3	6.1	1.46	3.22	68.8
Э2-4	6.0	1.37	1.11	44.8
Э3-1	6.6	1.1	14.06	92.7
Э3-2	6.6	0.97	7.26	88.2
Э3-3	7.2	0.58	5.56	90.5
Э3-4	6.3	1.03	2.96	74.2
П2-1	6.4	1.53	11.54	88.3
П2-2	6.3	1.23	7.21	85.4
П2-3	6.2	1.08	2.56	70.4
П2-4	5.8	1.43	3.41	70.5
П3-1	6.2	1.43	7.53	84.0
П3-2	6.3	1.1	8.74	88.8
П3-3	7.0	0.6	6.05	90.9
П3-4	5.6	1.98	4.81	70.8

Примечание: К — контрольный участок без внесения агрохимикатов; Э2 — агрохимикат «Эдемит» с концентрацией 2 т/га; Э3 — агрохимикат «Эдемит» с концентрацией 3 т/га; П2 — агрохимикат «Пушонка плюс» с концентрацией 2 т/га; П3 — агрохимикат «Пушонка плюс» с концентрацией 3 т/га.

Note: K — control area without ameliorant application; E2 — “Edemite” ameliorant with concentration of 2 t/ha; E3 — “Edemite” ameliorant with the concentration of 3 t/ha; P2 — “Pushonka Plus” ameliorant with concentration of 2 t/ha; P3 — “Pushonka plus” ameliorant with concentration of 3 t/ha.

Установлено, что почва характеризуется низкими значениями pH (5.2) и суммы поглощенных оснований (3.43 ммоль/100 г), высокой гидролитической кислотностью (2.9 ммоль/100 г). Согласно данным (Середина, Спирина, 2009), по значению pH почвы относятся к слабокислым, по степени насыщенности основаниями (54.3%) — ко II группе, то есть нуждаются в известковании.

Дозу вносимых мелиорантов рассчитывали, исходя из расчета 2/3 от полной гидролитической кислотности, которая численно равна значению гидролитической кислотности, умноженной на 1.5 для карбонатов (Агрохимия, 2017). Таким образом, рассчитанная полная доза препаратов соответствует 3 т/га. Если для известкования применяются другие мелиоративные удобрения, то вычисленную дозу извести умножают на коэффициенты: для $MgCO_3$ — 0.84, для $Ca(OH)_2$ — 0.74, для CaO — 0.54.

Изучение характеристик агрохимикатов показало, что препарат «Эдемит» содержит в своем составе не менее 70 % карбоната кальция, а препарат «Пушонка плюс» — не менее 60 % гидроксида кальция. В таком случае возможно уменьшение расчетной дозы до 2.2 т/га, что соответствует расчетной дозе на $Ca(OH)_2$. Необходимо отметить, что в связи с нехваткой финансовых средств сельскохозяйственные предприятия, как правило, вносят меньшую дозу агрохимикатов. Таким образом, минимальное количество вносимого мелиоранта составило 2 т/га.

В табл. 4 представлены агрохимические показатели почвы после однократного внесения агрохимикатов «Эдемит» и «Пушонка плюс» с концентрацией 2 и 3 т/га. Установлено, что внесенные агрохимикаты оказали существенное влияние на агрохимические показатели. Известкование привело к увеличению значения pH в среднем с 4.6 до 6.6, в некоторых случаях до 7.2. При этом показатели гидролитической кислотности снизились в два раза по сравнению с контролем. Степень насыщенности почв основаниями возросла примерно в 4 раза (44–92 %) по сравнению с контролем (11–19 %). В большей степени повышение агрохимических показателей отмечено при внесении агрохимикатов в концентрации 3 т/га. Наилучшие показатели мелиорации почвы выявлены при известковании агрохимикатом «Эдемит» в концентрации 3 т/га.

Заключение

В результате проведенных исследований был установлен вещественный состав вторичных минеральных ресурсов Сыктывкарского ЛПК: пыль электрофильтров печей № 1 и 2, гашеной извести, полученной из некондиционного оксида кальция, кородревесной золы. Установлено, что пыль электрофильтров печи № 1 имеет нестабильный фазовый состав, в котором содержание кальцита изменяется от 44.27 до 70.13 %, портландита — от 8.67 до 44.28, оксида кальция — от 1.93



до 36.81 %. Пыль электрофильтров печи № 2 демонстрирует стабильный фазовый состав и характеризуется высоким содержанием кальцита (90.54–90.79 %) и низким содержанием портландита (0.33–0.53 %). В образцах гашеной извести, полученной из некондиционного оксида кальция, основной фазой является портландит (74.75–81.61 %), в качестве примеси присутствуют кальцит, магнезит, иногда периклаз. Фазовый состав золы представлен кальцитом, апатитом, кварцем, гипсом, портландитом, ангидритом. Кроме того, выявлено присутствие аморфной фазы.

На основе образующихся на АО «СЛПК» вторичных минеральных ресурсов были разработаны оптимальные составы агрохимикатов с торговыми наименованиями «Эдемит» и »Пушонка плюс». Содержание кальцита в агрохимикате «Эдемит» составляет 75.79 %, портландита — 8.85 %. В агрохимикате «Пушонка плюс» содержится портландита 63.06 % и кальцита 22.53 %.

Наработанные опытные партии агрохимикатов (~200 кг) были опробованы для известкования кислых почв на опытном участке в концентрации 2 и 3 т/га. Установлено, что известкование привело к увеличению значения pH в среднем с 4.6 до 6.6, в некоторых случаях до 7.2. При этом показатели гидролитической кислотности снизились в два раза по сравнению с контрольным вариантом. Степень насыщенности почв основаниями возросла примерно в 4 раза (44–92 %) по сравнению с контрольным вариантом (11–19 %).

Полученные данные планируется использовать для сертификации «Эдемита» и «Пушонки плюс» с последующим их выводом на рынок. Методы и подходы, примененные в работе, могут быть распространены на многие другие предприятия лесопромышленного комплекса, на которых образуются аналогичные вторичные минеральные ресурсы.

Исследования проведены в рамках госзадания ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№ ГР 122040600011-5, № ГР 1230330000036-5) и Соглашения о совместной научной деятельности между Институтом геологии и Институтом агробиотехнологий ФИЦ Коми НЦ УрО РАН от 24.06.2024 г. при финансовой поддержке гранта в форме субсидий Министерства науки и образования Республики Коми (Соглашение № 131-ДОГ/04.2024).

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории миграции радионуклидов и радиохимии ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН за аналитические исследования.

Литература / References

- Агрохимия / В. Г. Минеев, В. Г. Сычев, Г. П. Гамзиков и др. М.: ВНИИА, 2017. 854 с.
Agrochemistry / V. G. Mineev, V. G. Sychev, G. P. Gamzikov. Moscow: VNIIA, 2017, 854 p. (in Russian)
- Бурцев И. Н., Котова О. Б., Кузьмин Д. В., Машин Д. О., Перовский И. А., Понарядов А. В., Шушков Д. А. Роль технологических исследований в развитии минерально-сырьевого комплекса Тимано-Североуральского региона // Разведка и охрана недр. 2018. № 5. С. 38–47.
Burtsev I. N., Kotova O. B., Kuzmin D. V., Mashin D. O., Perovsky I. A., Ponaryadov A. A. V., Shushkov D. A. Role of technological research in the development of mineral resource complex of the Timan-Severo-Urals region. Exploration and protection of subsoil, 2018, No. 5, pp. 38–47. (in Russian)
- Бурцева И. Г., Бурцев И. Н. Освоение общераспространенных полезных ископаемых Республики Коми: экономическая целесообразность и проблемы вовлечения в хозяйственный оборот // Актуальные проблемы, направления и механизмы развития производительных сил Севера — 2016: Материалы Пятого Всерос. науч. семинара: в 2 ч. Ч. I. Сыктывкар: Коми респуб. типография, 2016. С. 261–267.
Burtseva I. G., Burtsev I. N. Development of commonly occurring minerals of the Komi Republic: economic feasibility and problems of involvement in economic turnover. Actual problems, directions and mechanisms of development of productive forces of the North — 2016: materials of the Fifth All-Russian scientific seminar, 2016, Part I. Syktyvkar: Komi Republican Printing House, pp. 261–267. (in Russian)
- ГОСТ 22688-2018. Известь строительная. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с.
GOST 22688-2018. Lime for building purposes. Test methods. Moscow: Standartinform, 2018, 15 p. (in Russian)
- ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М., 1992. 7 с.
GOST 26207-91. Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by Kirsanov method modified by CINAQ. Moscow, 1993, 7 p. (in Russian)
- ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартинформ, 2011. 6 с.
GOST 26423-85. Soils. Methods for determination of specific electric conductivity, pH and solid residue of water extract. Moscow: Standartinform, 2011, 6 p. (in Russian)
- ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО. М., 1985. 6 с.
GOST 26483-85. Soils. Preparation of salt extract and determination of its pH by CINAQ method. Moscow, 1985. 6 p. (in Russian)
- ГОСТ 27821-88. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М., 1988. 7 с.
GOST 27821-88. Soils. Determination of base absorption sum by Kappene method. Moscow, 1988, 7 p. (in Russian)
- ГОСТ Р 58663-2019. Продукция сельскохозяйственная, сырье и продовольствие с улучшенными характеристиками. Удобрения минеральные. Методы определения свинца, цадмия, мышьяка, никеля, ртути, хрома (VI), меди, цинка и биурета. М.: Стандартинформ, 2020. 34 с.
GOST R 58663-2019. Agricultural products, raw materials and food with improved environmental characteristics. Mineral fertilizers. Method of measurement of lead, cadmium, arsenic, nickel, mercury, chromium (VI), copper, zinc and biuret. Moscow: Standartinform, 2020, 34 p. (in Russian)
- ГОСТ 8253-79. Мел химически осажденный. Технические условия. М., 1990. 31 с.
GOST 8253-79. Chemically precipitated calcium carbonate. Specifications. Moscow, 1990, 31 p. (in Russian)
- Киселевич Е. А. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы общераспространенных полезных ископаемых Республики Коми // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVIII Геологического съезда



- Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2024. Т. I. С. 26–29.
- Kiselevich E. A. State and prospects of development of mineral resource base of commonly occurring minerals of the Komi Republic. Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: Proceedings of the 18th Geological Congress of the Komi Republic. Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2024, V. 1, pp. 26–29. (in Russian)
- Макаровский П. А. Плодородие почв сельскохозяйственных угодий Республики Коми // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 6. С. 5–9.
- Makarovskiy P. A. Soil fertility of agricultural land in the Komi Republic. Achievements of science and technology of agro-industrial complex, 2017, V. 31, No. 6, pp. 5–9. (in Russian)
- Методика измерений № 88-17641-001-2020. Почвы, грунты, породы, донные отложения: Методика измерений массовой доли углерода органических соединений и органического вещества фотометрическим методом (методы Тюрина и Уолкли – Блека). Сыктывкар, 2020. 52 с.
- Measurement Methodology No. 88-17641-001-2020. Soils, soils, rocks, bottom sediments. Measurement procedure for mass fraction of carbon of organic compounds and organic matter by photometric method (Tyurin and Walkley-Black methods). Syktyvkar, 2020, 52 p. (in Russian)
- Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 100 с.
- Radiation safety standards (NRB-99/2009): Sanitary and epidemiologic rules and regulations. Moscow: Federal Center of Hygiene and Epidemiology of Rospotrebnadzor, 2009, 100 p. (in Russian)
- СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: Постановление Главного государственного врача РФ от 28.01.2021 г. № 2. URL:<http://ivo.garant.ru/#/document/400274954/paragraph/37879:0>. (дата обращения: 26.11.2024 г.).
- SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans. Resolution of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation of January 28, 2021, No. 2. (in Russian)
- Середина В. П., Спирина В. В. Показатели и методы оценки кислотно-основных и катионообменных свойств почв. Томск: Томский государственный университет, 2009. 130 с.
- Seredina V. P., Spirina V. V. Indicators and methods of evaluation of acid-base and cation-exchange properties of soils. Tomsk: Tomsk State University, 2009, 130 p. (in Russian)
- ФР.1.31.2009.06624. Методика выполнения измерений массовой доли мышьяка в пробах почв методом атомно-абсорбционной спектрометрии с предварительной генерацией гидрида.
- FR.1.31.2009.06624. Methodology for measurements of arsenic mass fraction in soil samples by atomic absorption spectrometry with preliminary hydride generation. (in Russian)
- Хомченко А. А., Булатова Н. В., Чеботарев Н. Т. Влияние извести и минеральных удобрений на агрохимические свойства и продуктивность дерново-подзолистой почвы // Земледелие. 2016. № 6. С. 28–30.
- Khomchenko A. A., Bulatova N. V., Chebotarev N. T. Influence of lime and mineral fertilizers on agrochemical properties and productivity of sod-podzolic soil. Farming, 2016, No. 6, p. 28–30. (in Russian)
- Юшкин Н. П., Илларионов Б. А., Васильевский Н. Д., Осташенко Б. А., Калинин Е. П., Павлов А. М. Агроминеральное и горно-химическое сырье Европейского Северо-Востока. Сыктывкар: Республ. типография Гос. комитета Коми АССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли, 1987. 134 с.
- Yushkin N. P., Illarionov B. A., Vaselevskiy N. D., Ostachshenko B.A., Kalinin E. P., Pavlov A. M. Agromineral and mining-chemical raw materials of the European North-East. Syktyvkar: Republican printing house of the State Committee of the Komi ASSR for publishing, printing and book trade, 1987, 134 p. (in Russian)

Поступила в редакцию / Received 28.11.2024



Вещественный состав отходов угледобычи обогатительной фабрики «Прокопьевскуголь» и перспектива применения метода винтовой сепарации для их обогащения

Н. Ю. Турецкая^{1,3}, Т. А. Чикишева^{1,2,3}, А. Г. Комарова^{2,3}

¹ Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия; chikishevatatyana@mail.ru

² НПК «Спирит», Иркутск, Россия

³ Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

Статья содержит информацию о вещественном составе угольных шламов обогатительной фабрики «Прокопьевскуголь». Материал на 75.54 % представлен полифазными агрегатами угля, глинистых минералов, кварца и карбонатов с разным количественным соотношением компонентов. Показатель зольности исходного сырья составляет 32.5 %.

Определен продуктивный диапазон крупности для данного сырья – от 0.04 до 1 мм. Установлено, что сырье представляет практический интерес в получении угольного концентраты методом винтовой сепарации. В результате проведения технологических испытаний из угольных шламов винтовой сепарацией был получен угольный концентрат с показателем зольности сухого топлива 10.95 %.

Ключевые слова: Кузнецкий угольный бассейн, угольные шламы, винтовая сепарация, минералого-технологическая оценка сырья, отходы углеобогащения

Material composition of coal mining waste from the Prokopyevskugol Processing Plant and the prospect of using the screw separation method for their enrichment

N. Yu. Turetskaya^{1,2}, T. A. Chikisheva^{1,2,3}, A. G. Komarova^{2,3}

¹ Institute of the Earth Crust SB RAS, Irkutsk, Russia

² Research and production company «Spirit», Irkutsk, Russia

³ Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

The article contains information about the material composition of coal sludge of the Prokopievskugol Processing Plant. The material is 75.54 % represented by polyphase aggregates of coal, clay minerals, quartz and carbonates with different quantitative ratios of components. The ash content of the feedstock is 32.5 %. The productive size range for this raw material has been determined – from 0.04 to 1 mm. We found that the raw materials were of practical interest in obtaining coal concentrate by screw separation. Our technological tests resulted in coal concentrate with an ash content of 10.95 % of dry fuel from coal sludge by screw separation.

Keywords: Kuznetsk coal basin, coal sludge, spiral separation mineralogical and technological assessment of raw materials, coal enrichment waste

Введение

Для многих исследователей задача вовлечения в повторную переработку отходов угледобычи на сегодняшний день вызывает особый интерес, поскольку по своим качественным характеристикам отходы не уступают добываемому природному минеральному сырью (Чикишева и др., 2023). Также данный вопрос давно входит в экологическую повестку и не теряет своей актуальности (Behera, Sahu, 2023; Дамба, Станис 2015; Зиновьева и др., 2022; Качурина и др., 2015; Киреев, 2022). В связи с этим ученые пытаются разрабатывать и внедрять технологии, которые могли бы минимизировать экологическую нагрузку, при этом дополнительно извлекая сырьё, потенциально пригодное для ряда

различных отраслей промышленности. Проведенные ранее исследования (Прокопьев, Алексеева, 2022; Соловеенко, Болотин, 2022; Турецкая, Чикишева, 2023) показали, что одним из экологически чистых методов обогащения является винтовая сепарация: в процессе своей работы она не требует применения каких-либо реагентов, но необходимо учитывать, что данный метод основывается на разделении минералов по плотности, форме, размерам зёрен и не всегда может быть применим, поэтому технология переработки в основном базируется на данных о вещественном составе.

Цель данной работы заключалась в изучении вещественного состава отходов угледобычи ОФ «Прокопьевскуголь», оценке перспективы применения метода винтовой сепарации на исследуемом сырье.

Для цитирования: Турецкая Н. Ю., Чикишева Т. А., Комарова А. Г. Вещественный состав отходов угледобычи обогатительной фабрики «Прокопьевскуголь» и перспектива применения метода винтовой сепарации для их обогащения // Вестник геонаук. 2024. 12(360). С. 47–52. DOI: 10.19110/geov.2024.12.5

For citation: Turetskaya N. Yu., Chikisheva T. A., Komarova A. G. Material composition of coal mining waste from the Prokopyevskugol Processing Plant and the prospect of using the screw separation method for their enrichment. Vestnik of Geosciences, 2024, 12(360), pp. 47–52, doi: 10.19110/geov.2024.12.5

Материалы и методы

Объект исследований — угольные шламы ОФ «Прокопьевскуголь».

Определение химического состава исходной пробы выполнено с использованием метода атомно-эмисионной спектрометрии с индуктивно связанный плазмой. Определение показателя зольности сухого топлива в исходной пробе и продуктах обогащения выполнено методом ускоренного озоления.

Минеральный состав пробы и оценка содержаний каждого минерала в пробе были определены с помощью методов оптико-минералогического анализа по методическим рекомендациям НСОММИ (Оптико-минералогический..., 2012) с применением бинокулярного стереомикроскопа «Микромед МС-2-ZOOM 2CR». Изучение микрокомпонентов угля в шлифах и аншлифах выполнялось по межгосударственным стандартам (ГОСТ: 9414.1-94, 9414.2-93, 9414.3-93).

Определение несгораемых фаз в углях проводилось с применением сканирующего электронного микроскопа MIRA3 LMH TESCAN в центре коллективного пользования «Изотопно-геохимические исследования» ИГХ СО РАН в режиме обратнорассеянных электронов (аналитик А. Г. Чуешова).

Результаты и обсуждение

В результате проведения химического анализа было установлено, что в составе угольных шламов присутствуют следующие токсичные элементы-примеси (Крылов, 2017): мышьяк (менее 0.0005 %), хром (0.0021 %), магний (0.193 %), ртуть (менее 0.0005 %), сера (0.231 %), селен (менее 0.0005 %), бериллий (менее 0.0002 %) и ванадий (0.0046 %). Содержания ценных элементов-примесей, таких как серебро, лантан, молибден, скандий, селен, свинец и иттрий, составляют тысячные доли процентов или вовсе находятся на пределе порога обнаружения измерительного прибора.

Выход тонкодисперсного материала крупностью менее 0.071 мм в исходной пробе составляет 42.64 % (рис. 1). Из них на материал менее 0.02 мм приходит-

ся 25.29 % с показателем зольности сухого (Ad^d) топлива, равного 55.6 %. Выход материала крупностью от 0.02 до 0.04 мм составляет 3.85 % с показателем Ad^d, равным 35 %. В диапазон крупности от 0.04 до 1 мм распределяется материал с показателем Ad^d, варьирующим от 17.6 до 25 %. Выход данного диапазона равен 66.82 %. В материале более 1 мм с выходом 4.05 % показатель Ad^d соответствует среднему значению — 54 %.

При проведении оптико-минералогического анализа было установлено, что основная масса пробы сложена на 75.54 % углём. Также в материале присутствует кварц (11.03 %), глинистые минералы (7.07 %), обломки пород (3.67 %) и полевые шпаты (2.41 %). В десятых и сотых долях процента присутствуют слюды, сульфиды, гидроксиды железа и карбонаты. Магнетит, апатит, рутил, барит и амфиболы наблюдаются в единичных зёрнах.

