

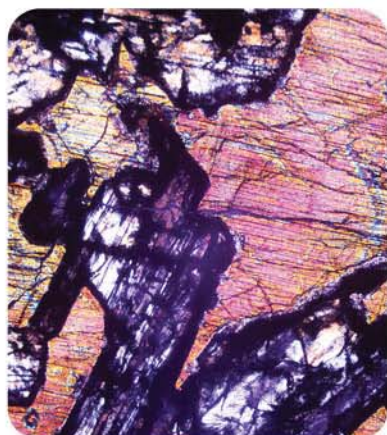


ISSN 2712-7761

№ 6 (354), июнь 2024



Вестник геонаук





Vestnik of Geosciences **Вестник геонаук**

Июнь
June
2024,
№ 6 (354)

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

Chief Editor A. M. Askhabov

Deputy Chief Editor I. N. Burtsev

Deputy Chief Editor O. B. Kotova

Executive Secretary I. V. Kozyreva

Редакционный совет

Л. Н. Андреева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
В. А. Жемчугова, Москва, Россия
А. В. Журавлев, Сыктывкар, Россия
В. А. Каширцев, Новосибирск, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, 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
В. Н. Пучков, Екатеринбург, Россия
Д. Ю. Пушаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сан, Мянъян, Китай
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Владивосток, Россия

Технический редактор Г. Н. Каблис

Заведующий редакцией Т. А. Некучаева

Editorial Board

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

Technical Editor G. N. Kablis

Managing Editor T. A. Nekuchaeva

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

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

Предыдущее название:

Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН

Пятилетний импакт-фактор
РИНЦ журнала (2022) — 0.388



SCIENTIFIC JOURNAL

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

Former title:

Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS

Five-year RSCI
impact factor (2022) — 0.388

geo.komisc.ru/vestnik

Содержание**Content****Научные статьи****Scientific articles**

Нефтегазоносность триасовых отложений арктических районов Тимано-Печорской провинции
Н. Н. Тимонина.....3

Oil and gas potential of the Triassic complex in Timan-Pechora province
N. N. Timonina3

Золотоносность межформационного контакта рифейских и девонских отложений (Цилемское поднятие, Средний Тиман)
А. А. Пархачев, Н. А. Васильченко, К. Г. Пархачева12

Gold mineralization of the interformational contact of Riphean and Devonian deposits (Tsilema uplift, Middle Timan)
A. A. Parkhachev, N. A. Vasilchenko, K. G. Parkhacheva12

Анализ изображений шлифов карбонатных обломочных пород с помощью систем на основе искусственного интеллекта
А. В. Журавлев, Д. А. Груздев28

Image analysis of carbonate clastic rock thin sections using AI systems
A. V. Zhuravlev, D. A. Gruzdev28

Направленные изменения технологических свойств минерального сырья: новые подходы и технологии. К 80-летию со дня рождения Б. А. Осташенко (1944–2008)
О. Б. Котова, Д. А. Шушков, А. В. Понарядов, Л. С. Кочева, И. Н. Размыслов.....32

Targeted modification of the technological properties of mineral raw materials: new approaches and technologies. Commemorating the 80th anniversary of B. A. Ostashchenko (1944–2008)
O. B. Kotova, D. A. Shushkov, A. V. Ponaryadov, L. S. Kocheva, I. N. Razmyslov.....32

Хроника, события, факты. История науки**Chronicle, events, facts. History of Science**

Первая в мире кафедра грунтоведения (к 100-летию ленинградской школы грунтоведения)40

The world's first department of soil studies (dedicated to the 100th anniversary of the Leningrad school of soil studies)40

Новые издания.....44

New publications44

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.84:553.982(470.13)

DOI: 10.19110/geov.2024.6.1

Нефтегазоносность триасовых отложений арктических районов Тимано-Печорской провинции

Н. Н. Тимонина

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

В статье приведены результаты анализа нефтегазоносности триасовых отложений Тимано-Печорской провинции (ТПП), охарактеризованы фильтрационные и емкостные свойства коллекторов, экранирующие способности покрышек, состав и свойства флюидов.

Показано, что нижнетриасовые отложения имеют сложное строение как по вертикали, так и по площади, что обуславливает значительные проблемы при поиске и эксплуатации месторождений. Помимо этого часто встречаются нефти, отличающиеся высокой плотностью и вязкостью. При планировании и проведении геолого-разведочных работ необходимо учитывать особенности строения залежей, приуроченных к данным отложениям.

Ключевые слова: нефтегазоносность, залежи нефти и газа, пористость, проницаемость, физико-химические свойства нефти, Тимано-Печорская провинция

Oil and gas potential of the Triassic complex in Timan-Pechora province

N. N. Timonina

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article presents the results of the analysis of the Triassic oil and gas complex, the main parameters characterizing the reservoir capacity, the screening capacity of the seals, the composition and properties of the fluids.

The relevance of the chosen topic is determined by the fact that at present, the main direction of maintaining and developing oil production in the Timan-Pechora oil and gas province is still the development of new fields and the introduction of oil deposits in already developed areas.

It is shown that the Lower Triassic deposits are characterized by a complex structure both vertically and in area, which causes significant problems in the search for and exploitation of deposits. Oils characterized by high density and viscosity, are also often encountered. When planning and conducting geological exploration, it is necessary to take into account the structural features of the deposits confined to these deposits.

Keywords: oil and gas content, oil and gas deposits, porosity, permeability, physical and chemical properties of oil, Timan-Pechora Province

Введение

Терригенные коллекторы занимают первое место в отношении нефтегазоносности, на их долю приходится 58 % мировых запасов нефти и 77 % газа. В пределах Тимано-Печорской провинции (ТПП) триасовые отложения составляют 30 % от общего заполнения бассейна. Промышленная нефтегазоносность данного комплекса доказана открытием ряда месторождений углеводородов в пределах Шапкина-Юрьянского ва-

ла, Лайского вала, Колвинского мегавала, вала Сорокина (рис. 1). С акваторией Баренцева моря связаны значительные перспективы наращивания сырьевой базы углеводородов (Тимонин, 1998; Ступакова, 2001; Данилевская, 2021 и др.).

Проблемам стратиграфии, литологии, нефтегазоносности триасовых отложений ТПП посвящены работы многих исследователей начиная с 1939 г., среди которых особо следует отметить В. И. Чалышева,

Для цитирования: Тимонина Н. Н. Нефтегазоносность триасовых отложений арктических районов Тимано-Печорской провинции // Вестник геонаук. 2024. 6(354). С. 3–11. DOI: 10.19110/geov.2024.6.1

For citation: Timonina N. N. Oil and gas potential of the Triassic complex in Timan-Pechora oil and gas bearing province. Vestnik of Geosciences, 2024, 6(354), pp. 3–11, doi: 10.19110/geov.2024.6.1

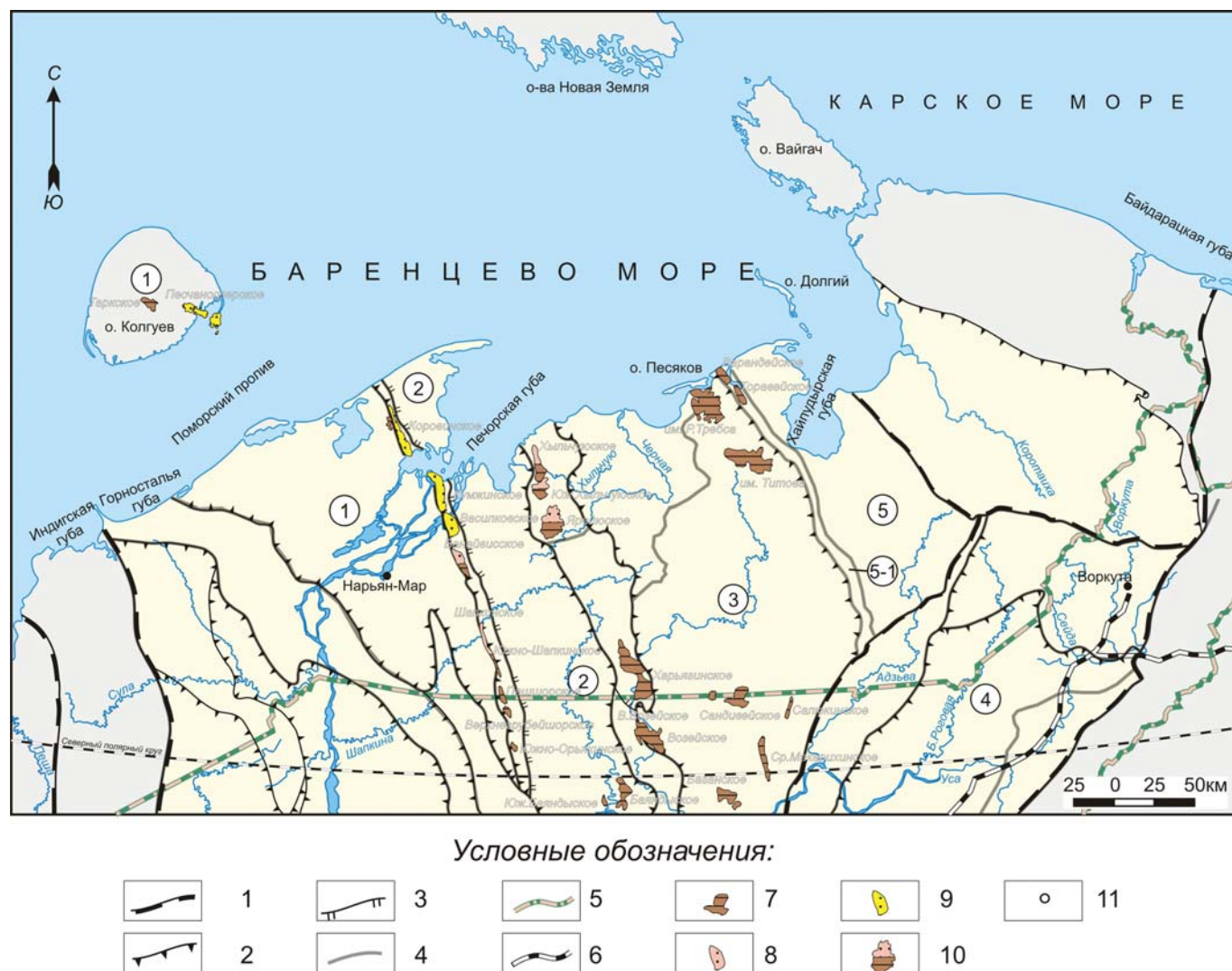


Рис. 1. Схема тектонического и нефтегазгеологического районирования Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (Тимано-Печорский седиментационный бассейн, 2002)

Границы структур: 1 — крупнейших, надпорядковых; 2 — крупных, первого порядка; 3 — средних, второго порядка; 4 — границы нефтегазоносных районов; 5 — административная граница между Республикой Коми и НАО; 6 — железная дорога; 7–10 — месторождения: 7 — нефтяные, 8 — газоконденсатные, 9 — газовые, 10 — нефтегазоконденсатные. Элементы нефтегазгеологического районирования: 1 — Малоземельско-Колгуевская НГО, 2 — Печоро-Колвинская НГО, 3 — Хорейверская НГО, 4 — Косью-Роговская НГО, 5 — Варандей-Адзвинская НГО, 5-1 — вал Сорокина

Fig. 1. Scheme of tectonic and oil and gas geological zoning of the Timan-Pechora oil and gas bearing province (Timan-Pechora sedimentation basin, 2002)

Boundaries of structures: 1 — largest, supra-order; 2 — large, first order; 3 — medium, second order; 4 — borders of oil and gas regions; 5 — administrative border (The Komi Republic and Nenets Okrug); 6 — railway; 7–10 — fields: 7 — oil, 8 — condensate, 9 — gas, 10 — oil, gas and condensate. Elements of oil and gas geological zoning: 1 — Malozemel'sko-Kolguevskaya OGO, 2 — Pechoro-Kolvinskaya OGO, 3 — Khoreyverskaya OGO, 4 — Kosyu-Rogovskaya OGO, 5 — Varandey-Adzvinskaya OGO, 5-1 — Sorokin swell

Л. М. Варюхину (1960), Л. Л. Хайцера (1962), Ф. И. Енцову (1966), И. С. Муравьева (1966), И. З. Калантар (1988), С. Д. Танасову (1988), Е. Д. Мораховскую (2000), Л. А. Удовиченко (1986), А. И. Киричкову (2013), А. В. Ступакову (2001) и др.

В последние годы активизировались исследования в области условий образования природных резервуаров. Основой для седиментологических реконструкций служат представления о том, что морфология и фильтрационно-емкостные характеристики природных резервуаров в значительной степени предопределены древними обстановками осадконакопления, тесно связанными с тектоническим планом территории.

Цель наших исследований заключалась в анализе нефтегазоносности триасового комплекса Тимано-Печорской провинции, оценке основных параметров, характеризующих емкостные свойства коллекторов, экранирующие способности покрышек, состав и свойства флюидов.

Триасовые отложения относятся к пермско-триасовому нефтегазоносному комплексу, ограниченному снизу нижнепермской региональной покрышкой, а сверху — среднеюрской. Породы данного комплекса составляют 30 % от общего заполнения седиментационного бассейна (Научные..., 1987), к ним приурочен целый ряд нефтегазоносных месторождений.



Коровинское газоконденсатное месторождение находится в северной части Шапкина-Юрьяхинского вала. Залежь приурочена к песчаникам чаркабужской свиты. Плотность газа составляет 0.732, содержание метана — 90 %, количество тяжелых углеводородов не превышает 2.3 %, азота — 6.78 %, гелия — 0.044 %. Продуктивны также и верхнепермские песчаники, и нижнепермские карбонатные породы (рис. 2)

В пределах Василковского газового месторождения залежь приурочена к песчаникам нижнего триаса. Плотность газа — 0.621, содержание метана составляет 92.8 %, содержание тяжелых углеводородов 2.42 %, азота — 4.13 %. Помимо этого выявлены также залежи газа в песчаниках верхней перми и карбонатах нижней перми и карбона.

На Шапкинском месторождении обнаружена газовая залежь в песчаниках нижнего триаса. Небольших размеров, структурно-литологическая. Плотность газа — 0.647, содержание метана в нем составляет 88.55 %, его гомологов — 4.2 %, азота — 6.83 %, гелия — 0.04 %. Продуктивными являются также верхнепермские песчаники и пермокарбонатные известняки.

На Южно-Шапкинском газоконденсатно-нефтяном месторождении продуктивны песчаники шапкинской свиты. Газ относится к азотно-метановому типу, содержание метана достигает 91.66 %, его гомологов — 1.48 %, гелия — 0.045 %. Выявлены также залежи газа в песчаниках кунгурского яруса, артинских карбонатах. Нефтегазоконденсатная залежь массивного сводового типа приурочена к карбонатным отложениям ассельского и сакмарского ярусов. Залежь нефти пластового сводового типа приурочена к нижней части ассельского яруса.

На Средне-Серчейюском куполе газовая залежь приурочена к нижнетриасовым песчаникам. Плотность газа — 0.621, содержание тяжелых углеводородов не превышает 2.42 %, азота — 8.91 %.

В пределах Колвинского мегавала выявлено несколько нефтяных месторождений в триасовых отложениях: Хыльчюское, Ярейюское, Харьягинское (рис. 3). На Хыльчюском месторождении обнаружена залежь нефти, приуроченная к песчаникам нижнего триаса руслового генезиса. Залежь относится к литологически экранированным, невыдержанным по площади. Плотность нефти — 0.837 г/см³, содержание серы достигает 0.32 %, парафина — 1.44 %, смол и асфальтенов — 8.38 %. (Природные..., 2011).