Из анализа распределения угля следует, что значительная доля угля приходится на крупность от 0.25 до 0.5 мм (18.97 %). В материале пробы крупностью от 0.04 до 0.125 мм находится 43.92 % угля, а в материале менее 0.02 мм — 14.87 %.

В ходе проведения микроскопического исследования углей в проходящем свете было установлено, что породами, вмещающими уголь, являются алевролиты и аргиллиты. Обломочная часть алевролитов представлена в основном кварцем, редко полевыми шпатами. Структура алевритовая крупнозернистая, цемент закрытый поровый, слюдисто-глинистый. Аргиллит состоит преимущественно из каолинита и гидрослюд. Структура пелитовая.

Анализ углесодержащих обломков показал, что они представлены углистыми и углисто-глинистыми породами. По форме компонентов выделяются полосчатые (рис. 2, а, б, д), волокнообразные и линзовидные (рис. 2, с) разновидности (Столбова, 2013). Цвет материалов в основном чёрный, реже коричневый и тёмно-коричневый, что свидетельствует о высокой степени фузенизации.

Микроскопическое исследование образцов углей в отраженном свете показало, что они представлены углистыми породами с различным соотношением микрокомпонентов. Микроскопически по визуально на-

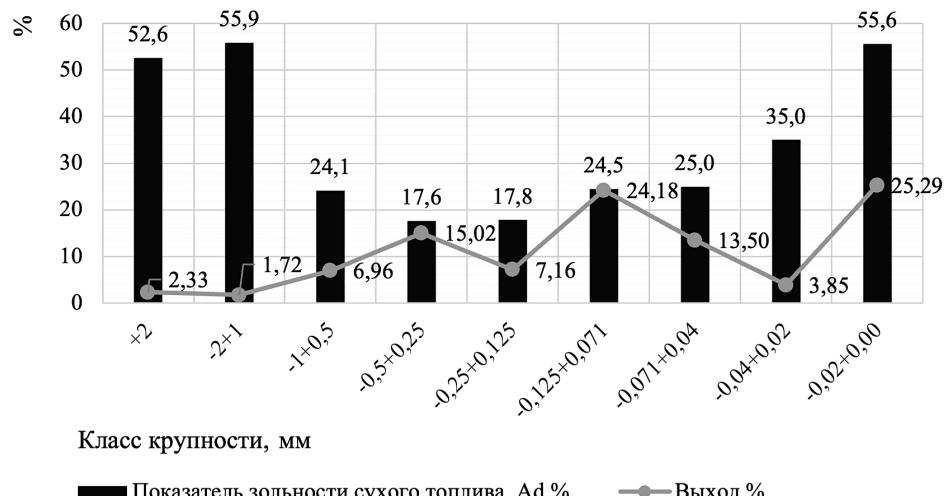


Рис. 1. Гранулометрический анализ исходного сырья с показателями зольности сухого топлива в классах крупности

Fig. 1. Granulometric analysis of the raw material with indicators of ash content by size classes

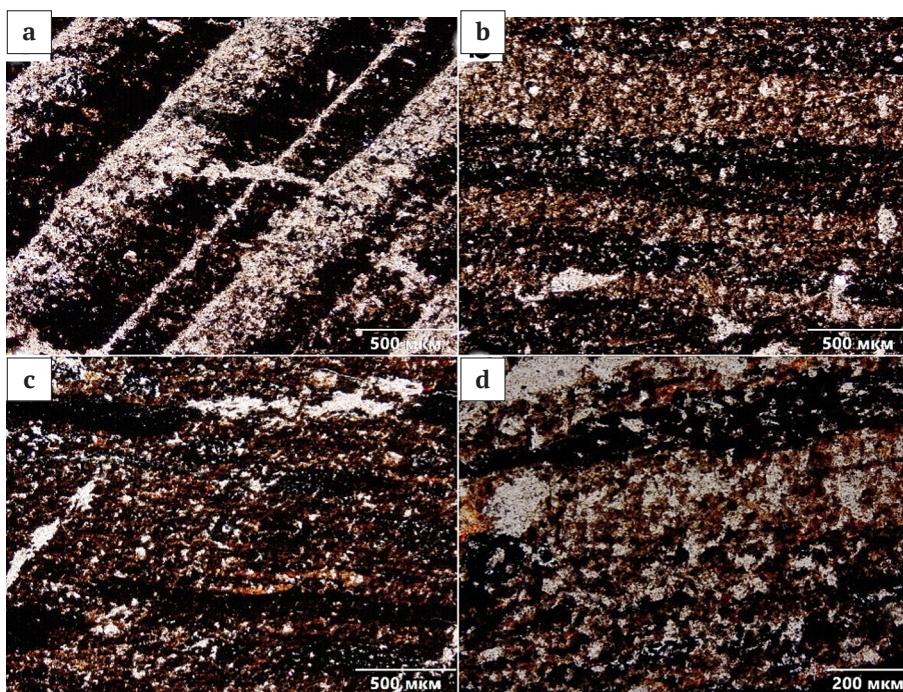
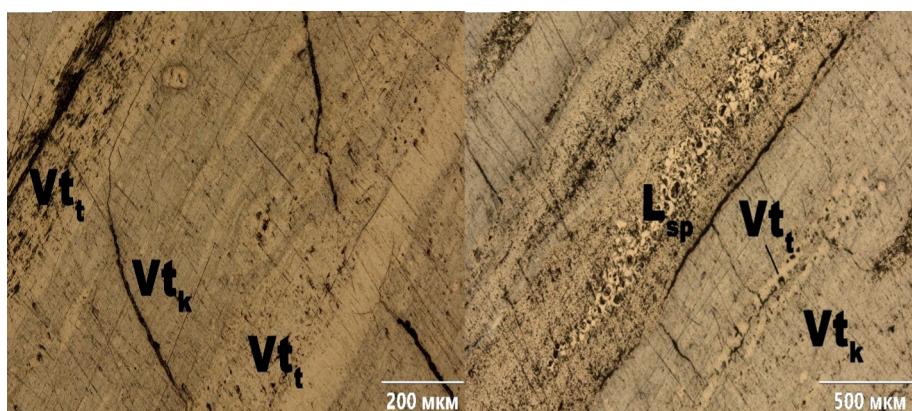


Рис. 2. Микрофотографии каустобиолитов, прозрачный шлиф, анализатор включен

Fig. 2. Micrographs of caustobioliths, thin section, polarization: XPL

Рис. 3. Фрагмент (микрофотография) аншлиф-брекета: Vt_t — телинит, Vt_k — коллинит, L_{sp} — споринит. Отраженный свет, анализатор выключен

Fig. 3. A polished (microphotographs) briquette fragment: Vt_t — tellinite, Vt_k — collinite, L_{sp} — sporinite. Reflected light, PPL



блюдаемым признакам было выделено три группы матералов — витринит (телинит, коллинит), липтинит (спорнит), инертинит (фузенит и склеротинит), а также минеральные составляющие. Матералы имеют разную степень сохранности клеточной структуры. Бесструктурные матералы образуют скопления и слагают полосы, структурные разновидности рассеяны в коллините (рис. 3). Минеральными составляющими выступают глинистые минералы, сульфиды железа, карбонаты, минералы кремнезема и прочие минеральные включения.

При исследовании аншлифов с помощью сканирующего электронного микроскопа установлено, что в исследуемых образцах угля содержится значительное количество минеральных включений: кварца, каолинита, полевых шпатов, сидерита, апатита, пирита, халькопирита, барита, рутила и др.

Минеральная матрица представлена преимущественно каолинитом. Каолинит заполняет клеточные полости, встречается в виде линз, прослоек, тонкодисперсных частиц (рис. 4), а также выступает цементирующим веществом во вмещающей уголь породе. Зачастую наблюдаются микропреславания угля и минеральных агрегатов, содержащих каолинит и кварц.

Во вмещающих уголь породах наблюдаются обособления кварца, хлоритов и полевых шпатов, в ред-

ких случаях — амфиболов и турмалинов. В составе цементирующей массы отмечаются выделения мусковита.

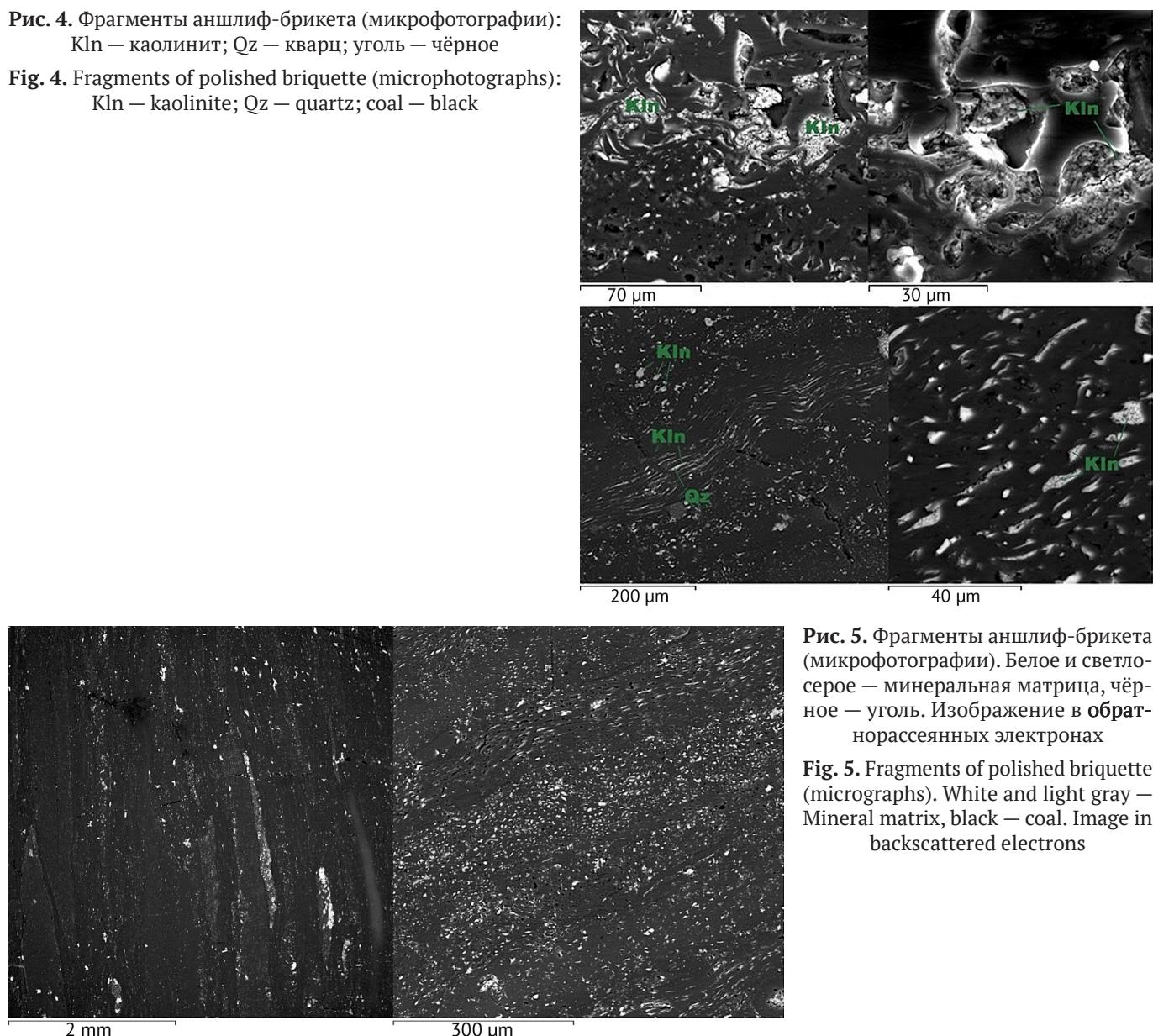
На изображениях общего вида образцов в обратнорассеянных электронах (рис. 5) чётко прослеживается переслаивание чистого или слабозагрязнённого угля ($\rho < 1/5 \text{ г}/\text{см}^3$ (Столбова, 2013) с полифазными агрегатами угля, глинистых минералов, кварца и карбонатов, количество минеральных примесей в таких агрегатах составляет 20–60 %, $\rho = 1.5–2.0 \text{ г}/\text{см}^3$ (Столбова, 2013).

Анализируя вышеизложенные данные, следует заключить, что исследуемый материал относится к техногенному сырью первой группы (Ожогина и др., 2018). Изучаемые отходы представляют промышленный интерес с точки зрения получения дополнительного топлива, поскольку на 75.54 % сложены углистыми и углисто-глинистыми породами. Ценные элементы-примеси, входящие в химический состав пробы, составляют тысячные доли процента или находятся на пределе порога обнаружения измерительного прибора, поэтому значимости для попутного извлечения они не имеют.

Материал крупностью более 1 мм содержит в себе несгораемые фазы, представленные неорганическим веществом, о чём свидетельствуют высокие по-

Рис. 4. Фрагменты аншлиф-брекета (микрофотографии):
Kln — каолинит; Qz — кварц; уголь — чёрное

Fig. 4. Fragments of polished briquette (microphotographs):
Kln — kaolinite; Qz — quartz; coal — black



казатели зольности, макро- и микроскопические исследования. Также в материале присутствует высокозольный, труднообогатимый для многих физических методов материал крупностью менее 0,04 мм. В диапазоне крупности от 0,04 до 1 мм показатель зольности сухого топлива составляет 22,29 %, в связи с чем его можно считать рабочим классом для процесса обогащения.

На основании полученных данных на исследуемом сырье были проведены технологические испытания. Предварительно из обогатительного процесса был выведен материал крупностью более 1 мм при помощи операции грохочения. Тонкодисперсный материал менее 0,04 мм из подрешётного продукта грохота был удалён гидроциклоном. Дальнейшее обогащение песков гидроциклона выполнено на винтовом сепараторе. Поскольку во время обогащения угля на винтовом аппарате происходит обратное обогащение, т. е. концентрация углистых и углисто-глинистых пород осуществляется в бортовой части рабочей поверхности жёлоба винтового аппарата, для получения наиболее чистого продукта были проведены две стадии винтовой сепарации: основная на песках гидроциклона

и перечистная на угольном продукте основной винтовой сепарации. В результате по технологической схеме (рис. 6) удалось получить угольный концентрат с показателем зольности сухого топлива 10,95 %. Выход продукта составляет 41,15 %.

Заключение

Исследования угольных шламов ОФ «Прокопьевскуголь» показали, что промышленный интерес они имеют только с точки зрения получения дополнительного топлива, поскольку ценные элементы-примеси, входящие в химический состав, составляют тысячные доли процентов. Содержание угля составляет 75,54 %, большая часть которого распределяется в диапазон крупности от 0,04 до 1 мм, с показателем зольности сухого топлива в нём 22,29 %. Углесодержащие обломки представлены углистыми и углисто-глинистыми породами. Во вмещающих уголь породах наблюдаются обособления кварца, хлоритов и полевых шпатов. В составе цементирующей массы отмечаются выделения мусковита. Преимущественно минеральная матрица представлена каолинитом. Обогащение методом винтовой

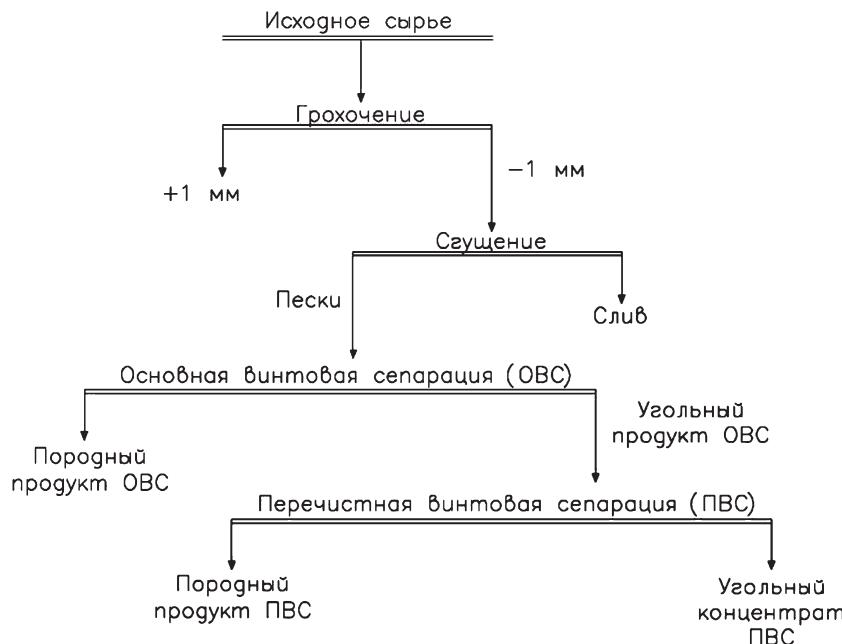


Рис. 6. Технологическая схема обогащения угольных шламов ОФ «Прокопьевскуголь»

Fig. 6. Technological scheme of coal sludge enrichment at the Prokopyevskugol coal processing plant

сепарации позволило получить угольный концентрат с выходом 41.15 % и показателем зольности 10.95 %.

Результаты исследований подтверждают перспективность применения метода винтовой сепарации в обогащении угольных шламов. Угольный продукт, который удалось получить из угольных шламов, может быть пригоден для использования в энергетической промышленности.

Работы выполнены в рамках комплексного научно-технического проекта при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата», при поддержке комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твердых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 г.

Литература/ References

Дамба А., Станис Е. В. Использование комплексной геоэкологической оценки в экологическом аудите при разработке угольных месторождений Монголии // Вестник Российской университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2015. № 2. С. 100–106.

Damba A., Stanis E. V. The use of comprehensive geo-ecological assessment in environmental audit in the development of coal deposits in Mongolia. Bulletin of the Russian Peoples' Friendship University. Series: Ecology and life safety, 2015, No. 2, pp. 100–106. (in Russian)

Зиновьева О. М., Колесникова Л. А., Меркулова А. М. и др.

Анализ экологических проблем в угледобывающих регионах // Уголь. 2022. № 10. С. 62–67.

Zinov'eva O. M., Kolesnikova L. A., Merkulova A. M. et al. Analysis of environmental problems in coal mining regions. Coal, 2022, No.10, pp. 62–67. (in Russian)

ГОСТ 9414.1-94 (ISO 7404-1-84). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 1. Словарь терминов. М.: Изд-во стандартов, 1995. 23 с.

GOST 9414.1-94 (ISO 7404-1-84). Hard coal and anthracite. Methods of petrographic analysis. Part 1. Glossary of terms. Moscow: Publishing house of standards, 1995, 23 p. (in Russian)

ГОСТ 9414.2-93 (ISO 7404-2-85). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 2. Метод подготовки образцов угля. М.: Изд-во стандартов, 1995. 18 с.

GOST 9414.2-93 (ISO 7404-2-85). Hard coal and anthracite. Methods of petrographic analysis. Part 2. Method of preparation of coal samples. Moscow: Publishing house of standards, 1995, 18 p. (in Russian)

ГОСТ 9414.3-93 (ISO 7404-3-84). Уголь каменный и антрацит. Методы петрографического анализа. Часть 3. Методы определения групп мацералов. М.: Изд-во стандартов, 1995. 12 с.

GOST 9414.3-93 (ISO 7404-3-84). Hard coal and anthracite. Methods of petrographic analysis. Part 3. Methods for determination of maceral groups. Moscow: Publishing house of standards, 1995, 12 p. (in Russian)

Качурин Н. М., Воробьев С. А., Чистяков Я. В. и др. Экологические последствия закрытия угольных шахт Кузбасса по газодинамическому фактору и опасности эндогенных пожаров на отвалах // Экология и промышленность России. 2015. Т. 19. № 4. С. 54–58.