Свойства нефти пласта Т₁-I изучены по устьевым пробам, отобранным из пяти скважин. Нефть характеризуется средней плотностью (0.840 г/см³), относится к группе маловязких (7.28—10.66 мПа·с), к классу малосернистых (0.30—0.41 % вес.), парафиновых (1.0—3.49 % вес.), малосмолистых (1.64—3.53 % вес.), отличается малым содержанием асфальтенов (сл. — 0.40 % вес.). Газ, растворенный в нефти, сухой (C₁ + C₂ = 92.45 % об.), содержание гелия ниже кондиционных значений (0.009 % об.), сероводород отсутствует. Содержание этана не превышает кондиционное значение и равно 1.71 % об.

Свойства нефти газонефтяной залежи пласта Т₁-II изучены по результатам исследования одной глубинной и двух устьевых проб. В пластовых условиях нефть, по данным однократного разгазирования глубинной пробы, недонасыщена газом (давление насыщения 15 МПа). Газосодержание нефти — 85.1 м³/т, вязкость — 2.6 мПа·с, плотность — 0.786 г/см³. В стандартных ус-

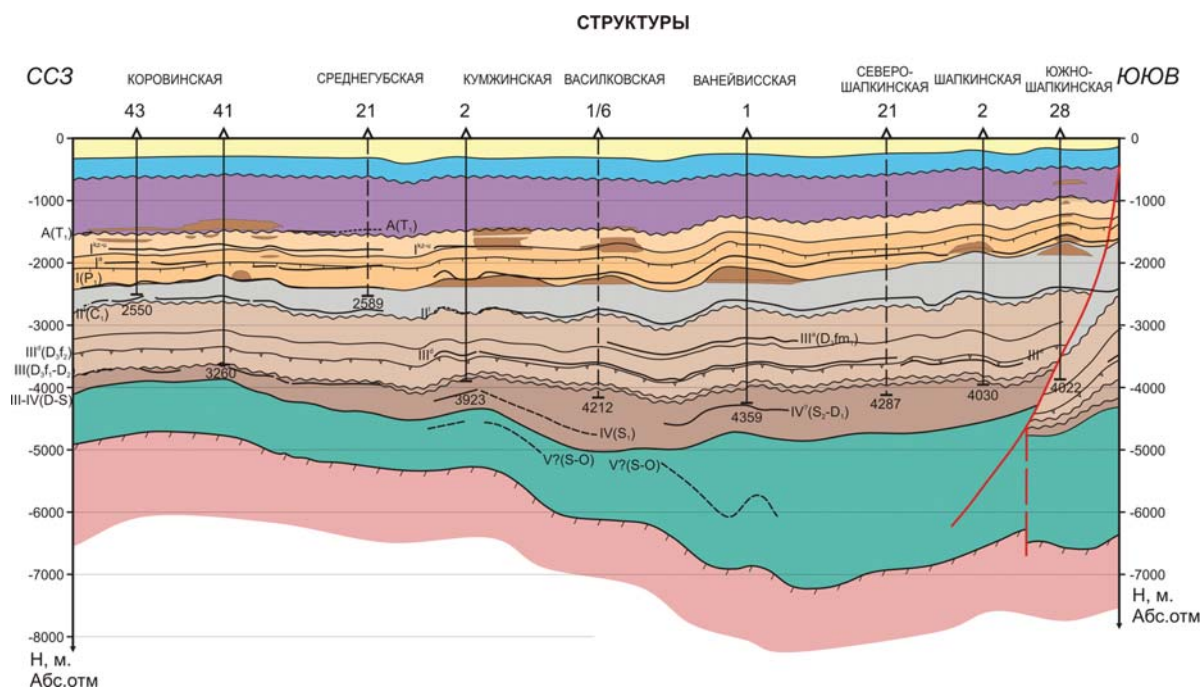


Рис. 2. Геологический разрез вдоль Шапкина-Юрьяхинского вала:

1 — границы стратиграфических комплексов, 2 — поверхности несогласий, 3 — разрывные нарушения, 4 — скважины, 5 — месторождения нефти и газа (Тимано-Печорский..., 2002)

Fig. 2. Geological cross-section along the Shapkin-Yuryakhinsky swell:

1 — boundaries of stratigraphic complexes, 2 — unconformity surfaces, 3 — faults, 4 — wells, 5 — oil and gas fields (Timan-Pechora..., 2002)

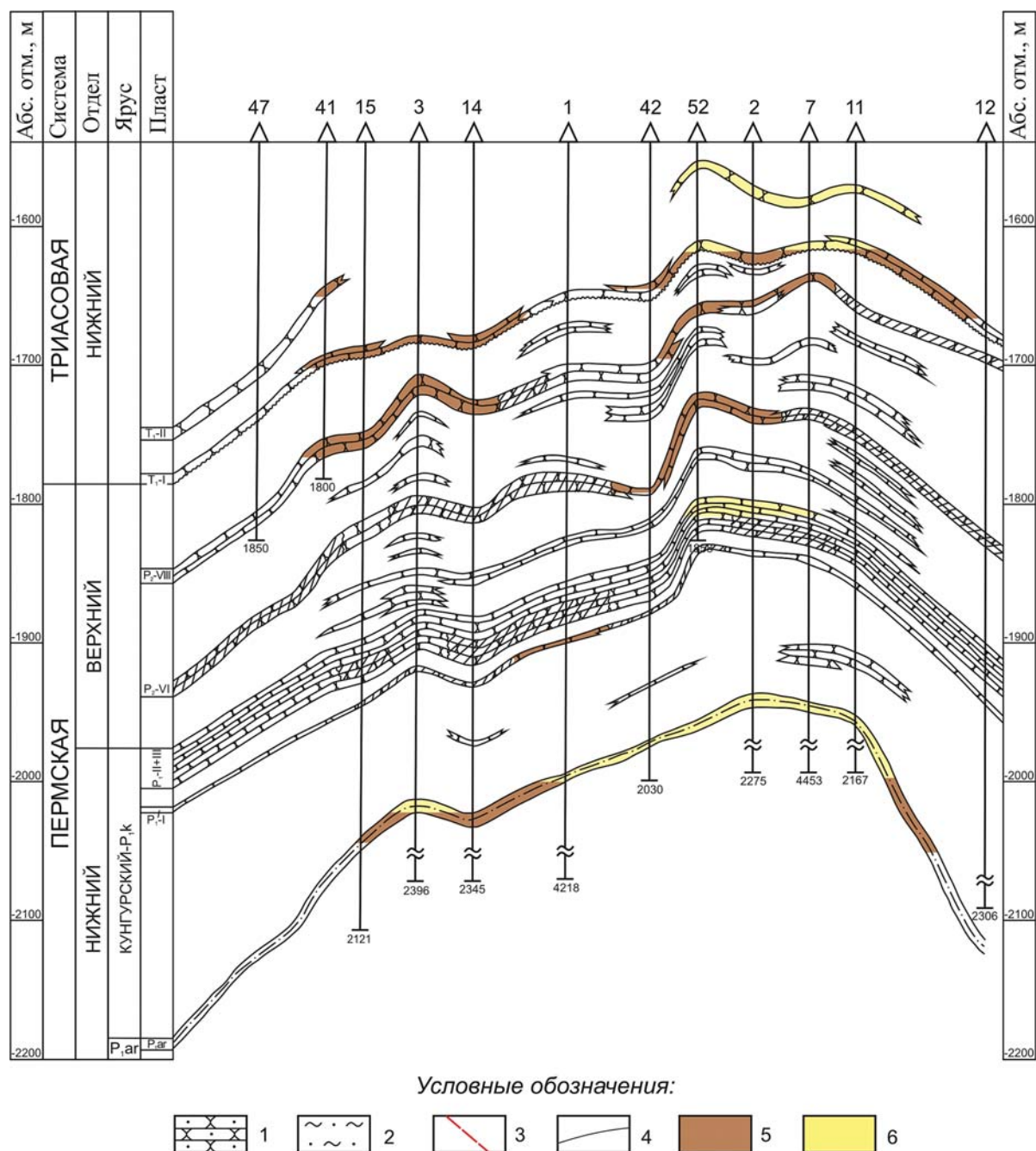


Рис. 3. Нефтегеологический разрез Хыльчюуского месторождения:

1 — песчаники, 2 — алевролиты и аргиллиты, 3 — тектонические нарушения, 4 — границы пластов, 5 — нефть, 6 — газ (Природные..., 2011)

Fig. 3. Oil and gas section of the Khylychuskiy field:

1 — sandstones, 2 — siltstones and mudstones, 3 — tectonic faults, 4 — boundaries, 5 — oil, 6 — gas (Natural ..., 2011)

ловиях нефть характеризуется средним значением плотности (0.836 г/см^3), относится к группе маловязких ($7.52\text{--}8.35 \text{ мПа}\cdot\text{с}$), смолистых ($4.73\text{--}10.12 \text{ \%}$ вес.), малосернистых ($0.31\text{--}0.33 \text{ \%}$ вес.), малопарафинистых ($0.81\text{--}1.11 \text{ \%}$ вес.). Содержание асфальтенов — $0.55\text{--}2.32 \text{ \%}$ вес., бензино-лигроиновых фракций — $72.55\text{--}77.64 \text{ \%}$ вес. Нефть имеет низкую температуру застывания — минус $32 \text{ }^\circ\text{C}$. Газ, растворенный в пластовой нефти, сухой ($C_1 + C_2 = 84.724 \text{ \%}$ об.), сероводород отсутствует. Среднее содержание этана ($2.67 \text{ \%}$ об.) не превышает кондиционное значение.

Свободный газ залежи изучен при анализе двух проб, отобранных на устье из скв. 49. Газ пласта $T_1\text{-II}$ по сравнению с базальным более легкий (0.754 г/см^3), содержит больший процент метана ($90.36 \text{ \%}$ об.). Сероводород в пробах отсутствует. Содержание этана не превышает кондиционных значений.

На Хыльчюуском месторождении залежь нефти приурочена к нижнетриасовым отложениям аллювиального происхождения. Залежь, относящаяся к базальному пласту песчаников, имеет максимальное распространение, что можно объяснить формированием



песчаников в обстановке ветвящихся потоков. Плотность нефти из этого пласта — 0.839 г/см^3 , содержание парафина — 7.6 %, содержание серы — 0.57 %. Залежь нефти, приуроченная ко второму пласту, имеет ограниченное распространение и относится к литологически экранированным. Плотность нефти из этой залежи составляет 0.839 г/см^3 , содержание парафина — 13.79 %, серы — 0.44 %.

В пределах вала Сорокина находится Северо-Сорокинское месторождение тяжелой нефти, объединяющее несколько месторождений: Варандейское, Торавейское, Южно-Торавейское, Наульское, Лабаганское (рис. 4).

На Варандейском месторождении выявлена многопластовая залежь нефти в песчаниках нижнего триаса (рис. 5). Плотность нефти из базального пласта — 0.902 г/см^3 , содержание серы составляет 1.8 %, парафина — 0.72 %, смол и асфальтенов — 12.27 %. Плотность нефти из второго пласта достигает 0.902 %, содержание серы — 2.16 %, парафина — 0.72 %, смол и асфальтенов — 13.75 % (Крайнева, 2013).

Третий пласт приурочен к базальным песчаникам харалейской свиты, к этому песчаному пласту приурочена единая для всей северной части вала Сорокина залежь тяжелой, высоковязкой нефти. Песчаники серые, серо-зеленые, бурые при нефтенасыщении, полимиктовые, разнозернистые, часто мелко- и среднезернистые, от рыхлых до крепких, сцементированных глинистым или карбонатным цементом, часто косослоистые (от 5° до 30°), слюдистые. Песчано-алевролитовые обломки сильно изменены процессами выщелачивания. Зерна кварца слабокорродированы, зерна полевых шпатов сильно изменены, зерна эффузивных обломков изменены очень сильно. Плотность нефти достигает 0.961 г/см^3 , со-

держание серы — 2.7 %, парафина — 0.93 % (Крайнева, 2013).

На Торавейском месторождении выявлено три залежи нефти в песчаниках нижнего триаса и одна — в среднем триаса. Нефти тяжелые, плотность их варьирует от 0.88 до 0.987 г/см^3 , содержание серы не превышает 2.07 %, парафина — 0.53–1.63 %, смол и асфальтенов — 14.5–22.1 %. (Губайдуллин, 2016).

На Южно-Торавейском месторождении нефтяные залежи также приурочены к песчаным пластам нижнего и среднего триаса. Плотность нефти достигает 0.967 г/см^3 , содержание серы не превышает 2.53 %, парафина — 0.9 %.

На Наульском месторождении также выявлено четыре залежи, приуроченные к песчаникам нижнего и среднего триаса. Плотность нефти из базального пласта — 0.994 г/см^3 , содержание серы не превышает 3.41 %, парафина — 0.3 %, смол и асфальтенов — 2.3 %. Плотность нефти из пласта песчаников ангуранской свиты достигает 0.974 г/см^3 , содержание серы не превышает 2.78 %, парафина — 0.61 %, смол и асфальтенов — 20 %. На этом месторождении залежи нефти обнаружены также в карбонатных отложениях нижнего девона, карбона, нижней перми, а также терригенных отложениях визейского возраста.

На Лабаганском месторождении залежи нефти выявлены в песчаниках нижнего триаса. Плотность нефти из базального пласта достигает 0.951 г/см^3 , содержание серы не превышает 2.61 %, парафина — 1.2 %, смол и асфальтенов — 20 %. Вверх по разрезу увеличивается плотность нефти до 0.977 г/см^3 , содержание серы не превышает 2.61 %, парафина — 0.17 %, смол и асфальтенов — 19.66. Выявлены также залежи нефти в карбонатных отложениях раннего и позднего девона, раннего карбона и перми (Крайнева, 2013).