Kachurin N. M., Vorob'ev S. A., Chistyakov Ya. V. et al. Environmental consequences of the closure of Kuzbass coal mines due to the gas-dynamic factor and the dan-



- ger of endogenous fires on dumps. Ecology and industry of Russia, 2015, V. 19, No. 4, pp. 54–58. (in Russian)
- Киреев С. А. Современное состояние и экологическая оценка влияния породных отвалов предприятий угольной промышленности // Известия Тульского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2022. № 1. С. 62–71.
- Kireev S. A. Current state and environmental impact assessment of waste dumps of coal industry enterprises. Proc. Tula State University. Earth Sciences, 2022, No. 1, pp. 62–71. (in Russian)
- Крылов Д. А. Негативное влияние элементов-примесей от угольных ТЭС на окружающую среду и здоровье людей // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2017. № 12. С. 77–87. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-77-87
- Krylov D. A. Negative impact of impurity elements from coal-fired thermal power plants on the environment and human health. Mining information and analytical bulletin, 2017, No. 12, pp. 77–87. DOI: 10.25018/0236-1493-2017-12-0-77-87 (in Russian)
- Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Горнопромышленные отходы: минералогические особенности // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 43–49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49
- Ozhogina E. G., Kotova O. B., Yakushina O. A. Mining waste: mineralogical features. Vestnik of Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2018, No. 6, pp. 43–49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49 (in Russian)
- Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленых проб: Методические рекомендации № 162 / Научный совет по методам минералогических исследований (НСОММИ). М.: ВИМС, 2012. 23с.
- Optical and mineralogical analysis of concentrate and crushed samples: Methodological recommendations No. 162. Scientific Council on Methods of Mineralogical Research (NSOMMI). Moscow: VIMS, 2012, 23 p. (in Russian)
- Прокопьев Е. С., Алексеева О. Л. Оценка возможности вовлечения в переработку углесодержащих отходов шламохранилища Западно-Сибирского металлургического комбината // Наука о земле и недропользовании. Иркутск. 2022. № 4. С. 446–457. DOI:10.21285/2686-9993-2022-45-4-446-457.
- Prokop'ev E. S., Alekseeva O. L. Assessment of the possibility of involving in the processing of coal-containing waste from the sludge storage facility of the Western Siberian Metallurgical Plant. Science of Earth and Subsoil Use. Irkutsk, 2022, No. 4, pp. 446–457. DOI:10.21285/2686-9993-2022-45-4-446-457. (in Russian)
- Соловеенко Н. П., Болотин Н. М. Применение технологии винтовой сепарации при переработке угольных шламов // Наука о земле и недропользовании. 2022. № 4. С. 469–480. DOI:10.21285/2686-9993-2022-45-4-469-480.
- Soloveenko N. P., Bolotin N. M. Application of screw separation technology in the processing of coal sludge. Science of earth and subsoil use. Irkutsk, 2022, No. 4, pp. 469–480. DOI:10.21285/2686-9993-2022-45-4-469-480. (in Russian)
- Столбова Н. Ф., Исаева Е. Р. Петрология углей: учеб. пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. 77 с.
- Stolbova N. F., Isaeva E. R. Petrology of coals: a tutorial. Tomsk: Publishing house of Tomsk Polytechnic University, 2013, 77 p. (in Russian)
- Турецкая Н. Ю., Чикишева Т. А. Перспективы получения товарного продукта из отходов флотации угольных фабрик // Уголь. 2023. № 9. С. 95–99. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-95-99>
- Turetskaya N. Yu., Chikisheva T. A. Prospects for obtaining a commercial product from flotation waste of coal factories. Coal, 2023, No. 9, pp. 95–99. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-9-95-99> (in Russian)
- Чикишева Т. А., Комарова А. Г., Прокопьев С. А., Прокопьев Е. С., Алексеева О. Л. Минералого-технологическая оценка отходов углеобогатительной фабрики «Краснобродская-Коксовая» // Технологическая минералогия в оценке качества минерального сырья природного и техногенного происхождения: Сб. ст. по материалам докл. XV Росс. семинара по технолог. минералогии / Под ред. В. В. Щипцова, Е. Н. Световой; Институт геологии КарНЦ РАН. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2023. С. 43–46. DOI: 10.17076/TM15_57
- Chikisheva T. A., Komarova A. G., Prokopyev S. A., Prokopyev E. S., Alekseeva O. L. Mineralogical and technological assessment of waste from the Krasnobrodskaya-Koksovaya coal processing plant. Technological mineralogy in assessing the quality of mineral raw materials of natural and technogenic origin: Proc. 15th Russian seminar on technological mineralogy. Edited by V. V. Shchiptsov, E. N. Svetova; Institute of Geology, Karelian Research Center of the Russian Academy of Sciences. Petrozavodsk: KarRS RAS, 2023. pp. 43–46. DOI: 10.17076/TM15_57 (in Russian)
- Behera B., Sahu H. B. Coal mine waste characterization and defluoridation property / B. Behera, H. B. Sahu // <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13244> / Heliyon 9. 2023.

Поступила в редакцию / Received 8.10.2024



Хроника, события, факты • Chronicle, events, facts

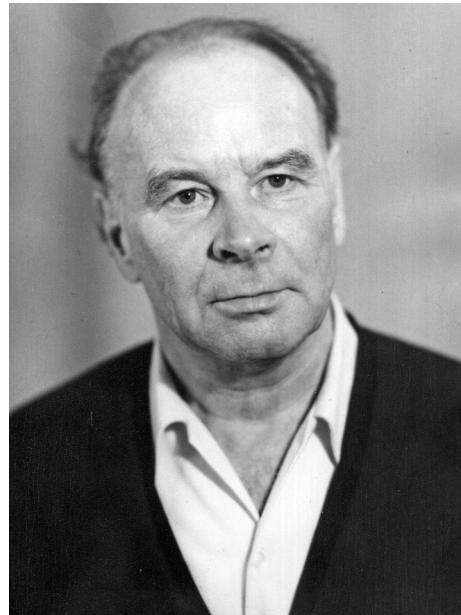
Памяти талантливого химика-аналитика К 100-летию со дня рождения Льва Петровича Павлова (11.12.1924—21.07.2001)

In memory of a talented analytical chemist On the occasion of the 100th anniversary of Lev Petrovich Pavlov's birth (11.12.1924—21.07.2001)

December 11, 2024 marks the 100th anniversary of the birth of Lev Petrovich Pavlov (11.12.1924—21.07.2001), a participant in the World War II, a highly professional analytical chemist who made a significant contribution to the organization and development of the chemical analytical laboratory (now the Laboratory of Mineral Raw Chemistry) of the Institute of Geology Komi SC UB RAS. Lev Petrovich headed the laboratory for 32 years (1958—1990), his total length of service at the Institute of Geology is more than 40 years (1955—1995).

Лев Петрович Павлов родился 11 декабря 1924 г. в селе Усть-Вымь Коми (Зырянской) автономной области. Вскоре семья переехала в Ленинград, где прошли детские годы Льва Петровича. В начале войны мать с сыном-подростком была эвакуирована обратно на малую родину, в село Усть-Вымь. В 1942 г. Лев Петрович был призван в армию, принимал участие в боях на Сталинградском, Калининском, Первом и Втором Прибалтийских фронтах, был награжден орденом Отечественной войны, медалями «За оборону Сталинграда», «За победу над Германией в Великой Отечественной войне 1941—1945 гг.» и др.

После демобилизации Лев Петрович возвратился в Ленинград, окончил вечернюю среднюю школу



и в 1950 г. поступил на химфак Ленинградского университета. По окончании обучения Лев Петрович попросил распределения в родную Республику Коми. 1 августа 1955 г. он был принят младшим научным сотрудником в Сектор геологии Коми филиала академии наук СССР, возглавляемый А. А. Черновым. В январе 1958 г. его назначили заведующим химико-аналитической лабораторией, эту должность он занимал вплоть до 1990 г.

Лев Павлович занимался организацией и проведением химических анализов горных пород и минералов, разработкой и усовершенствованием методик анализов, оснащением лаборатории новым научным оборудованием, осуществлял методическое руководство группой химиков-аналитиков института. Им были разработаны методики химического силикатного анализа горных пород с большими одновременными содержаниями меди, фосфора, бария и свинца, усовершенствованы методики химического анализа пирротина, хромитов, сульванита, турмалина, сфена и ряда других минералов.

В соавторстве Л. П. Павловым было опубликовано несколько научных статей, посвященных в основном вопросам анализа редкоземельных элементов.

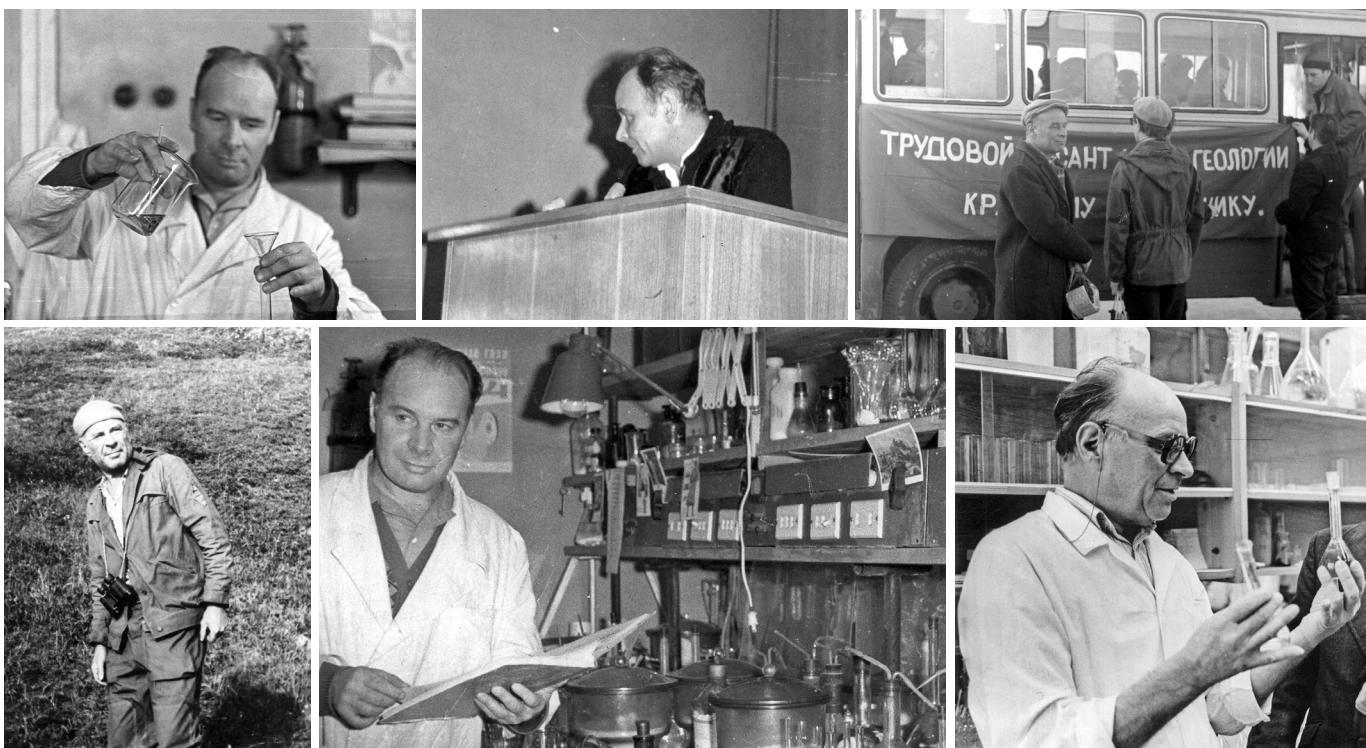
Годами наибольшего расцвета своей лаборатории сам Лев Петрович считал 80-е годы. В то время выросло новое поколение химиков-аналитиков — его учеников, которые до сих пор труются в стенах Института геологии.

Редакция



Лев Павлович (крайний справа) на встрече ветеранов ВОВ. 9.05.1981 г.

Lev Pavlovich (far right) at a meeting of WWII veterans. 9.05.1981



Трудовые будни / Everyday work



Лаборатория химии минерального сырья в 2000-е гг.

Ученицы Л. П. Павлова (первый ряд слева направо): Е. Ф. Малахова, Р. Г. Малыхина, Т. Д. Косарева; второй ряд: О. В. Кокшарова, К. К. Прохорова, Р. И. Нефёдова (крайняя справа)

Laboratory of Mineral Raw Chemistry in the 2000s.

L. P. Pavlov's disciples (first row from left to right): E. F. Malakhova, R. G. Malykhina, T. D. Kosareva; second row: O. V. Koksharova, K. K. Prokhorova, R. I. Nefyodova (far right)

* * *

Фишман М. В. Люди науки: Научные сотрудники Ин-та геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар, 1997. С. 191.
Fishman M. V. People of Science: Researchers at the Institute of Geology of the Komi SC UB RAS. Syktyvkar, 1997, p. 191. (in Russian)

Тарасова Т. Он был среди первых (к 85-летию Л. П. Павлова) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2009. № 12 (180). С. 40–41.

Tarasova T. He was among the first (the 85th anniversary of L. P. Pavlov) // Vestnik of IG Komi SC UB RAS, 2009, No. 12 (180), pp. 40–41. (in Russian)

Елисеев А. И., Юдович Я. Э. Генерал-лейтенант аналитической химии (к 75-летию Льва Петровича Павлова) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 1999. № 12 (60). С. 14–15.

Eliseev A. I., Yudovich Ya. E. Lieutenant General of Analytical Chemistry (the 75th anniversary of Lev Petrovich Pavlov). Vestnik of IG Komi SC UB RAS, 1999, No. 12 (60), pp. 14–15. (in Russian)

Павлов Л. Краткая биография лаборатории «мокрой химии» // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 1998. № 6 (42). С. 25–26.

Pavlov L. Brief Biography of the "Wet Chemistry" Laboratory. Vestnik of IG Komi SC UB RAS, 1998, No. 6 (42), pp. 25–26. (in Russian)

Елисеев А., Юдович Я. Уходят последние фронтовики (Памяти Льва Петровича Павлова) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2001. № 8 (80). С. 26–27.

Eliseev A., Yudovich Y. The last soldiers are leaving (in memory of Lev Petrovich Pavlov). Vestnik of Komi SC UB RAS, 2001, No. 8 (80), pp. 26–27. (in Russian)

Беляев В. Его путеводной звездой была аналитическая химия (к 80-летию Л. П. Павлова) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2004. № 12 (120). С. 32–33.

Belyaev V. His guiding star was analytical chemistry (the 80th anniversary of L. P. Pavlov). Vestnik of IG Komi SC UB RAS, 2004, No. 12 (120), pp. 32–33. (in Russian)



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Научный совет по проблемам литологии и осадочным полезным ископаемым
при Отделении наук о Земле РАН
Институт геологии им. академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН

проводят 23–25 июня 2025 г. в Сыктывкаре
Всероссийское литологическое совещание
«ГЕОЛОГИЯ РИФОВ – 2025».

Тематика совещания:

- Эволюция карбонатных платформ в геобиосфере системе;
- Самоорганизация, архитектура и эволюция биогенных структур;
- Современные процессы образования морских карбонатов и органогенных построек;
- Биолиты как важный компонент органогенных сооружений;
- Бактериальный литогенез в аутигенном минералообразовании;
- Роль газофлюидов в формировании придонных карбонатных построек;
- Изотопно-геохимические особенности рифовых пород;
- Ископаемые рифы и органогенные постройки – природные резервуары углеводородов;
- Взаимосвязь лито- и сейсмофаций рифовых тел как основа для палеогеографических реконструкций и поиска месторождений нефти и газа.

В рамках совещания планируется проведение:

- молодежной школы «Старые и новые идеи в литологии карбонатов» (руководители: В. А. Жемчугова, Е. С. Пономаренко);
- полевого семинара (геологической экскурсии): «Палеозойские органогенные сооружения бассейна р. Ильч, Северный Урал», 26 июня – 5 июля 2025 г. (руководитель – Е. С. Пономаренко). Число участников – 10 чел. Программу экскурсии см. на сайте совещания.

Регистрация участников и прием материалов будет осуществляться интерактивно на сайте совещания (<http://conf.uran.ru/Default.aspx?cid=reefs>), расположенному на портале Уральского отделения РАН в разделе «Конференции» (<http://confer.uran.ru/>).

Контрольные сроки:

Регистрация участников и докладов – с 10 ноября 2024 г. по 1 марта 2025 г.

Второй циркуляр с программой – 15 мая 2025 г.

Организационный взнос: очное участие – 1000 руб., очное участие аспирантов – 500 руб., участие студентов бесплатное.

Контактная информация:

Адрес Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН:
167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54.
e-mail: sandula@geo.komisc.ru
(Сандула Андрей Николаевич, секретарь совещания)
esponomarenko@geo.komisc.ru
(Пономаренко Евгений Сергеевич, экскурсия)



Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation
Scientific Council on Lithology and Sedimentary Minerals at the Earth Sciences Division
of the Russian Academy of Sciences
Academician N. P. Yushkin Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS

will hold the All-Russian Lithological Conference
«REEF GEOLOGY – 2025»
on June 23–25, 2025 in Syktyvkar.

Conference topics:

- Evolution of carbonate platforms in the geobiosphere system;
- Self-organization, architecture and evolution of biogenic structures;
- Modern processes of formation of marine carbonates and organogenic structures;
- Bioliths as an important component of organogenic structures;
- Bacterial lithogenesis in authigenic mineral formation;
- The role of gas fluids in the formation of bottom carbonate structures;
- Isotope-geochemical features of reef rocks;
- Fossil reefs and organogenic structures – natural hydrocarbon reservoirs;
- Interrelationship of litho- and seismic facies of reef bodies as a basis for paleogeographic reconstructions and prospecting for oil and gas deposits.

The following events are planned to be held within the framework of the meeting:

- Youth school “Old and new ideas in carbonate lithology” (leaders: V. A. Zhemchugova, E. S. Ponomarenko);
- Field seminar (geological excursion): “Paleozoic organogenic structures of the Ilych River basin, Northern Urals”, June 26 – July 5, 2025 (leader – E. S. Ponomarenko). Number of participants – 10 people. The excursion program is available on the meeting website.

Registration of participants and submission of materials will be carried out interactively on the meeting website (<http://conf.uran.ru/Default.aspx?cid=reefs>), located on the portal of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences in the «Conferences» section (<http://confer.uran.ru/>).

Deadlines:

Registration of participants and papers – from November 10, 2024 to March 1, 2025.

The second circular with the program – May 15, 2025.

Organizational fee: in-person participation – 1000 rubles, in-person participation of graduate students – 500 rubles, participation of students is free.

Contact information:

Address of the Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS:
54 Первомайская st., Syktyvkar, 167982, Komi Republic.
e-mail: sandula@geo.komisc.ru
(Sandula Andrey Nikolaevich, Secretary of the Conference)
esponomarenko@geo.komisc.ru
(Ponomarenko Evgeny Sergeevich, field trip leader)

Указатель материалов, опубликованных в *Вестнике геонаук* в 2024 г.Index of publications in *Vestnik of Geosciences* in 2024