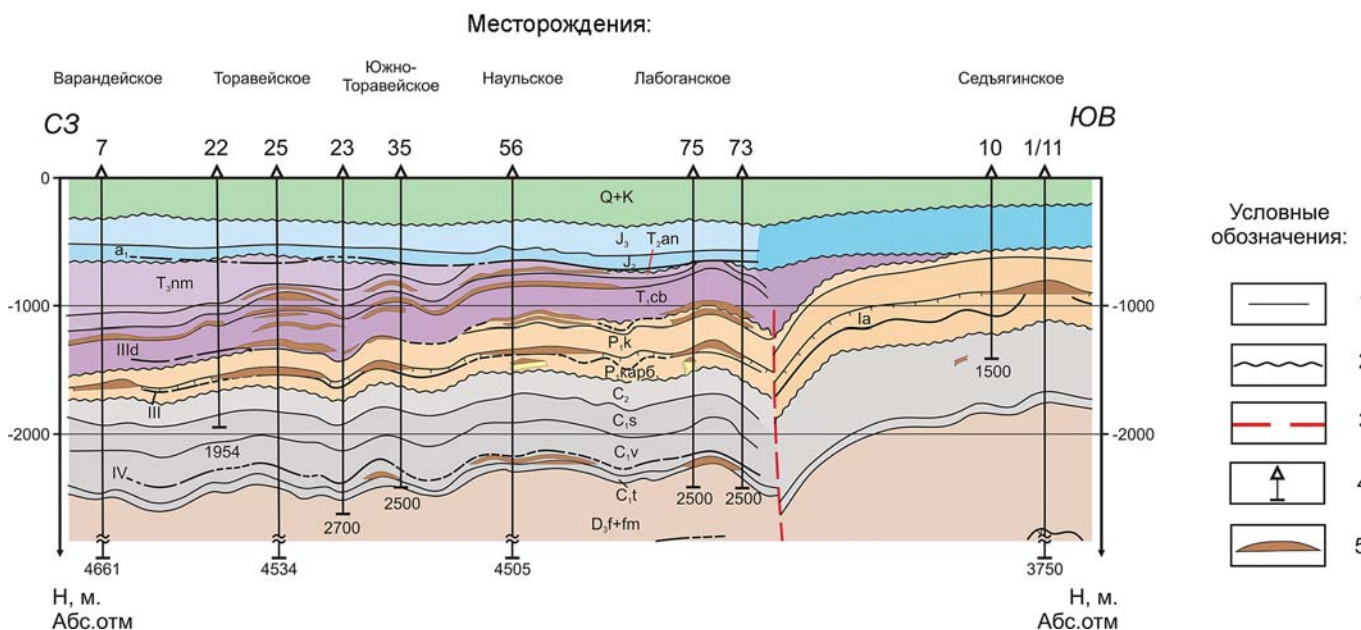


Рис. 4. Геологический разрез вдоль вала Сорокина:

1 — границы стратиграфических комплексов, 2 — поверхности несогласий, 3 — разрывные нарушения, 4 — скважины, 5 — месторождения нефти и газа (Тимано-Печорский..., 2002)

Fig. 4. Geological cross-section along the Sorokin swell:

1 — boundaries of stratigraphic complexes, 2 — unconformity surfaces, 3 — faults, 4 — wells, 5 — oil and gas fields (Timan-Pechora..., 2002)

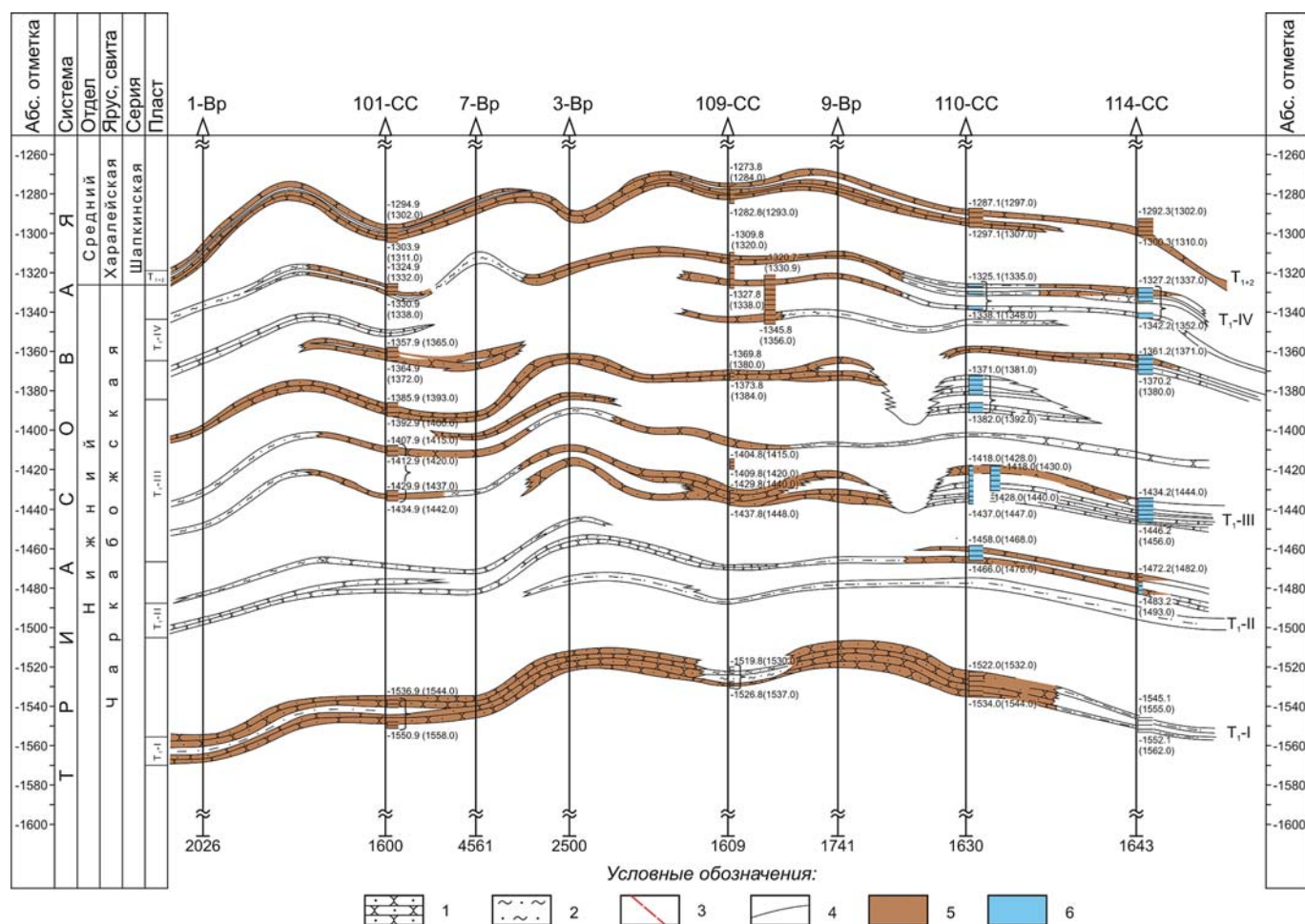


Рис. 5. Нефтегеологический разрез Варандейского месторождения:

1 — песчаники, 2 — алевролиты и аргиллиты, 3 — тектонические нарушения, 4 — границы пластов, 5 — нефть, 6 — вода (Шеин, 2012)

Fig. 5. Oil and gas section of the Varandey field:

1 — sandstones, 2 — siltstones and mudstones, 3 — tectonic faults, 4 — boundaries, 5 — oil, 6 — water (According to Shein, 2012)

Триасовые отложения регионально нефтегазоносны на Баренцевоморском шельфе: на Штокмановской, Северо-Кильдинской, Мурманской, Песчаноозерской площадях получены промышленные притоки углеводородов. (Ступакова, 2001; Супруненко, 2005).

Песчаноозерское нефтегазоконденсатное месторождение расположено на восточной окраине острова Колгуев. В нижнетриасовых отложениях выявлены три залежи, основные запасы углеводородов приурочены к продуктивному горизонту Т₁-В. Плотность газа достигает 0.71 г/см³, содержание тяжелых углеводородов достигает 11.41 %, азота — 3.38 %. По комплексу литологических и минералогических признаков генезис песчаников, в которых выявлена эта залежь, определяется как дельтовый (Киричкова, 2013).

На Таркском месторождении (о. Колгуев) выявлено две залежи нефти в песчаниках нижнего триаса. Плотность нефти — 0.817 г/см³, содержание серы не превышает 0.11 %, парафина — 8.97 %, смол и асфальтенов — 3.59 %.

В терригенных отложениях триаса установлена залежь газа на Северо-Кильдинском месторождении, которое расположено на западном борту Южно-Баренцевской впадины. Открытая пористость в песчаниках

варьирует от 11 до 21 %. Газ сухой, азотно-метановый, бессернистый, плотность газа по воздуху 0.559, содержание тяжелых углеводородов — 0.29 %, азота — 0.68 %. (Ступакова, 2001).

Мурманское газовое месторождение приурочено к структурному поднятию на южном борту Южно-Баренцевской впадины. Выявлено около 20 продуктивных пластов песчаников раннесреднетриасового возраста мощностью 1—20 м. Плотность газа не превышает 0.57 г/см³, содержание тяжелых углеводородов — 1.21 %, азота — 2.17 % (Данилевская, 2021).

По данным ряда исследователей (Анищенко, Аминов, 1994; Данилевский и др., 2003), условия нефтегазогенерации в триасовых отложениях материковой части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции следует рассматривать как малоблагоприятные. Интенсивная генерация углеводородов в нижнепермско-триасовом комплексе протекала на территории Предуральяского краевого прогиба. Значительные скорости седиментации и большие мощности терригенных отложений способствовали сохранению газов ранней генерации. Угольные месторождения также могли служить дополнительным источником поступления метановых газов. Дальняя латеральная миграция углево-



дорогов из зон их интенсивной генерации была возможна лишь из Большесынинской и Верхнепечорской впадин. В пределах Печоро-Колвинского авлакогена, Хорейверской впадины, Варандей-Адзвинской структурной зоны могло происходить слабое газообразование.

По нашему мнению, источником углеводородов для триасовых месторождений послужили нижележащие залежи, подвергшиеся разрушению в результате структуроформирующих движений: на рубеже перми и триаса активизировались древние и образовались новые разрывные нарушения. По ним поступали углеводороды в триасовые ловушки из нижних горизонтов. Поэтому условия нефтегазонакопления характеризуются строением резервуаров и качеством покрышек. Аккумуляцию и консервацию залежей углеводородов определяют зональные покрышки нижнетриасового и среднетриасового возраста, а также региональная верхнеюрская. Наиболее благоприятные условия для изоляции триасовых отложений сложились в северной части Денисовского прогиба, Колвинского мегавала, Хорейверской впадины и вала Сорокина (Природные..., 2011).

Флюидоупоры сложены преимущественно аргиллитами и глинистыми алевролитами, мелкозернистые песчаники играют подчиненную роль, их содержание в разрезе редко превышает 10 %. Они могут оказывать негативное влияние на экранирующие свойства отложений в случае сокращенной мощности и при условии суммарной мощности аргиллитов менее 5 м. В мелкозернистых отложениях содержание смектита довольно велико, он практически заполняет все поровое пространство, делая его практически непроницаемым. Вследствие высокой поглощающей способности этот минерал может значительно разбухать при насыщении водой или органическим наполнителем. В этих случаях глинистые прослои, состоящие преимущественно из смектита, становятся непроницаемыми. При обработке их однонормальным раствором КОН в структуре появляются неразбухающие слои, при этом возникают неупорядоченные смектит-гидрослюдистые смешаннослойные образования.

Наиболее высокими экранирующими свойствами характеризуется флюидоупор над первым (базальным) пластом песчаников, т. к. ему свойственны максимальные мощности, высокое содержание прослоев аргиллитов, в составе которых преобладают разбухающие минералы группы смектита.

При подборе методов, направленных на увеличение нефтеотдачи, следует учитывать особенности минерального состава межпластовых глинистых флюидоупоров, а также внутрипластовых прослоев глин. При закачивании в пласт горячей воды минералы группы смектита могут разбухать, препятствуя прохождению флюида по этому пласту.

Распространение коллекторов по площади и в разрезе очень неравномерное. Мощные толщ коллекторов распространены в зоне развития конусов выноса на юге Хорейверской впадины и в области распространения ветвящихся потоков юга Колвинского мегавала. Однако в этой зоне не получили развития надежные покрышки раннетриасового возраста. Как показывают проведенные исследования, для севера Хорейверской впадины нехарактерно развитие мощных коллектор-

ских толщ. Песчаные пласты маломощны и характеризуются мелкозернистой структурой, что вполне закономерно, поскольку их формирование происходило в руслах малых рек. В юго-восточном направлении происходит увеличение мощности песчаных пластов, а также зернистости, однако в этом же направлении происходит снижение качества нижнетриасовой покрышки. Наиболее благоприятные условия для аккумуляции и консервации залежей углеводородов в нижнетриасовых отложениях существовали в зоне развития песчаных пластов, образовавшихся в руслах ветвящихся потоков и меандрирующих рек, перекрываемых глинисто-алевритовыми осадками, сформировавшимися в пойменных условиях. Благоприятные условия сложились в зоне распространения отложений в долинах интенсивно меандрирующих рек, где формировались песчаные пласты и покрышки хорошего качества, способные удерживать залежи углеводородов. Малоблагоприятными условиями для нефтегазонакоплений характеризуется Хорейверская впадина, юг Колвинского мегавала и Денисовской впадины.

Заключение

Анализ нефтегазоносности триасовых отложений показывает, что залежи нефти и газа могут быть отнесены к пластовым, литологически и стратиграфически экранированным. Первые связаны с осадками ветвящихся потоков, вторые — с отложениями меандрирующих рек и внерусловыми образованиями, наконец, последние — с зонами развития предтриасового и предсреднеюрского размылов.

Принимая во внимание общие закономерности развития и распространения континентальных отложений в целом и аллювиальных в частности, можно предположить, что на Баренцевоморском шельфе месторождения углеводородов в нижнетриасовых отложениях приурочены к песчаным пластам дельтового и прибрежно-морского генезиса.

При поисковых и разведочных работах на нефть и газ в триасовых отложениях Тимано-Печорской провинции необходимо учитывать сложное строение резервуаров, их невыдержанность по площади и разрезу.

В ходе эксплуатации залежей следует помнить о широком распространении глинистых минералов в составе осадков пойменного генезиса. Разбухая при насыщении водой, они препятствуют фильтрации флюида, тем самым снижая нефтеотдачу пласта. Широкое развитие каолинита в составе цемента песчаников приводит к снижению электрического сопротивления вследствие высокой остаточной водонасыщенности.

Условия осадконакопления в триасовое время определили сложную морфологию и внутреннее строение песчаных тел, в связи с чем актуальна разработка геологических моделей строения природных резервуаров.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания по теме «Геолого-геохимические закономерности образования и размещения углеводородных систем, научные основы формирования сырьевой базы углеводородного сырья в Тимано-Печорской нефтегазонасыщенной провинции», 122040600010-8; FUUU-2022-0057.