Название статьи	номер	страница
НАУЧНЫЕ СТАТЬИ		
Анализ изображений шлифов карбонатных обломочных пород с помощью систем на основе искусственного интеллекта. А. В. Журавлев, Д. А. Груздев	6	28
Вещественный состав отходов угледобычи обогатительной фабрики «Прокопьевскуголь» и перспектива применения метода винтовой сепарации для их обогащения Н. Ю. Тураецкая, Т. А. Чикишева, А. Г. Комарова	12	47
Влияние минерализатора и продолжительности синтеза на сорбционные свойства ситинакита и иванюкита. И. А. Перовский, Т. Л. Паниковский, Д. А. Шушков	3	20
Влияние толщины пластин шунгита на его электрофизические свойства: технологический и геофизический аспекты. Е. А. Голубев, И. В. Антонец	10	40
Влияние факторов водной среды на минерализацию цианобактерий и зеленых водорослей (Республика Коми) Т. П. Митюшева, В. И. Каткова, В. Н. Филиппов, Е. М. Тропников, Е. Н. Патова	2	30
Вольфганг Оствальд и его «Мир обойденных величин». А. М. Асхабов	8	41
Геологическое строение четвертичных отложений в долине нижней Печоры Л. Н. Андреичева	1	16
Геохимия везувиана из kontaktово-метасоматических пород минеральных копей Южного Урала В. С. Стативко, Г. Е. Ратьковский, А. Б. Кузнецов	11	30
Гротит из сланцев Иртышской зоны смятия (Восточный Казахстан) Е. В. Наставко, Г. А. Федосюк, Б. Ю. Змеев	12	3
Диссимметризация в минералах группы эвдиалита. IV. Особенности блочного изоморфизма в структуре Nb-дефицитного аналога онейллита в рамках Р3-симметрии Р. К. Расцветаева, Н. В. Чуканов, В. М. Гридчина, С. М. Аксенов	8	35
Золотоносность межформационного контакта рифейских и девонских отложений (Цилемское поднятие, Средний Тиман). А. А. Пархачев, Н. А. Васильченко, К. Г. Пархачева	6	12
Из архива профессора Д. П. Григорьева: письма профессора А. Я. Микея Ю. Л. Войтеховский	3	30
Из опыта преподавания. XIII. Имя кристаллического полиэдра. К 130-летию со дня рождения А. Ф. Лосева и 100-летию «Философии имени». Ю. Л. Войтеховский	1	43
Из опыта преподавания. XIV. О разнообразии тетраэдротов. Ю. Л. Войтеховский	4	34
Из опыта преподавания. XV. Кристаллографические бордюры и филлотаксис Ю. Л. Войтеховский, А. Д. Гунченкова	10	35
Изотопный состав углерода и кислорода нижнепермских карбонатных пород лосиноостровской свиты (Приполярный Урал, р. Кожым). Н. С. Инкина	3	3
К вопросу о возрасте джекимской свиты Южного Тимана Н. Ю. Никулова, К. В. Кулкова, А. Н. Сандула	3	38
К оценке геодинамической устойчивости геосфер Земли. А. В. Кокин, А. А. Кокин	5	16
Кварц-кианит-мусковитовый магматический слюдит Борисовских сопок на Южном Урале В. А. Попов, С. В. Колисниченко, И. А. Блинов	5	36
Кинетика образования индивидуальных углеводородов C ₁ –C ₅ при ступенчатом сухом пиролизе керогена доманикового сланца после гидротермального воздействия Д. А. Бушнев, Н. С. Бурдельная	9	3
Концентрационные потоки. 230 лет в кристаллогенетической повестке. А. М. Асхабов	4	27
Литогеодинамическая эволюция внешней окраины североуральского палеошельфа Печорской плиты в позднем ордовике (бассейн р. Ильч, Северный Урал). Л. А. Шмелёва	8	3
Литологическая характеристика колганской свиты юго-западной части Восточно-Оренбургского сводового поднятия Н. С. Сагдеева	4	21
Литолого-фациальное строение и история развития пласта Б5 Даниловского лицензионного участка (венд-кембрий, Восточная Сибирь) К. Н. Чертинга, Е. Н. Максимова, А. В. Ульянова, Н. Н. Аржиловская, О. В. Неделько	5	3
Мел-палеогеновые ископаемые смолы арктической части Дании (о. Гренландия) О. В. Мартirosyan	5	29
Минерало-геохимические свойства «моренного» комплекса голоценовых отложений в озере Нижнем (Восточная Антарктида) как источник новой генетической информации В. И. Силаев, В. П. Зерницкая, В. Н. Филиппов, И. В. Смолева, Г. В. Игнатьев, Б. А. Макеев	2	3



Минералого-geoхимический анализ металлических украшений погребения № 59 Кокпомъягского могильника вымской культуры перми вычегодской XI—XIV вв.	4 3
<i>В. И. Силаев, Э. А. Савельева, В. Н. Филиппов, А. Ф. Хазов</i>	
Минералого-технологическая оценка отходов ЦОФ «Кузбасская» (Кемеровская область)	9 28
<i>Т. А. Чикишева, А. Г. Комарова, Н. Ю. Турецкая</i>	
Минеральные источники Янейтывисского месторождения минеральных подземных вод (Республика Коми). <i>Т. П. Митюшева</i>	10 12
Направленные изменения технологических свойств минерального сырья:	
новые подходы и технологии. К 80-летию со дня рождения Б. А. Остащенко (1944–2008)	
<i>О. Б. Котова, Д. А. Шушков, А. В. Понарядов, Л. С. Кочева, И. Н. Размыслов</i>	6 32
Нефтегазоносность триасовых отложений арктических районов Тимано-Печорской провинции	
<i>Н. Н. Тимонина</i>	6 3
Новые данные о строматопороидах эмского возраста на Полярном Урале (р. Большая Уса)	
<i>Е. В. Антропова</i>	9 21
От находок угольной гальки к открытию месторождений	
(к 100-летию Печорского угольного бассейна). <i>И. С. Астахова</i>	2 38
Палеопротерозойские строматолиты восточной части Фенноскандинавского щита:	
микроструктура и 3D-моделирование. <i>А. В. Лютиков</i>	3 15
Палинологическое обоснование стратиграфического расчленения и корреляции отложений	
беловежского горизонта плейстоцена Беларуси. <i>А. В. Шидловская, Т. Б. Рылова</i>	8 21
Парафенез доломитов и сепиолитов в отложениях каширского и подольского горизонтов	
платформенной части Башкортостана: возможное биогенное происхождение	
<i>Р. В. Мирнов, А. А. Nikolaev</i>	10 3
Перспективные агрохимикаты на основе вторичного минерального сырья	
предприятий лесопромышленного комплекса	
<i>И. А. Перовский, О. В. Броварова, Д. А. Шушков, И. Н. Бурцев, Е. А. Веселков</i>	12 37
Погребенные долины северо-запада Восточно-Европейской равнины:	
распространение, морфология, геологическое строение и проблемы генезиса	
<i>А. Е. Кротова-Путинцева</i>	11 3
Подготовка тетраэтоксисилана для получения монодисперсных сферических	
частиц кремнезема. Часть 3. Влияние элементов-примесей. <i>Д. В. Камашев</i>	11 42
Подземные воды среднеюрских отложений южных районов Республики Коми	
<i>Ю. А. Кокшарова, О. Е. Амосова</i>	1 24
Применение нейронных сетей для распознавания хитинозой на изображениях	
<i>Р. Р. Якупов, К. Б. Гусманова</i>	9 35
Примесный состав берилла из сподуменовых пегматитов месторождения Пашки	
(провинция Нуристан, Афганистан)	
<i>С. Г. Скублов, Н. Хамдард, М. А. Иванов, А. К. Гаврильчик, В. С. Стативко</i>	2 46
Раннеассельские цианобактерии и водоросли в органогенных постройках разреза «Писаный Камень»	
(р. Унья, Северный Урал). <i>Н. А. Матвеева, Р. М. Иванова</i>	12 26
Результаты электронно-микроскопических исследований нижнепермских	
оoidных доломитов (Южный Тиман) <i>О. С. Ветошкина</i>	9 12
Репрезентативность фондов Геологического музея им А. А. Чернова для изучения	
бокситообразования на Тимане. <i>Л. Р. Жданова, И. С. Астахова</i>	7 32
Роль Комиссии по технологической минералогии РМО в повышении полноты и комплексности	
использования минерального сырья. <i>В. В. Щипцов, О. Б. Котова, Е. Г. Ожогина</i>	10 46
Сейсмические события в Воркутском углепромышленном районе в 2023 году	
<i>Н. Н. Носкова, Ф. Г. Верхоланцев, В. Э. Асминг, Н. В. Ваганова, И. В. Попов</i>	1 34
Сейсмотектоническая активность Ляховичского разлома в Припятском прогибе	
<i>Г. А. Аронов</i>	8 15
Сerpентиниты зоны меланжа на севере массива Рай-Из, вмещающие ювелирный гранат	
(андрадит-демантOID). <i>В. П. Лютоев, А. Б. Макеев, Ю. С. Симакова, Е. Н. Терехов</i>	7 24
Стадийность формирования кварц-альбит-алланит-фукситовых прожилков	
на Au-Pd-месторождении Чудное (Приполярный Урал)	
<i>С. А. Онищенко, Н. В. Сокерина, С. К. Кузнецов, С. И. Исаенко, Е. М. Тропников</i>	1 4
Технологическая минералогия руд стратегических металлов:	
достижения, проблемы, перспективы <i>Е. Г. Ожогина, О. Б. Котова</i>	10 28
Типохимизм сульфидов Au-Pd-рудопроявления Озерное, Полярный Урал	
<i>А. П. Кондрекова, Е. Э. Тюкова, И. Д. Соболев, И. В. Викентьев</i>	12 12
Условия образования рудовмещающих нижнесреднепалеозойских осадочных формаций	
Чаткало-Кураминских гор Узбекистана. <i>М. А. Мундузов</i>	2 17
Флюидный режим образования вторичных доломитов в палеозойских карбонатных коллекторах	
Хасырейского месторождения (вал Гамбурцева)	
<i>Т. В. Майдль, Н. В. Сокерина, М. С. Нечаев, И. Л. Ульныров, С. И. Исаенко</i>	7 3



Характер матрикса — индикатор температурных условий формирования зловитов (на примере обломочных импактитов Карского метеоритного кратера)	7	13
Н. И. Максименко, Т. Г. Шумилова.....	7	13
2000 лет со дня рождения Плинния Старшего. Ю. Л. Войтеховский	7	41
U-Pb (SIMS) цирконовая хронология интрузивного магматизма юго-восточной части Ижемской зоны фундамента Печорской синеклизы		
В. Л. Андреичев, А. А. Соболева, Е. Г. Довжикова, Ю. Л. Ронкин, А. Н. Ларионов, С. А. Сергеев, Э. Л. Миллер, М. А. Кобл.....	11	14

КОНФЕРЕНЦИИ, СЕМИНАРЫ

33-я Всероссийская научная конференция «Структура, вещество, история литосфера Тимано-Североуральского сегмента» (анонс).....	7	48
XVI Российский семинар «Технологическая минералогия: комплексная оценка нетрадиционных видов минерального сырья и их рациональное использование»	1	50
XVI Российский семинар «Технологическая минералогия: комплексная оценка нетрадиционных видов минерального сырья и их рациональное использование»		
Н. С. Ковальчук	5	45
XVIII Геологический съезд Республики Коми. Е. В. Антропова	4	38
Секции 1, 2, 3 • Региональная геология, тектоника, геодинамика		
• Петрология, магматизм, геохронология		
• Природные и техногенные геосистемы Н. С. Уляшева	4	42
Секции 4, 5, 6 • Литология и геохимия • Палеонтология и стратиграфия		
• Цифровые технологии и методы моделирования в геологии и горном деле		
Д. В. Пономарев, К. С. Поповасев, А. Н. Сандула	4	43
Секция 7 • Геология нефти и газа. Н. Н. Тимонина.....	4	44
Секции 8, 9 • Месторождения стратегического и экономически важного минерального сырья		
• Минералогия и минерагенез. С. К. Кузнецов	4	47
Секция 10 • Новые технологии добычи и переработки минерального сырья		
О. Б. Котова, Д. А. Шушков	4	48
Секция 11 • История геологических исследований. Геологическое наследие.		
Геологическое образование. И. С. Астахова.....	4	50
Всероссийское литологическое совещание «Геология рифов – 2025» (анонс)	12	55
Встреча обогатителей в научной столице Кольского Заполярья		
(Плакгинские чтения – 2024). О. Б. Котова.....	9	40
Решение XVIII Геологического съезда Республики Коми	5	40