Литература / References

- Анищенко Л. А., Аминов Л. З., Дедеев В. А. Геология природных углеводородов Европейского Севера России. Сыктывкар, 1994. 179 с.
- Anishchenko L. A., Aminov L. Z., Dedeev V. A. Geology of natural hydrocarbons of the European North of Russia. Syktyvkar, 1994, 179 p. (in Russian)
- Губайдуллин М. Г., Крайнева О. В. Методика экспертной оценки загрязнения геологической среды при нефтяных разливах (на примере прибрежной зоны Баренцева моря) // Вестник САФУ. 2016. № 2. С. 5—15.
- Gubaidullin M. G., Kraineva O. V. Methodology for expert assessment of contamination of the geological environment during oil spills (using the example of the coastal zone of the Barents Sea). Vestnik NarFU, 2016, No. 2, pp. 5—15. (in Russian)
- Данилевский С. А., Склярова З. П., Трифачев Ю. М. Геофлюидальные системы Тимано-Печорской провинции. Ухта, 2003. 298 с.
- Danilevsky S. A., Sklyarova Z. P., Trifachev Yu. M. Geofluid systems of the Timan-Pechora province. Ukhta, 2003, 298 p. (in Russian)
- Данилевская Н. С., Склярова З. П. К вопросу о факторах, определяющих состав пластовых систем Баренцева моря // Вести газовой науки. 2021. № 1 (46). С. 106—118.
- Danilevskaya N. S., Sklyarova Z. P. On the issue of factors determining the composition of reservoir systems in the Barents Sea. Vesti gazovoy nauki, 2021, No. 1 (46), pp. 106—118. (in Russian)
- Енцова Ф. И., Калантар И. З. Триасовые отложения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Материалы по геологии востока Русской платформы. Казань: Изд-во Казанского университета, 1966. С. 138—189.
- Entsova F. I., Kalantar I. Z. Triassic deposits of the Timan-Pechora oil and gas province. Materials on the geology of the eastern Russian platform. Kazan: Kazan University Publishing House, 1966, pp. 138—189. (in Russian)
- Калантар И. З., Танасова С. Д. Фациальные критерии при стратификации континентальных отложений триаса // Стратиграфия и литология нефтегазоносных отложений Тимано-Печорской провинции. Л: Недра, 1988. С. 127—134.
- Kalantar I. Z., Tanasova S. D. Facies criteria for the stratification of continental deposits of the Triassic. Stratigraphy and lithology of oil and gas deposits of the Timan-Pechora province. Leningrad: Nedra, 1988, pp. 127—134. (in Russian)
- Киричкова А. И. Стратотипические и опорные разрезы нижнего триаса Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: литология, фациальные особенности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 4. http://www.ngtp.ru/rub/2/45_2013.pdf
- Kirichkova A. I. Stratotype and reference sections of the Lower Triassic Timan-Pechora oil and gas province: lithology, facies features. Oil and Gas Geology. Theory and practice, 2013, V. 8, No. 4. http://www.ngtp.ru/rub/2/45_2013.pdf (in Russian)
- Крайнева О. В., Губайдуллин М. Г. Геолого-физическая характеристика продуктивных пластов Варандейского месторождения и оценка потенциальной экологической опасности сырой нефти // Вестник САФУ. 2013. № 3. С. 14—23.
- Kraineva O. V., Gubaidullin M. G. Geological and physical characteristics of productive strata of the Varandey field and assessment of the potential environmental hazard of crude oil. Vestnik NarFU, 2013, No. 3, pp. 14—23. (in Russian)
- Моракховская Е. Д. Триасовые литостратоны Тимано-Уральского региона, их взаимоотношения и территориальная приуроченность // Вопросы совершенствования стратиграфической основы фанерозойских отложений нефтегазоносных регионов России. СПб.: Изд-во ВНИГРИ, 1997. С. 34—49.
- Morakhovskaya E. D. Triassic lithostratons of the Timan-Ural region, their relationships and territorial occurrence. Problems of improving the stratigraphic basis of Phanerozoic deposits of oil and gas regions of Russia. St. Petersburg: VNIGRI, 1997, pp. 34—49. (in Russian)
- Моракховская Е. Д. Триас Тимано-Уральского региона (опорные разрезы, стратиграфия, корреляция) // Биохронология и корреляция фанерозоя нефтегазоносных бассейнов России. СПб.: ВНИГРИ, 2000. Вып. 1. 80 с.
- Morakhovskaya E. D. Triassic of the Timan-Ural region (reference sections, stratigraphy, correlation). Biochronology and correlation of the Phanerozoic oil and gas basins of Russia. St. Petersburg: VNIGRI, 2000, 1, 80 p. (in Russian)
- Муравьев И. С. Триас Печорского Приуралья // Материалы по геологии востока Русской платформы. Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1966. С. 3—37.
- Muravyov I. S. Triassic of the Pechora Cis-Urals. Materials on the geology of the eastern Russian Platform. Kazan: Kazan University Publishing House, 1966, pp. 3—37. (in Russian)
- Природные резервуары нефтегазоносных комплексов Тимано-Печорской провинции / Е. Л. Теплов, З. В. Ларионова, И. Ю. Беда, Е. Г. Довжикова, Т. И. Куранова, Н. И. Никонов, Е. Л. Петренко, Г. А. Шабанова // ГУП РК ТП НИЦ. СПб.: Реноме, 2011. 286 с.
- Natural reservoirs of oil and gas complexes of the Timan-Pechora province. E. L. Teplov, Z. V. Larionova, I. Yu. Beda, E. G. Dovzhikova, T. I. Kuranova, N. I. Nikonov, E. L. Petrenko, G. A. Shabanova. State Unitary Enterprise of the Republic of Kazakhstan TP Scientific Research Center. St. Petersburg: Renome, 2011, 286 p. (in Russian)
- Ступакова А. В., Кирюхина Т. А. Нефтегазоносность Баренцевоморского шельфа // Геология, методы поисков, разведки и оценки месторождений топливно-энергетического сырья. М.: Геоинформмарк, 2001. Вып. 6. 62 с.
- Stupakova A. B., Kiryukhina T. A. Oil and gas potential of the Barents Sea shelf. Geology, methods of prospecting, exploration and assessment of deposits of fuel and energy raw materials. Moscow: Geoinformmark, 2001, 6, 62 p. (in Russian)
- Супруненко О. И., Вискунова К. Г., Суслова В. В. Основные результаты уточнения количественной оценки углеводородного потенциала Западно-Арктического шельфа России // Разведка и охрана недр. 2005. № 6. С. 10—13.
- Suprunenko O. I., Viskunova K. G., Suslova V. V. Main results of refining the quantitative assessment of the hydrocarbon potential of the Western Arctic shelf of Russia. Exploration and protection of subsurface resources, 2005, No. 6, pp. 10—13. (in Russian)



- Тимано-Печорский седиментационный бассейн: Атлас геологических карт / З. В. Ларионова, В. И. Богацкий, Е. Г. Довжикова и др. Ухта: Изд-во ТП НИЦ, 2002. 59 с.
Timano-Pechora sedimentation basin. Atlas of geological maps. Z. V. Lprisonov, V. I. Bogatsky, E. G. Dovzhikov et al. Ukhta: TP SRC, 2002, 59 p. (in Russian)
- Тимонин Н. И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 240 с.
Timonin N. I. Pechora plate: history of geological development in the Phanerozoic. Yekaterinburg, UB RAS, 1998, 240 p. (in Russian)
- Удовиченко Л. А. Структурно-вещественные комплексы и перспективы нефтегазоносности нижнего триаса Тимано-Печорской провинции // Закономерности размещения зон нефтегазоаккумуляции в Тимано-Печорской провинции. Л.: ВНИГРИ, 1986. С. 66—73.
Udovichenko L. A. Structural and material complexes and oil and gas prospects of the Lower Triassic of the Timan-Pechora province. Patterns of location of oil and gas accumulation zones in the Timan-Pechora province. Leningrad: VNIGRI, 1986, pp. 66—73. (in Russian)
- Хайцер Л. Л. Новые данные по перми и триасу р. Адзвы (северная часть гряды Чернышева) // Бюлл. МОИП. 1962. Отд. геол. № 1. С. 57—70.
Haytser L. L. New data on the Permian and Triassic of the river. Adzvy (northern part of the Chernyshev ridge). Bull. MOIP, 1962, Dept. Geol, No. 1, pp. 57—70. (in Russian)
- Чалышев В. И., Варюхина Л. М. Стратиграфия и спорово-пыльцевые комплексы верхнепермских и триасовых отложений Печорского Урала и гряды Чернышева // Геология и полезные ископаемые Северного Урала и Тимана. Сыктывкар, 1960. С. 49—58.
Chalyshev V. I., Varyukhina L. M. Stratigraphy and spore-pollen complexes of the Upper Permian and Triassic deposits of the Pechora Urals and the Chernyshev ridge. Geology and minerals of the Northern Urals and Timan. Syktyvkar, 1960, pp. 49—58. (in Russian)
- Шейн В. С. Геология и нефтегазоносность России. М.: ВНИГНИ. 2012. 848 с.
Shein V. S. Geology and oil and gas potential of Russia. Moscow: VNIGNI, 2012, 848 p. (in Russian)

Поступила в редакцию / Received 24.05.2024



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 549.2:[553.086:553.3.071](234.83)

DOI: 10.19110/geov.2024.6.2

Золотоносность межформационного контакта рифейских и девонских отложений (Цилемское поднятие, Средний Тиман)

А. А. Пархачев^{1,2}, Н. А. Васильченко¹, К. Г. Пархачева²¹Институт Карпинского, Сыктывкар, Andrey_Parkhachev@vsegei.ru²Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

В статье приводятся результаты изучения самородного золота и минерального состава тяжелой фракции проб из зоны межформационного контакта среднедевонских и среднерифейских отложений, вскрытой канавой в верховьях ручья Волчий (приток р. Цильмы). В тяжелой фракции преобладают титановые и редкоземельные минералы. Самородное золото мелкое (0.25–1.0 мм), с рудным обликом, низкой степенью окатанности и разнообразными формами. В золоте содержание Ag составляет до 10.3 мас. %. Пробность – 899–1000 ‰. Внутреннее строение золота неоднородное и характеризуется зернистой блочно-мозаичной структурой. В золоте установлены включения пирротина, пирита, галенита и арсенопирита. Включение пирита в золоте по составу аналогично включению пирита в кварце. Золото отмечается в сростании с кварцем, реже мусковитом. Впервые на Среднем Тимане установлено сростание золота с рутилом. Рутил имеет примеси V, Nb, Fe. Предполагается, что коренными источниками изученного золота являются зоны развития золото-кварц-сульфидной вкрапленной минерализации, локализованные в рифейских сланцевых толщах, и секущие их кварцевые жилы. Характер отложений, их минеральный состав, морфология и состав золота исследуемого межформационного контакта имеет сходство с комплексной алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-титановой палеороссыпью Ичетью, что позволяет прогнозировать присутствие подобных рудных объектов в пределах не только Цилемского поднятия, но и всего Тимана.

Ключевые слова: самородное золото, кора выветривания, девонские конгломераты, редкоземельные минералы

Gold mineralization of the interformational contact of Riphean and Devonian deposits (Tsilema uplift, Middle Timan)

A. A. Parkhachev^{1,2}, N. A. Vasilchenko¹, K. G. Parkhacheva²¹ Karpinsky Institute, Syktyvkar² Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article presents the results of studying native gold and the mineral composition of the heavy fraction of samples from the zone of interformational contact of the Middle Devonian and Middle Riphean deposits, opened by a ditch in the upper reaches of the Volchii Creek (a tributary of the Tsilma River). Titanium and rare earth minerals predominate in the heavy fraction. Native gold is small (0.25–1.0 mm), with an ore appearance, a low degree of roundness and various forms. The Ag content in gold is up to 10.3 wt. %. Fineness is 899–1000 ‰. The internal structure of gold is heterogeneous and is characterized by a granular, block-mosaic structure. Inclusions of pyrrhotite, pyrite, galena and arsenopyrite are found in gold. The inclusion of pyrite in gold is similar in composition to the inclusion of pyrite in quartz. Gold is noted in intergrowths with quartz, less often muscovite. For the first time, gold intergrowth with rutile was found in the Middle Timan. Rutile has admixtures of V, Nb, and Fe. It is assumed that the primary sources of the studied gold are the zones of development of gold-quartz-sulfide disseminated mineralization, localized in the Riphean shale strata and intersecting quartz veins. The nature of the deposits, their mineral composition, morphology, and composition of gold of the studied interformational contact are similar to the complex diamond-gold-rare earth-rare metal-titanium paleoplacer Ichet'yu, which allows predicting the presence of similar ore objects not only within the Tsilema uplift, but also throughout Timan.

Keywords: native gold, weathering crust, Devonian conglomerates, rare earth minerals

Для цитирования: Пархачев А. А., Васильченко Н. А., Пархачева К. Г. Золотоносность межформационного контакта рифейских и девонских отложений (Цилемское поднятие, Средний Тиман) // Вестник геонаук. 2024. 6(354). С. 12–27. DOI: 10.19110/geov.2024.6.2

For citation: Parkhachev A. A., Vasilchenko N. A., Parkhacheva K. G. Gold mineralization of the interformational contact of Riphean and Devonian deposits (Tsilema uplift, Middle Timan). Vestnik of Geosciences, 2024, 6(354), pp. 12–27, doi: 10.19110/geov.2024.6.2



Введение

При изучении золотоносности Среднего Тимана особый интерес представляют базальные отложения среднего девона. Впервые в среднедевонских песчаниках золото было установлено А. А. Черновым на севере Вольско-Вымской гряды в 1942 г., позднее золотоносность этих отложений была подтверждена геолого-съёмочными работами, а затем в ходе поисковых работ выявлены промышленные содержания золота и алмазов палеороссыпи Ичетью. Совместно с золотом и алмазами в ней присутствуют минералы редких земель и редкометалльные элементы (Государственная..., 2021).

В пределах Цилемского поднятия также выявлено большое количество прямых и косвенных признаков, указывающих на наличие подобных объектов. В связи с этим в рамках геолого-съёмочных работ на Цилемской площади в 2022 г. сотрудниками Института Карпинского проводилось геологическое, минералогическое, геохимическое изучение межформационного контакта среднерифейских и среднедевонских отложений. В ходе маршрутных исследований коренные выходы базальных горизонтов девона не выявлены. С целью их вскрытия на наиболее перспективных участках были пройдены горные выработки. На левом берегу руч. Волчий (левый приток р. Цильмы) канавой был вскрыт контакт метаалевролитов клеоновской свиты среднего рифея с гравелитами и мелкогалечными конгломератами пижемской свиты среднего девона. В кровле рифейских образований прослежен слой коры выветривания, сложенный глинами красновато-бурого цвета с обломками метаалевролитов, в различной степени переработанных процессами корообразования, вплоть до полного разрушения.

Целью данной работы является изучение типоморфизма самородного золота из межформационного контакта рифейских и девонских отложений и прогноз их коренных источников.

Методика исследований

Материал для исследования получен из отложений при документации канавы, вскрывающей межформационный контакт. Объем проб варьировал от 0.015 до 0.03 м³. Более крупная проба (0.1 м³) отобрана из конгломератовых отложений в интервале 3.6—8.0 м, на котором установлено повышенное содержание золота (до 15 знаков на 0.01 м³).

Тяжелая фракция шлиха получена путем предварительного дробления, отмучивания с последующей промывкой, магнитной сепарацией и разделением материала в тяжелой жидкости. Золото и другие минералы выделены из тяжелой фракции под биноклем, затем изучены с поверхности, а после помещены в эпоксидную смолу с последующим шлифованием и полировкой приблизительно на половину своей толщины.

Морфологические особенности, детали микрорельефа и внутреннее строение золота изучены с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan Vega 3 LMN с энергодисперсионным спектрометром INCA Energy 450 X-MAX 50 mm2 (EDS) Oxford Instruments при ускоряющем напряжении 20 кВ, размере пучка 180 нм, области возбуждения до 5 мкм, давлении в камере 0.02 Па (аналитики А. С. Шуйский, Е. М. Тропников)

на базе ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН. Полированные шлифы изучались с помощью оптического микроскопа Nikon Eclipse LV100ND.

Содержания Au и Pt в пробах из разреза канавы получены с помощью атомно-абсорбционного метода, содержания Ag, Co, Ni, Cu, Zn Pb, Sb, Bi, As, U, Th, Nb и РЗЭ — методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) в центральной лаборатории Института Карпинского (аналитики В. А. Шишлов, В. Л. Кудряшов).

Геологическая характеристика района

Участок расположен в пределах Цилемского поднятия в северной части Среднего Тимана. В геологическом строении района исследований участвуют дислоцированные терригенные и терригенно-карбонатные образования верхнепротерозойского комплекса и слабодислоцированные отложения фанерозоя, залегающие на рифейских породах с угловым несогласием (рис. 1). Верхнепротерозойский комплекс представлен отложениями среднего и верхнего рифея и разделён на три серии: кислоручейскую, быстринскую и вымскую. На территории исследований развиты породы кислоручейской и быстринской серий (Государственная..., 2021).

Кислоручейская серия объединяет образования клеоновской и пижемской свит среднего рифея. Клеоновская свита сложена слюдистыми кварцитопесчаниками, кварцитовидными алевролитами и кварц-слюдистыми сланцами. Пижемская свита представлена сланцами кварц-слюдистыми и хлорит-кварц-слюдистыми, часто известковистыми.

Быстринская серия объединяет рочугскую, павьюгскую и паунскую свиты верхнего рифея. Рочугская свита сложена серицит-кварцевыми, серицит-хлоритовыми и глинистыми сланцами. В составе павьюгской свиты участвуют в основном карбонатные породы — доломиты, в том числе стромалитовые, и реже известняки. Паунская свита завершает разрез рифея, сложена в нижней части сланцами, в том числе углеродистыми и известковистыми. Выше сланцы чередуются с метаалевролитами-метапесчаниками и кварцитопесчаниками. Верхняя часть свиты сложена сланцами с редкими прослоями доломитов и известняков.

Палеозойские отложения в пределах Цилемского поднятия представлены породами девонского, каменноугольного и пермского возраста, образующими каледоно-раннекимммерийский структурный этажи, залегающими с угловым несогласием на глубоко размытой поверхности верхнепротерозойского фундамента. В пределах участка среднедевонские отложения представлены континентальными терригенными образованиями пижемской, яранской и листовенничной свит. Пижемская и яранская свиты в основном сложены кварцевыми песчаниками с линзами-прослоями конгломератов, в листовенничной появляется ритмичное переслаивание песчаников с алевролитами и аргиллитами.

Магматические образования на Цилемской площади представлены субинтрузивными телами долеритов и габбродолеритов канино-тиманского комплекса живетского возраста, сформированного в ходе герцинского тектономагматического цикла.

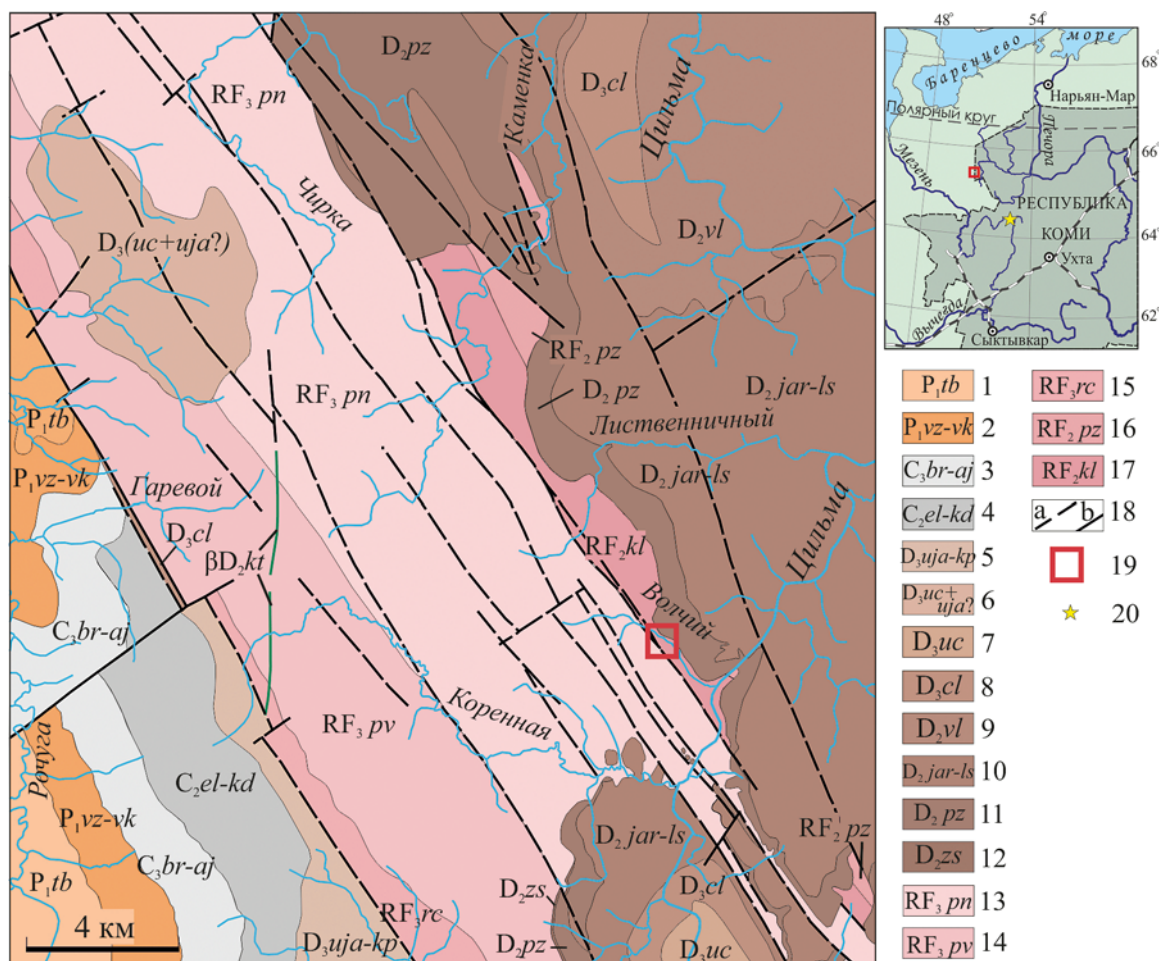


Рис. 1. Схема геологического строения участка исследований (Цилемское поднятие, Средний Тиман), составленная по материалам отчета геологического доизучения 1 : 50000 масштаба (Пачуковский и др., 1994)* с уточнениями и изменениями:

1 — *тобысская толща* — алевролиты с прослоями песчаников, известняков и доломитов; 2 — *вожеская и верхнекулойская свиты* — известняки, доломиты, прослои глин, мергелей, алевролитов, песчаников; 3 — *буркеская, одесская, айювинская свиты* — известняки, доломиты, песчаники; 4 — *елмачская и кодачская свиты* — известняки, доломиты; 5 — *устьярегская и крайпольская свиты* — ритмичное переслаивание слюдистых песчаников, алевропесчаников, алевролитов, аргиллитов и глин, переслаивание глинистых известняков и известковистых глин; 6 — *устычиркинская и устыареская свиты* — переслаивание глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников с известняками, ритмичное переслаивание слюдистых песчаников, алевропесчаников, алевролитов, аргиллитов и глин; 7 — *устычиркинская свита* — переслаивание глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников с известняками; 8 — *цилемская свита* — переслаивание глин, аргиллитов, алевролитов, песчаников; 9 — *валовская свита* — туфы, туффиты, туфопесчаники, туфоаргиллиты, прослои алевролитов, песчаников, аргиллитов, базальты; 10 — *яранская и лиственничная свиты нерасчленённые* — кварцевые песчаники, прослои и линзы мелкогалечных конгломератов, переслаивание алевролитов, глин и песчаников; 11 — *нижемская свита* — кварцевые песчаники, прослои гравелитов, алевролитов и аргиллитов; 12 — *заостровская свита* — алевролиты, аргиллиты, песчаники; 13 — *паунская свита* — глинистые известняки, алевролитистые сланцы с прослоями доломитов, известняков, песчаников, кварцитопесчаников, сланцев, доломиты, толщи углистых сланцев и сланцево-кварцитопесчаниковые; 14 — *навьюгская свита* — доломиты; 15 — *рочугская свита* — глинистые сланцы с прослоями алевролитов, доломитов, сланцы серицит-кварцевые и серицит-хлоритовые; 16 — *нижемская свита* — сланцы; 17 — *клеоновская свита* — слюдистые кварцитопесчаники и кварцитовидные алевролиты, переслаивание кварцево-слюдистых сланцев и алевролитов; 18 — *разрывные нарушения* (а — предполагаемые, б — достоверные); 19 — *участок работ*; 20 — *алмаз-золото-редкометалльная палеороссыпь Ичетью*

Fig. 1. A diagram of the geological structure of the research area (Tsilema uplift, Middle Timan), based on the materials of the report of the geological study on a scale of 1:50000 (Pachukovsky et al., 1994)* with clarifications and changes:

1 — *Tobysskaya strata* — siltstones with interlayers of sandstones, limestones and dolomites; 2 — *Vozhegskaya and verkhnekuloiskaya formations* — limestones, dolomites, interlayers of clays, marls, siltstones, sandstones; 3 — *Burkenskaya, odesskaya, ayuvinskaya formations* — limestones, dolomites, sandstones; 4 — *Elmachskaya and kodachskaya formations* — limestones, dolomites; 5 — *Ustyaregskaya and kraipolskaya formations* — rhythmic interbedding of micaceous sandstones, silty sandstones, siltstones, mudstones and clays, interbedding of clayey limestones and calcareous clays; 6 — *Ustchirkinskaya and ustyaregskaya formations* — interbedding of clays, argillites, siltstones, sandstones with limestones, rhythmic interbedding of micaceous sandstones, silty sandstones, siltstones, argillites and clays; 7 — *Ustchirkinskaya suite* — interlayering of clays, mudstones, siltstones, sandstones with limestones;

* Пачуковский В. М. Производство геологического доизучения масштаба 1: 50 000 площади Цилемского Камня на листах О-39-87-А; Б-а, в; В-6, г; Г; О-39-99-Б-а, б; О-39-100-А-а, б. 1994 г. Сыктывкар: ТФИ РК. № 10920.



8 — *Tsilemskaya suite* — interbedding of clays, mudstones, siltstones, sandstones; 9 — *Valsovskaya suite* — tuffs, tuffites, tuff sandstones, tuff mudstones, interlayers of siltstones, sandstones, mudstones, basalts; 10 — *Yaranskaya and listvenichnaya formations*, undivided — quartz sandstones, layers and lenses of small pebble conglomerates, interbedded siltstones, clays and sandstones; 11 — *Pizhemsкая suite* — quartz sandstones, interlayers of gravelstones, siltstones and mudstones; 12 — *Zaostrovskaya formation* — siltstones, mudstones, sandstones; 13 — *Paunskaya suite* — clayey limestones, silty shales with interlayers of dolomites, limestones, sandstones, quartzite sandstones, shales, dolomites, strata of carbonaceous shales and shale-quartzite sandstones; 14 — *Pavyugskaya suite* — dolomites; 15 — *Rochugskaya formation* — clayey shales with interlayers of siltstones, dolomites, sericite-quartz and sericite-chlorite shales; 16 — *Pizhemsкая formation* — shales; 17 — *Kleonovskaya formation* — mica quartzite sandstones and quartzite-like siltstones, interbedded quartz-mica shales and siltstones; 18 — discontinuity faults (a — suspected, b — reliable); 19 — work area; 20 — diamond-gold-rare metal paleo placer Ichetyu

Объект исследований

Объектом исследований является межформационный контакт среднерифейских и среднедевонских отложений, вскрытый канавой, расположенной на левом берегу ручья Волчий (приток р. Цильмы) (рис. 2, 3). Протяженность канавы составляет 12.5 м, глубина 2.2 м. Ниже приведено литологическое описание канавы (снизу вверх).

В полотно канавы вскрыты среднерифейские породы клеоновской свиты, представленные тонким переслаиванием кварцевых метапесчаников мощностью 2—3 мм и метаалевролитов до 10—15 мм (*слой 1*). Породы красновато-бурого цвета, сильно выветрелые и трещиноватые. Метаалевролиты разбираются по трещинам и несут следы гипергенного изменения на глубину не менее 0.5 м.

На рифейских образованиях развита кора выветривания (*слой 2*). В нижней части слоя залегают крас-

новато-бурые глины со значительным количеством обломков метаалевролитов, в различной степени переработанных процессами корообразования (рис. 3). Верхняя часть сложена аналогичными глинами с небольшим количеством практически полностью разрушенных метаалевролитов. Мощность слоя составляет 0.3—0.5 м. В кровле часто встречаются просаженные обломки жильного кварца. Предположительно кора выветривания имеет среднедевонский возраст.

Выше залегают отложения пижемской свиты жигетского возраста. В основании свиты залегает слой, представленный делитифицированными конгломератами (*слой 3*). По составу конгломераты мономинеральные и представлены крупной галькой средней, реже хорошей степени окатанности, мелкими валунами и остроугольными обломками жильного молочно-белого кварца, сцементированными суглинком от охристой до светло-серой окраски. Слой не выдержан

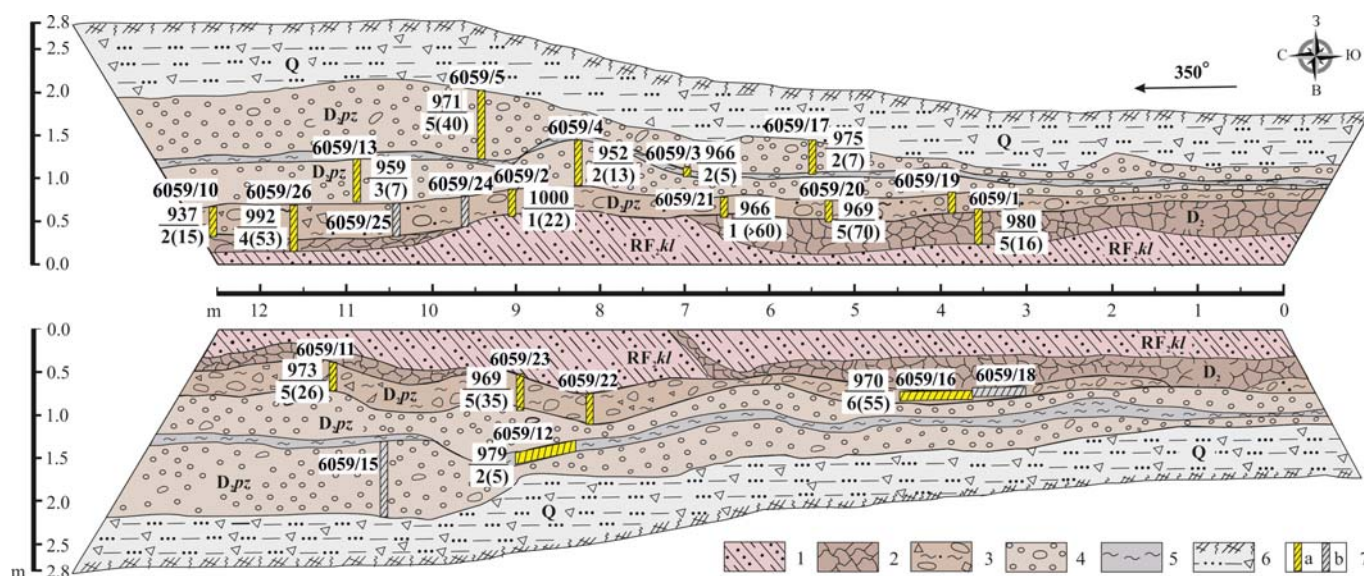


Рис. 2. Схематический разрез канавы. Рифейские породы: 1 — переслаивание метапесчаников и метаалевролитов (*слой 1*). Девонские отложения (2—5): 2 — красноватая глина с обломками метаалевролитов (*слой 2*); 3 — кварцевые конгломераты (*слой 3*); 4 — кварцевый гравелит (*слои 4, 6*); 5 — суглинок (*слой 5*). Четвертичные отложения: 6 — почвенно-растительный слой с щебнем и дресвой метапесчаников, метаалевролитов, сланцев с супесчаным заполнителем (*слой 7*); 7 — интервалы опробования с установленным золотом (а) и пустые (б). Цифрами в числителе указана средняя пробаность золота (‰), в знаменателе — количество исследованных частиц, в скобках — общее количество знаков золота. Пробность золота определялась в центре частиц

Fig. 2. Schematic cross-section of the trench. Riphean rocks: 1 — alternating metasandstones and meta-siltstones (layer 1). Devonian deposits (2—5): 2 — red clay with fragments of meta-siltstones (layer 2); 3 — pebbles, boulders, blocks and crushed rock of vein quartz, cemented by loam (layer 3); 4 — quartz gravel (layer 4, 6); 5 — loam (layer 5). Quaternary deposits: 6 — soil and plant layer with crushed rock and gruss of metasandstones, meta-siltstones, shales, mainly of Riphean age with sandy loam filler (layer 7). 7 — sampling intervals with established gold (a) and empty (b). The numbers in the numerator indicate the average fineness of gold (‰), in the denominator — the number of studied particles, in brackets — the total number of signs of gold. The fineness of gold was determined in the center of the particles

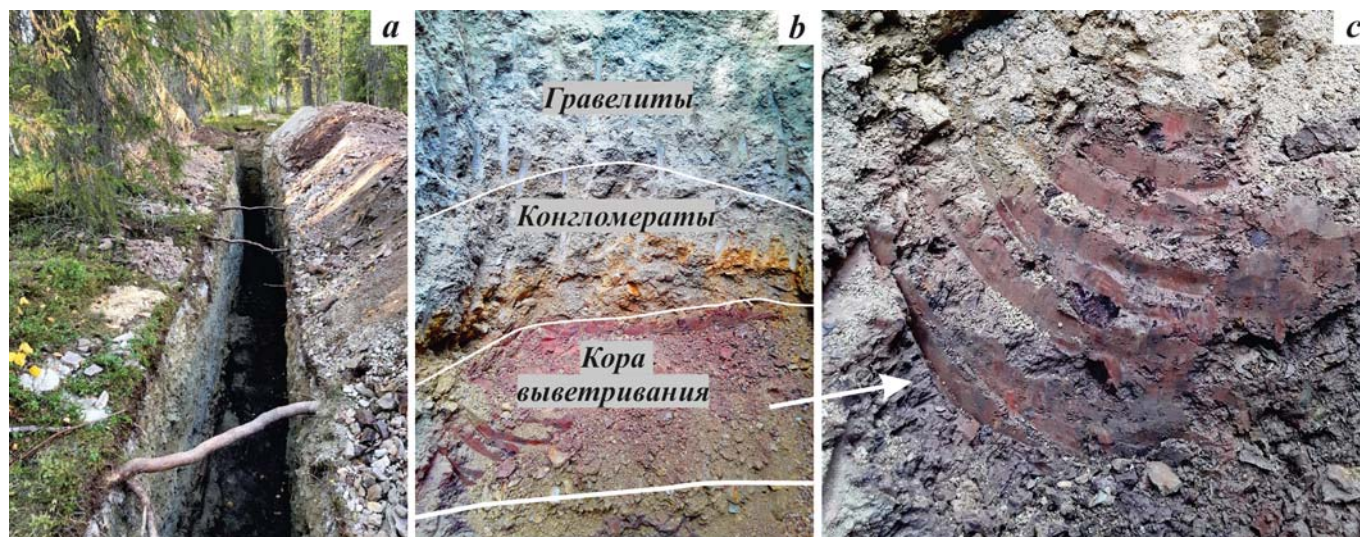


Рис. 3. Канавы (а), вскрытый в ней межформационный контакт рифейских и девонских отложений (б) и кора выветривания (с)

Fig. 3. Ditch (a), the contact of Riphean and Devonian deposits exposed in it (b), weathering crust and lithified quartz fragments in its roof (c)

по мощности, интенсивности окраски суглинков и их количественному составу от массы грубого кварцевого материала. Отмечаются как неокатанные обломки кварца, так и весьма окатанные, размером до 0.15—0.2 м. Доля окатанного кварцевого материала уменьшается от южного торца канавы к северному, уступая место неокатанному.