Хроника, события, факты

Вступая в 2024 год: в ожидании российского списка рейтингов научных журналов. А. М. Асхабов.....	1	3
Главный геолог Урала. Памяти Виктора Николаевича Пучкова (17.08.1938–24.08.2024)		
А. М. Пыстин.....	8	46
День российской науки – 2024 в Институте геологии. И. С. Астахова, О. Б. Котова.....	2	51
Её года – её богатство (к 95-летию Галины Александровны Марковой).....	11	57
Лауреат премии Совета Министров СССР (памяти Юрия Николаевича Ромашкина, инженера Института геологии).....	11	58
Мокрая палеонтология. Итоги минувшего полевого сезона	11	52
Новые издания.....	3	44
	4	51
	6	44
Памяти Василия Николаевича Филиппова. В. И. Ракин	3	43
Памяти Владимира Степановича Цыганко (13.02.1938–28.09.2024). А. Н. Плотицын	9	42
Памяти талантливого химика-аналитика. К 100-летию со дня рождения Льва Петровича Павлова (11.12.1924–21.07.2001)	12	53
Первая в мире кафедра грунтоведения (к 100-летию ленинградской школы грунтоведения)		
Е. П. Каюкова	6	40
План научных мероприятий в ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН на 2024 год.....	1	52
Силурийские строматопороиды Урала: уникальная коллекция О. В. Богоявленской		
Е. В. Антропова	8	45
Тишина вечности. Пленэр художников России на Приполярном Урале. О. В. Орлова	5	46
У истоков современной тектонической науки (90 лет со дня рождения Николая Иосифовича Тимонина)	1	51
Указатель материалов, опубликованных в <i>Вестнике геонаук</i> в 2024 г.	12	56



Обложка Вестника геонаук

Кристаллы льда. Фото А. Перетягина	1
Полевая база «Гора Вечерняя» белорусской антарктической экспедиции	
Фото А. А. Гайдашова.....	2
Углефицированные остатки растений в опоке (верхний мел, К2, р. Лемва)	
Образец П. Безносова. Фото Р. Шуктромова.....	3
Раковина ювенильной особи брюхоногого моллюска (франский ярус девона, Средний Тиман). Фото П. Безносова, оператор СЭМ Е. Тропников.....	4
Скопление мшанковых биогермов, покрытых бактериальной карбонатной коркой (Керченский п-ов, мыс Казантеп, бухта Кунушкая, верхнемиоценовые отложения)	
Фото А. И. Антошкиной.....	5
Оливин. Войкарский массив, восточный склон Полярного Урала. Фото И. Голубевой.....	6
Экземпляр <i>Paraconularia</i> (кишечнополосные). Верхний серпухов.	
Печоро-Колвинский мегавал. Фото А. В. Журавлёва.....	7
Останец кристаллического известняка на мысе Хобой, оз. Байкал. Фото Г. Каблиса	8
Гётит из кварцевой жеоды в базальтах Верхнешугорского бокситового месторождения.	
Образец К. Г. Пархачёвой. Фото А. Ю. Перетягина	9
Золото аутигенного облика из Новобобровского Nb-Ti-месторождения.	
Фото Б. А. Макеева, оптический микроскоп <i>Nikon Eclipse LV100ND</i>	10
Раковина раннемелового двустворчатого моллюска <i>Camptonectes imperialis</i> (Keyserling, 1846), экз. № ИГКНЦ 415/86. Река Безмошица, Северный Тиман	
Фото Р. Шуктромова	11
Вид на хребет Сабля, Приполярный Урал. Фото Е. И. Шубницыной	12

Авторский указатель / Author Index

Аксенов С. М.	8	35
Амосова О. Е.	1	24
Андреичев В. Л.	11	14
Андреичева Л. Н.	1	16
Антонец И. В.	10	40
Антошкина А. И.	5	обл.
Антропова Е. В.	4	38
	8	45
	9	21
Аржиловская Н. Н.	5	3
Аронов Г. А.	8	15
Асминг В. Э.	1	34
Астахова И. С.	2	38
	2	51
	4	50
	7	32
Асхабов А. М.	1	3
	4	27
	8	41
Безносов П. А.	3	обл.
	4	обл.
Блинov И. А.	5	36
Броварова О. В.	12	36
Бурдельная Н. С.	9	3
Бурцев И. Н.	12	36
Бушнев Д. А.	9	3
Ваганова Н. В.	1	34
Васильченко Н. А.	6	12
Верхоланцев Ф. Г.	1	34
Веселков Е. А.	12	36
Ветошкина О. С.	9	12
Викентьев И. В.	12	12
Войтеховский Ю. Л.	1	43
	3	30
	4	34
	7	41
	10	35

Гаврильчик А. К.	2	46
Гайдашов А. А.	2	3
	2	обл.
Гигиняк Ю. Г.	2	3
Голубев Е. А.	10	40
Голубева И. И.	6	обл.
Гридчина В. М.	8	35
Груздев Д. А.	6	28
Гунченкова А. Д.	10	35
Гусманова К. Б.	9	35
Довжикова Е. Г.	11	14
Жданова Л. Р.	7	32
Журавлев А. В.	6	28
	7	обл.
Зерницкая В. П.	2	3
Змеев Б. Ю.	12	3
Иванов М. А.	2	46
Иванова Р. М.	12	25
Игнатьев Г. В.	2	3
Инкина Н. С.	3	3
Исаенко С. И.	1	4
	7	3
Каблис Г. Н.	8	обл.
Камашев Д. В.	11	42
Каткова В. И.	2	30
Каюкова Е. П.	6	40
Кобл М. А.	11	14
Ковальчук Н. С.	5	45
Кокин А. А.	5	16
Кокин А. В.	5	16
Кокшарова Ю. А.	1	24
Колисниченко С. В.	5	36
Комарова А. Г.	9	28
	12	46
Кондрикова А. П.	12	12
Котова О. Б.	2	51
	4	48



Котова О. Б.	6	32
	9	40
	10	28
	10	46
Кочева Л. С.	6	32
Кротова-Путинцева А. Е.	11	3
Кузнецов А. Б.	11	30
Кузнецов С. К.	1	4
	4	47
Куликова К. В.	3	38
Ларионов А. Н.	11	14
Лютиков А. В.	3	15
Лютоев В. П.	7	24
Майдль Т. В.	7	3
Макеев А. Б.	7	24
Макеев Б. А.	2	3
	10	обл.
Максименко Н. И.	7	13
Максимова Е. Н.	5	3
Мартиросян О. В.	5	29
Матвеева Н. А.	12	25
Миллер Э. Л.	11	14
Мирнов Р. В.	10	3
Митюшева Т. П.	2	30
	10	12
Мундузова М. А.	2	17
Наставко Е. В.	12	3
Неделько О. В.	5	3
Нечаев М. С.	7	3
Николаев А. А.	10	3
Никулова Н. Ю.	3	38
Носкова Н. Н.	1	34
Ожогина Е. Г.	10	28
	10	46
Онищенко С. А.	1	4
Паниковский Т. Л.	3	20
Пархачев А. А.	6	12
Пархачева К. Г.	6	12
	9	обл.
Патова Е. Н.	2	30
Перетягин А. Ю.	1	обл.
	9	обл.
Перовский И. А.	3	20
	12	36
Плотицын А. Н.	9	42
Понарядов А. В.	6	32
Пономарев Д. В.	4	43
Попвасев К. С.	4	43
Попов В. А.	5	36
Попов И. В.	1	34
Пыстин А. М.	8	46
Размыслов И. Н.	6	32
Ракин В. И.	3	43
Расцветаева Р. К.	8	35
Ратьковский Г. Е.	11	30
Ронкин Ю. Л.	11	14
Рылова Т. Б.	8	21
Савельева Э. А.	4	3
Сагдеева Н. С.	4	21
Сандула А. Н.	3	38
	4	43
Сергеев С. А.	11	14
Силаев В. И.	2	3
	4	3
Симакова Ю. С.	7	24
Скублов С. Г.	2	46
Смолева И. В.	2	3
Соболев И. Д.	12	12
Соболева А. А.	11	14
Сокерина Н. В.	1	4
	7	3
Стативко В. С.	2	46
	11	30
Терехов Е. Н.	7	24
Тимонина Н. Н.	4	44
	6	3
Тропников Е. М.	1	4
	4	обл.
	2	30
Турецкая Н. Ю.	9	28
	12	46
Тюкова Е. Э.	12	12
Ульныров И. Л.	7	3
Ульянова А. В.	5	3
Уляшева Н. С.	4	42
Федосюк Г. А.	12	3
Филиппов В. Н.	2	3
	2	30
	4	3
Хазов А. Ф.	2	3
	4	3
Хамдард Н.	2	46
Чертина К. Н.	5	3
Чикишева Т. А.	9	28
	12	46
Чуканов Н. В.	8	35
Шидловская А. В.	8	21
Шмелёва Л. А.	8	3
Шубницына Е. И.	12	обл.
Шуктомов Р. А.	3	обл.
	11	обл.
Шумилова Т. Г.	7	13
Шушков Д. А.	6	32
	3	20
	4	48
	12	36
Щипцов В. В.	10	46
Якупов Р. Р.	9	35

Редакторы издательства:

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

Компьютерная верстка

А. Ю. Перетягина

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 31.01.2025. Формат бумаги 60 × 84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6.5. Тираж 140. Заказ 1231. 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. Юшкina 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. Иевлевой, Н. Сокериной