Разрез свиты продолжается отложениями пижемской свиты, представленной кварцевыми гравелитами, делитифицированными с примесью суглинка (слой 4). Отложения светло-серого цвета. В подошве слоя гравелитов и на контакте с перекрывающим горизонтом повсеместно наблюдается интенсивная проработка отложений гидроксидами железа и, как следствие, как бы «литификация» этой части слоя. Мощность слоя не выдержана по разрезу. В восточной стенке она изменяется от 0.15 до 0.25 м, в западной — от 0.25 до 0.4 м. В интервале 9.0—10.0 м в кровле пласта отмечается плита хорошо литифицированного гравелита размером до 6 см, далее до самого конца канавы слой литифицирован на всю мощность.

Выше прослеживается маломощный прослой (4—13 см) плотного суглинка светло-серого цвета, реже светло-коричневого (слой 5). Граница слоя слабоволнистая и слабонаклонная в сторону уклона дневной поверхности. Суглинок содержит значительное количество гравия и гальки слабоокатанного кварца. Под слоем суглинка довольно часто в виде прерывисто развитых плиток мощностью 1—2 см отмечается кварцевый песчаник с включением гравийных зерен.

Выше по разрезу продолжается слой светло-серого кварцевого делитифицированного гравелита (слой 6). Слой не выдержан по мощности. Она увеличивается от южного торца к северному от 0.1 до 0.7 м.

Отложения пижемской свиты перекрыты четвертичными осадками, сложенными элювиально-делювиальным щебнем и древесной метапесчаников, металевролитов, сланцев предположительно среднерифейского возраста с супесчаным заполнителем, выше — почвенно-растительный слой (слой 7).

Результаты исследований

Минеральный состав тяжелой фракции. Состав тяжелой фракции отложений, отобранных в канаве, представлен лейкоксом, куларитом, цирконом и рутилом (табл. 1). В незначительном количестве встречаются анатаз, турмалин, титанит, ильменит, хромит, гранат, эпидот, амфибол, шпинель, монацит, магнетит, лепидокрокит.

Лейкоксен составляет в среднем 90 % тяжелой фракции. Агрегат представлен таблитчатой, лепешковидной формой и кристаллами ромбоэдрического облика. Он имеет кремово-желтый цвет и жирный блеск. Размер зерен варьирует от 0.25 до 1.0 мм.

Куларит встречается в незначительных количествах от менее 1 до 8 %. Наиболее высокие содержания куларита установлены в слое кварцевых конгломератов (слой 3). Зерна имеют дисковидную, таблитчатую и обломочную форму размером от 0.5 до 1.0 мм. Поликристаллический агрегат представлен собственно монацитом с многочисленными включениями кварца, а также гидрооксидов железа, мусковита и хлорита, что является характерным для этой разновидности монацитов. По цвету выделяются две группы — светлая и темная (рис. 4). Кроме этого, отмечаются и окисленные зерна. В одном окисленном зерне установлено включение галенита.

Внутреннее строение зерен имеет неоднородность, выраженную разницей в химическом составе центральной и краевой частей. Центральная часть более светлая и содержит наименьшее количество включений (рис. 4). Содержания Ce и La в центральной (светлой) части ниже, а Nd, Pr, Gd, Sm — выше (рис. 5). Отмечается положительная связь Ce и La, но отрицательная корреляция Ce с Nd, Gd и Sm (рис. 6). Ранее А. Б. Макеев с коллегами в своей работе отмечали такую зависимость в куларите на Пижемском титановом месторождении (Макеев и др., 2020). По составу центральной части зерен выделяются Ce-Nd-монациты.

Рутил образует до 5 % тяжелой фракции (в среднем 2 %). Он отмечается в виде кристаллов коротко-



Таблица 1. Минералы тяжелой фракции проб из разреза канавы (об. %)
 Table 1. Minerals of the heavy fraction of samples from the ditch section (vol. %)

№ пробы № samples	Слой Layer	Главные (>5 %) Main (>5 %)	Второстепенные (1—5 %) / Minor (1—5 %)	Редкие (< 1 %) Rare (< 1 %)	Золото/ Gold	
					зн/ signs	мг/mg
6059/1	2	лейкоксен leucoxene (58)	перовскит, лимонит perovskite, limonite	куларит, циркон, рутил, анатаз, гематит, ильменит, хромит, гранат, эпидот, пироксен, амфибол, ставролит coularite, zircon, rutile, anatase, hematite, ilmenite, chromite, garnet, epidote, pyroxene, amphibole, staurolite	16	
6059/27	3	лейкоксен leucoxene (91)	рутил, куларит, циркон rutile, coularite, zircon	анатаз, ильменит, титанит, апатит, гранат, турмалин, монацит anatase, ilmenite, titanite, apatite, garnet, tourmaline, monazite	≈35	
6059/10		лейкоксен leucoxene (92)	рутил, куларит, циркон rutile, coularite, zircon	анатаз, турмалин anatase, tourmaline	15	0.25
6059/22		лейкоксен leucoxene (91)	рутил, куларит, циркон rutile, coularite, zircon	апатит apatite	63	0.9
6059/26		лейкоксен, куларит leucoxene (89), coularite (6)	рутил, циркон rutile, zircon	апатит, гематит, монацит apatite, hematite, monazite	53	
6059/2		лейкоксен куларит leucoxene (94), coularite (6)		циркон, рутил, анатаз zircon, rutile, anatase	22	
6059/23		лейкоксен, куларит, лепидокрокит leucoxene (80), coularite (8), lepidocrocite (6)	циркон, рутил zircon, rutile	анатаз, турмалин, монацит anatase, tourmaline, monazite	35	16.1
6059/20		лейкоксен, лепидокрокит, куларит leucoxene (76), lepidocrocite (11), coularite (8)	циркон, рутил, анатаз zircon, rutile, anatase	турмалин, монацит, лимонит, магнетит, гранат tourmaline, monazite, limonite, magnetite, garnet	78	29.2
6059/21		лейкоксен, лепидокрокит leucoxene (82), lepidocrocite (10)	куларит, циркон, рутил coularite, zircon, rutile	анатаз, турмалин, монацит anatase, tourmaline, monazite	73	43.5
6059/16		лейкоксен, куларит leucoxene (89), coularite (7)	циркон, рутил zircon, rutile	анатаз, монацит, магнетит anatase, monazite, magnetite	55	5.3
6059/11		лейкоксен leucoxene (92)	куларит, циркон, рутил coularite, zircon, rutile	анатаз, ильменит, монацит anatase, ilmenite, monazite	26	1
6059/4	4	лейкоксен leucoxene (94)	куларит, рутил coularite, rutile	циркон, анатаз zircon, anatase	8	
6059/13		лейкоксен leucoxene (94)	рутил, циркон rutile, zircon	куларит, анатаз, магнетит, титанит, турмалин coularite, anatase, magnetite, titanite, tourmaline	7	
6059/12	5	лейкоксен leucoxene (100)		циркон, рутил, анатаз, гранат, турмалин, магнетит zircon, rutile, anatase, garnet, tourmaline, magnetite	4	
6059/3		лейкоксен leucoxene (86)	циркон, рутил zircon, rutile	куларит, титанит, анатаз, ильменит, амфиболы, турмалин, магнетит coularite, titanite, anatase, ilmenite, amphiboles, tourmaline, magnetite	5	

№ пробы № samples	Слой Layer	Главные (>5 %) Main (>5 %)	Второстепенные (1–5 %) / Minor (1–5 %)	Редкие (< 1 %) Rare (< 1 %)	Золото/ Gold зн/ signs мг/mg	
6059/5	6	лейкоксен leucoxene (90)	циркон, рутил zircon, rutile	куларит, анатаз, ильменит, гранат, амфиболы, титанит, хромит, эпидот, турмалин, шпинель coularite, anatase, ilmenite, garnet, amphiboles, titanite, chromite, epidote, tourmaline, spinel	40	
6059/17		лейкоксен leucoxene (93)	рутил, циркон, ильменит rutile, zircon, ilmenite	куларит, анатаз, гранат, магнетит, хромит, эпидот, амфиболы, турмалин, шпинель coularite, anatase, garnet, magnetite, chromite, epidote, amphiboles, tourmaline, spinel	7	

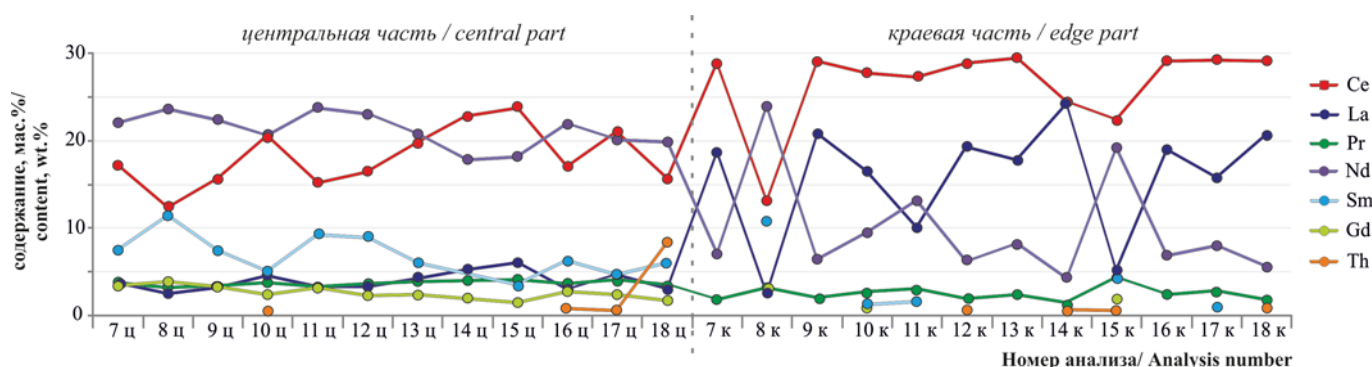


Рис. 5. Содержание редкоземельных элементов в зернах куларита в центральной и краевой частях

Fig. 5. Content of rare earth elements in coularite grains in the central and marginal parts

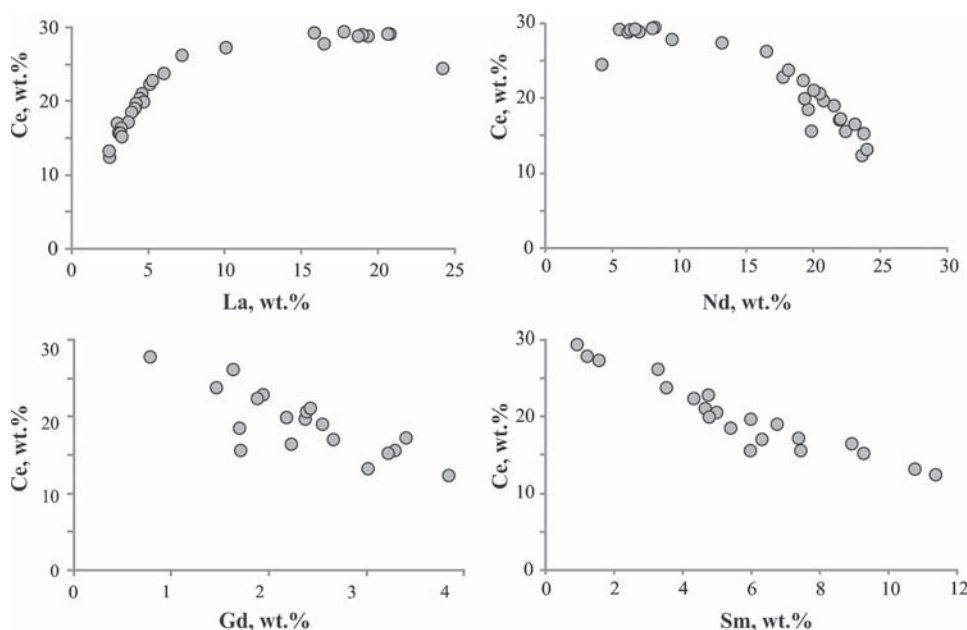


Рис. 6. Соотношение редкоземельных элементов в куларите

Fig. 6. The ratio of rare earth elements in coularite

и длиннопризматического облика со штриховкой, размером 0.25–0.5 мм. Цвет зерен коричнево-красный, желто-бурый и темноокрашенный.

Циркон в среднем составляет 2 %. Он представлен хорошо окатанными зернами овальной, изометричной формы и неокатанными кристаллами призматического облика со сглаженными вершинами, размером от 0.1 до 0.25 мм. Зерна бесцветные, и наблюдаются вариации от бледно-розового до насыщенного вишневого цвета.

Золото встречается от единичных знаков до 0.97 г/м³. Наибольшая его концентрация установлена

в кварцевых конгломератах пижемской свиты (слой 3). В других слоях содержание золота колеблется от 5 до 40 знаков на 20 л.

Самородное золото. Гранулометрический состав золота варьирует от тонкого (менее 0.1 мм) до среднего (2.0–1.0 мм) класса крупности, преобладающим является весьма мелкое золото (0.25–0.1 мм) — 60 % (рис. 7).

Золото соломенно-желтого цвета, неокатанное и слабой степени окатанности. Оно имеет рудный облик и широкое разнообразие форм — комковидное, сложное, стержневидное, таблитчатое, пластинчатое и гемидиоморфное (рис. 8). Для тонкого золота харак-

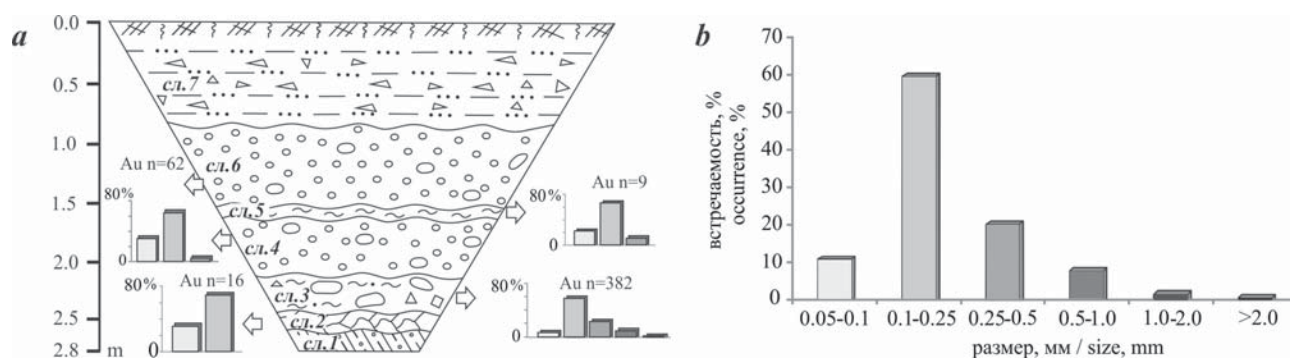


Рис. 7. Диаграммы распределения гранулометрических классов золота: *a* — отдельно по слоям; *b* — в целом по канаве. Условные обозначения к схеме канавы см. на рис. 2

Fig. 7. Diagrams of distribution of granulometric classes of gold: *a* — separately by layers; *b* — along the ditch as a whole. See the legend for the ditch diagram in Fig. 2

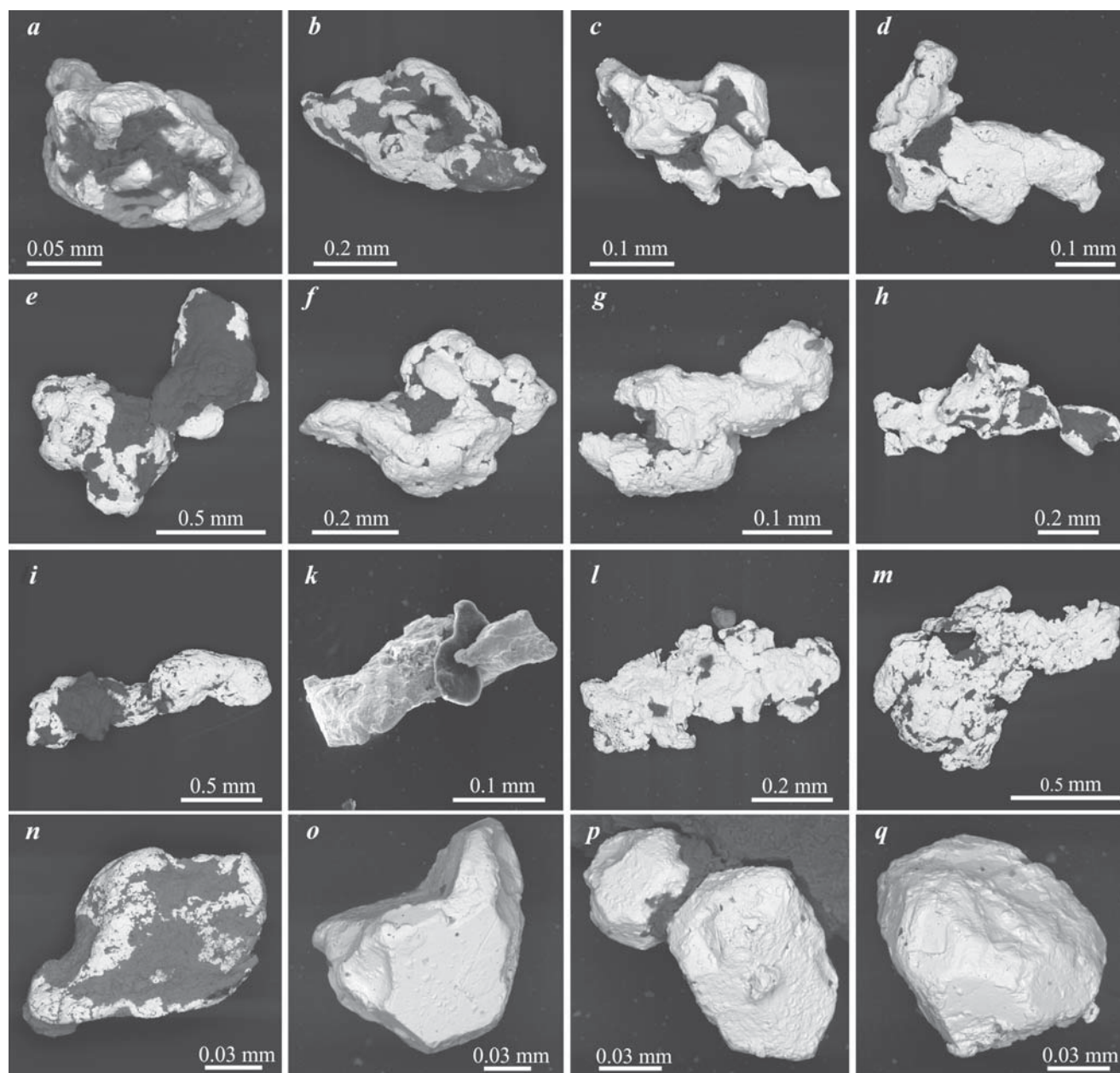


Рис. 8. Формы золота:

a, b — комковидная; *c-h* — сложная; *i, k* — стержневидная; *l-n* — пластинчатая; *o-q* — гемидиоморфная. Изображения сняты в режиме BSE

Fig. 8. Forms of gold:

a, b — lump-shaped; *c-h* — complex; *i, k* — rod-shaped; *l, m, n* — lamellar; *o, p, q* — hypidiomorphic. Images were taken in BSE mode

терны зерновидные частицы кристалломорфной формы и тонкие пластинки. Более крупное золото размером более 0.5 мм имеет красновато-желтый цвет и слабую степень окатанности. Содержание серебра в золоте, определенное на поверхности частиц, варьирует от 0.55 до 19.2 мас. %.

Золото наблюдается в сростках с кварцем (рис. 9, а—d). Их доля составляет примерно 10 %. Встречаются золотинки, на поверхности которых установлены мусковит, сидерит и гидроксиды железа (рис. 9, е—i). Отмечаются частицы, полностью заключенные в «рубашку» гидроксидов железа.

Наиболее интересной является единичная находка золота в сростании с рутилом размером 0.2 мм (рис. 10). Она установлена в пробе 6059/5, отобранной из гравелитов пижемской свиты (слой 6). В составе рутила присутствуют примеси V (0.4—0.5 мас. %), Fe (0.3—0.7 мас. %) и Nb (0.4—1.2 мас. %). Золото содержит примесь Ag (2.4—13.9 мас. %).

При изучении поверхности частиц золота с помощью сканирующего электронного микроскопа отме-

чаются наросты округлой, пирамидальной, кристалломорфной формы. Наблюдается также нарастание «нового» золота в виде шариков, пластинок и червчекообразных частиц (рис. 11). Отмечаются скульптуры растворения, которые представлены микроямчатостью. Кроме того, на поверхности имеются отпечатки кристаллов, изредка следы, вероятно, агрегатов фрамбоидального пирита (рис. 11, g, h).

Золото преимущественно весьма высокопробное (950—1000 ‰) — 86 %, частицы с высокой (900—950 ‰) и средней пробой (899—900 ‰) встречаются значительно реже — 11 и 3 % соответственно. Единственной примесью в золоте является Ag, содержание которого колеблется от 0.4 до 10.3 мас. % (табл. 2).

Внутреннее строение золота характеризуется неоднородным распределением Ag (рис. 12, 13), выраженным в развитии блочно-мозаичных структур и низкопробных прожилков. Низкопробные прожилки отмечены у 93 % частиц. Содержание серебра в них варьирует от 10.4 до 24.4 мас. % (табл. 2). Совместно с низкопробными прожилками отмечаются и высоко-

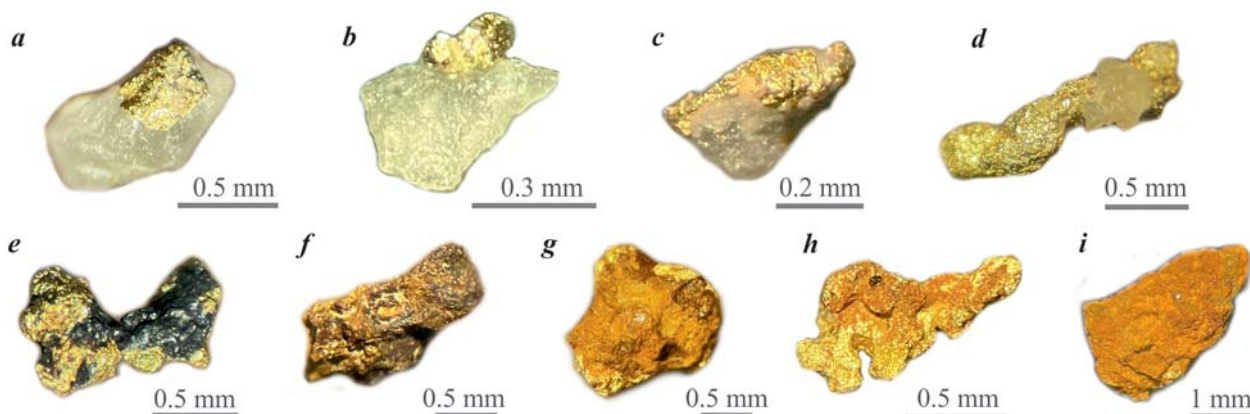


Рис. 9. Самородное золото в сростаниях с кварцем (а—d), мусковитом (е), сидеритом (f) и налеты гидроксидов железа на золоте (g—i). Оптические изображения

Fig. 9. Native gold intergrown with quartz (a—d), muscovite (e), siderite (f) and iron hydroxide deposits on gold (g—i). Optical images

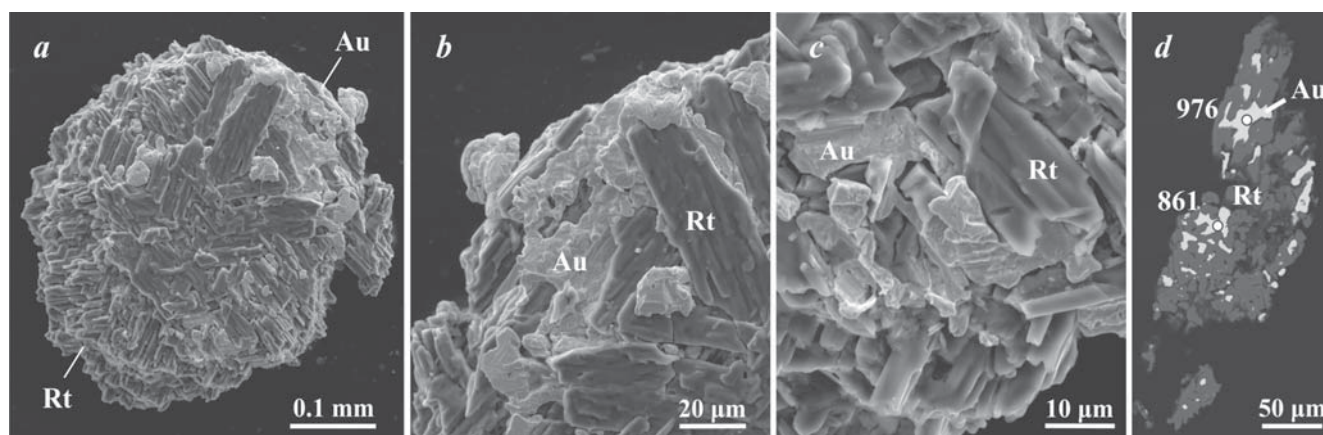


Рис. 10. Сростание рутила (Rt) с самородным золотом (Au):

а — внешний вид, b, c — увеличенные фрагменты поверхности; d — полированный срез. Цифрами обозначена проба золота в ‰. Изображения получены в режиме BSE

Fig. 10. Intergrowth of rutile (Rt) with native gold (Au):

а — external appearance, b, c — enlarged surface fragments; d — polished section. The numbers indicate the fineness of gold in ‰. The images were obtained in BSE mode

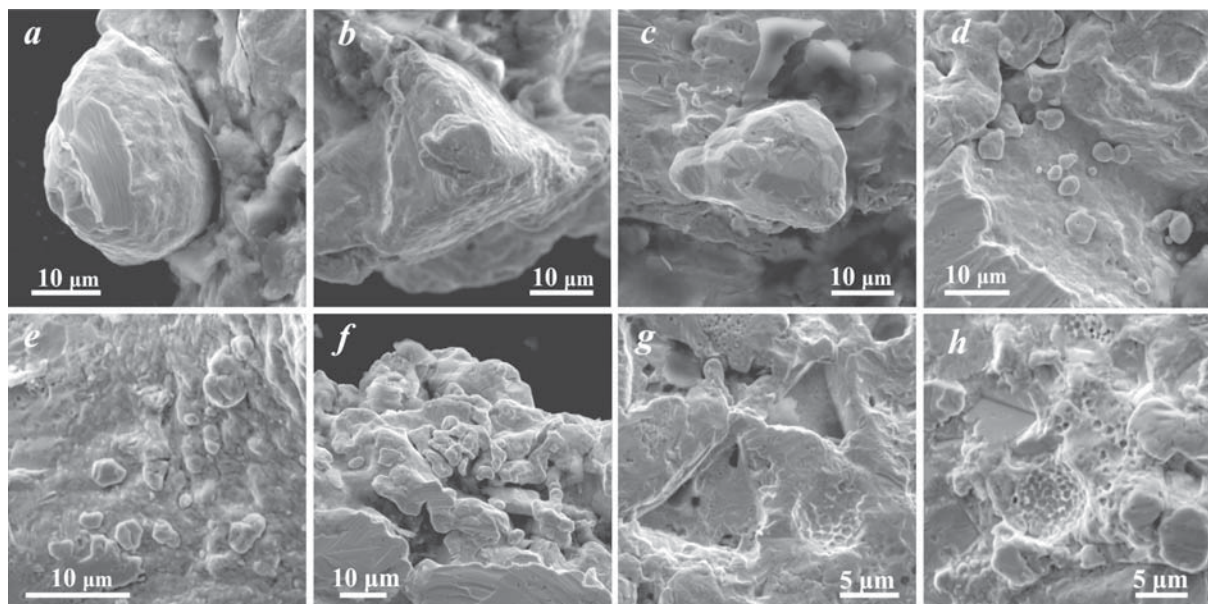


Рис. 11. Детали микрорельефа поверхности золота: ответвления (a–c), выделения «нового» золота (d–f), отпечатки кристаллов и фрамбOIDов (g, h). Изображения сняты в режиме SE

Fig. 11. Details of the gold surface microrelief: branches (a–c), precipitation of «new» gold (d–f), crystal and framboid imprints (g, h). Images were taken in SE mode

Таблица 2. Химический состав самородного золота

Table 2. Chemical composition of native gold

Слой Layer	Золото, зн Gold, signs	Ag (центр), мас. % Ag (center), wt. %	Пробность (центр), ‰ Fineness (center), ‰	Ag (край), мас. % Ag (edge), wt. %	Пробность (край), ‰ Fineness (edge), ‰	Ag (прожилки), мас. % Ag (veins), wt. %	Пробность (прожилки), ‰ Fineness (veins), ‰
2	5	0.47–5.37 2.8	947–1000 980	2.3–9.0 5.54	909–977 944	19.78–22.15 21.06	780–799 790
3	30	0.37–10.27 3.71	899–1000 970	0.85–12.49 4.68	877–1000 955	7.49–24.39 20.61	758–834 794
4	5	2.3–7.76 4.38	923–977 956	2.6–9.95 6.3	899–974 936	7.4–23.03 20.32	770–925 797
5	4	0.99–5.17 2.78	948–983 972	5.53–8.43 6.55	915–944 934	7.96–22.72 17.72	774–920 825
6	7	0.76–7.84 2.72	921–992 973	1.74–7.74 5.96	922–978 940	10.38–24.31 20.28	755–897 797

Примечание. В числителе указан интервал изменения значений от минимального до максимального, в знаменателе — среднее.

Note. The numerator indicates the range of changes in values from minimum to maximum, and the denominator indicates the average.

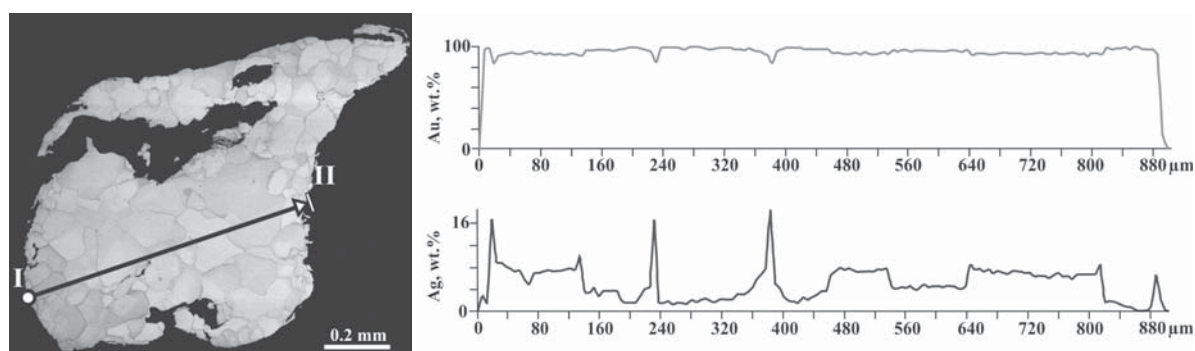


Рис. 12. Морфология и внутреннее строение самородного золота:

внешний вид (a, d, g, j) — внутреннее строение с нормальной (b, e, h, l) и повышенной (c, f, i, l) контрастностью. Цифрами обозначена пробность золота в ‰. Gth — гетит, Mus — мусковит, Qz — кварц. Изображения получены в BSE-режиме

Fig. 12. Morphology and internal structure of native gold:

external appearance (a, d, g, j) — internal structure with normal (b, e, h, l) and increased contrast (c, f, i, l). The numbers indicate the fineness of gold in ‰. Gth — goethite, Mus — muscovite, Qz — quartz. Images were obtained in BSE mode

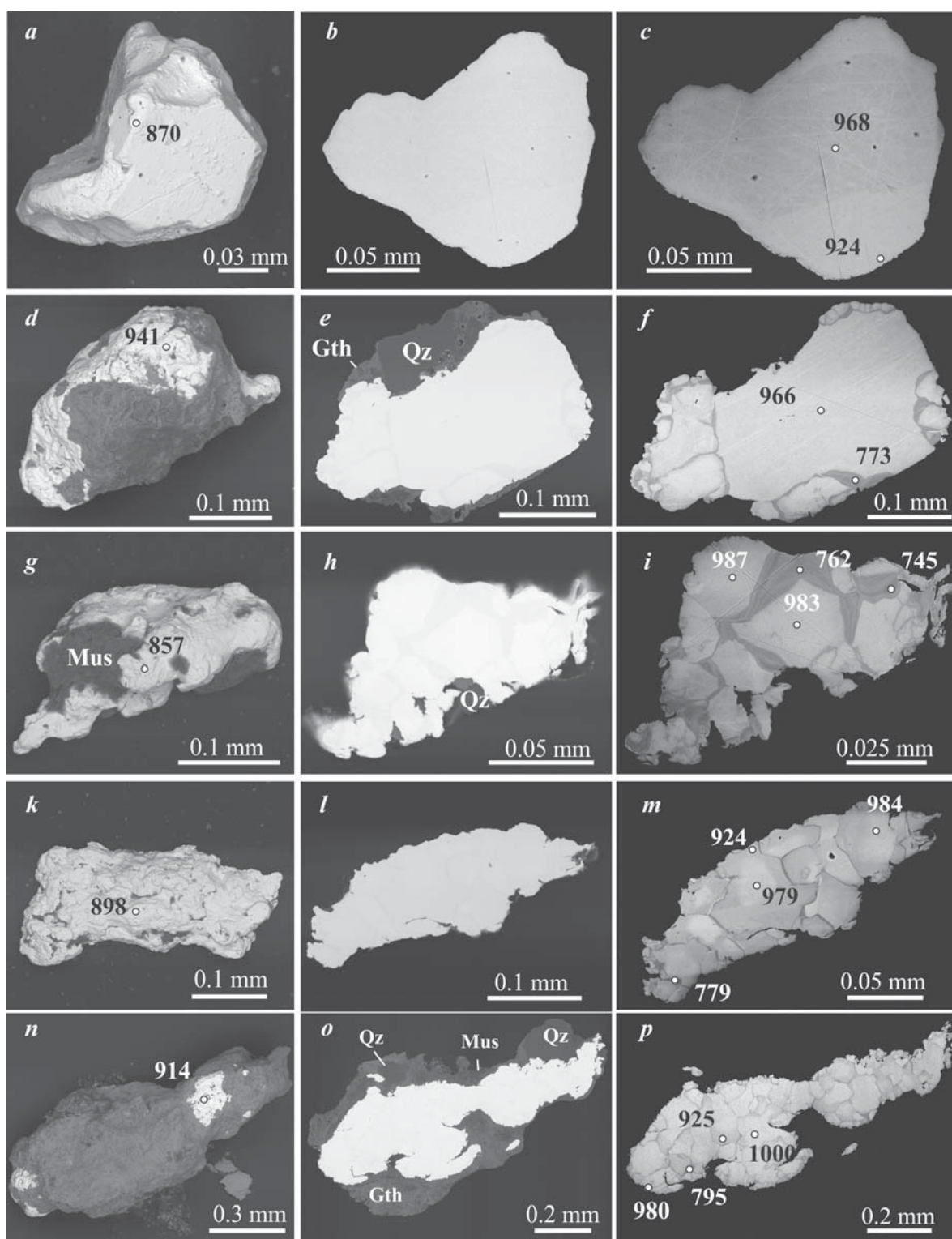


Рис. 13. График распределения содержаний Au и Ag по линии I—II в золоте

Fig. 13. Graph of distribution of Au and Ag contents along line I—II in gold

пробные, их встречаемость почти в два раза меньше (50 %). Содержание в них серебра не превышает 2.5 мас. % (среднее — 1.4 мас. %).

Золото с однородным строением является нетипичным для этих отложений, частота его встречаемости составляет не более 7%. Видимые высокопробные каймы у частиц не наблюдаются. Содержание серебра в крайних частях находится в диапазоне от 0.85 до 12.49 мас. %.

В золоте из кварцевых конгломератов (слой 3) установлены включения пирротина и галенита, из слоя су-

глинка (5) — арсенопирита, из верхнего слоя гравелистов (6) — пирита и пирротина (рис. 14). Пирротин имеет примеси Co (0.3—0.4 мас. %) и Ni (0.2—0.5 мас. %), пирит — Co (0.3 мас. %) и As (1.5 мас. %), арсенопирит — Co (3.0 мас. %) (табл. 3). Пирротин отмечается в сравнении с галенитом.

Геохимическая характеристика отложений. По данным атомно-абсорбционного и ICP-MS-анализов установлено, что содержания золота повышаются вниз по разрезу от 0.0026 до 0.0061 г/т, максимальные зна-

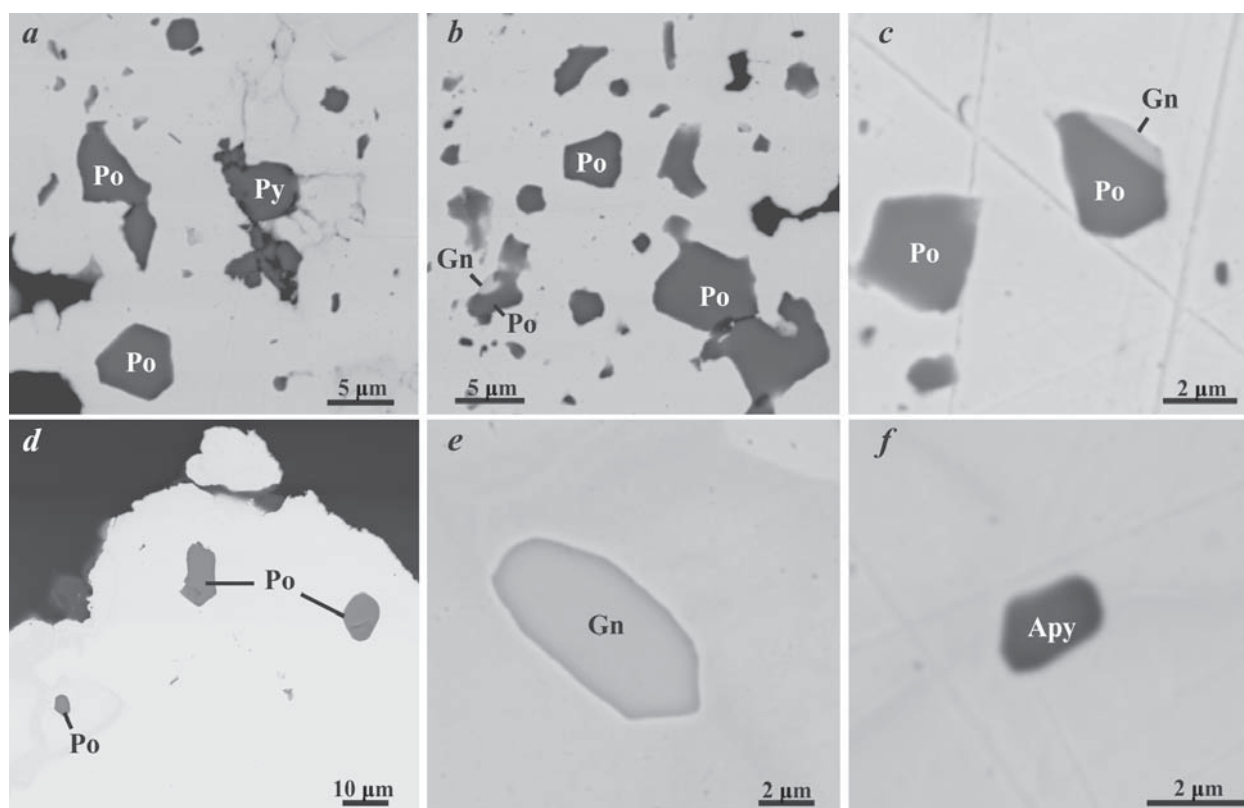


Рис. 14. Включения в золоте:

а — пирит (Py) и пирротин (Po); б, с — пирротин и сростания пирротина с галенитом (Gn); д — пирротин; е — галенит; ф — арсенопирит (Apy). Изображения получены в режиме BSE

Fig. 14. Inclusions in gold:

a — pyrite (Py) and pyrrhotite (Po); b, c — pyrrhotite and intergrowths of pyrrhotite with galena (Gn); d — pyrrhotite; e — galena; f — arsenopyrite (Apy). Images were taken in BSE mode

Таблица 3. Химический состав включений в золоте

Table 3. Chemical composition of inclusions in gold

Слой Layer	Анализ Analysis	Содержание, мас. %							Сумма Sum	Эмпирическая формула Empirical formula
		S	Fe	Co	Ni	As	Sb	Pb		
Пирротин / Pyrrhotite										
3	6_1	39.72	60.38	0.27	0.24	н.о.	н.о.	н.о.	100.6	(Fe _{0.929} Co _{0.004} Ni _{0.004}) _{0.936} S _{1.064}
	6_2	39.61	59.58	0.39	0.2	н.о.	н.о.	н.о.	99.79	(Fe _{0.923} Co _{0.006} Ni _{0.003}) _{0.931} S _{1.069}
2, 3	22_7	39.46	59.68	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	99.14	Fe _{0.93} S _{1.070}
6	6_1	40.7	59.79	0.28	0.47	н.о.	н.о.	н.о.	101.25	(Fe _{0.9} Co _{0.004} Ni _{0.007}) _{0.921} S _{1.079}
	6_2	39.82	59.99	0.31	0.2	н.о.	н.о.	н.о.	100.32	(Fe _{0.924} Co _{0.005} Ni _{0.003}) _{0.932} S _{1.068}
	6_3	37.95	58.45	0.31	0.49	н.о.	н.о.	н.о.	97.19	(Fe _{0.933} Co _{0.005} Ni _{0.007}) _{0.945} S _{1.055}
6	29_1	39.85	60.64	0.4	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100.89	(Fe _{0.93} Co _{0.006}) _{0.936} S _{1.064}
	29_3	39.64	60.78	0.27	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	100.69	(Fe _{0.935} Co _{0.004}) _{0.938} S _{1.062}
	29_7	37.9	57.93	0.36	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	96.19	(Fe _{0.923} Co _{0.005}) _{0.938} S _{1.062}
Арсенопирит / Arsenopyrite										
5	2_5a	15.83	23.7	3.03	н.о.	35.82	н.о.	н.о.	78.39	(Fe _{0.879} Co _{0.107}) _{0.986} As _{0.991} S _{1.023}
	2_5б	17.69	31.46	3.78	н.о.	47.07	н.о.	н.о.	100.00	(Fe _{0.935} Co _{0.106}) _{1.041} As _{1.043} S _{0.916}
Пирит / Pyrite										
6	29_2	51.89	45.44	0.32	н.о.	1.49	0.67	н.о.	99.81	(Fe _{0.993} As _{0.024} Co _{0.007} Sb _{0.007}) _{1.029} S _{1.976}
Галенит / Galena										
3	3_4	12.42	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	86.73	99.15	Pb _{1.039} S _{0.961}

Примечание. н.о. — элемент не обнаружен.

Note. н. о. — element is not found.

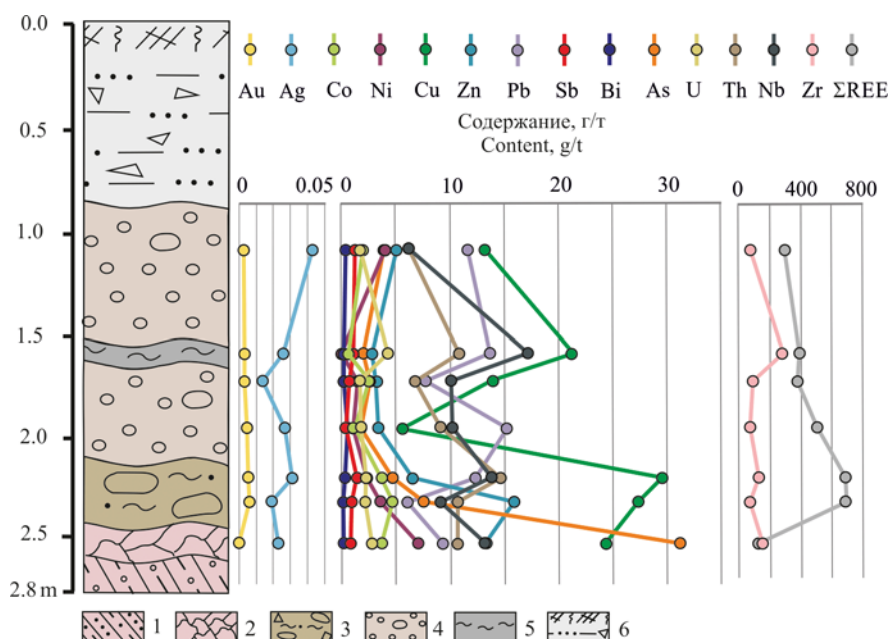


Рис. 15. График распределения золота и сопутствующих элементов по разрезу. Условные обозначения для литологической колонки см. на рис. 2

Fig. 15. Graph of distribution of gold and related elements along the section. For symbols, see Fig. 2

чения зафиксированы в грубообломочных кварцевых конгломератах (слой 3). Повышение содержания золота сопровождается увеличением Co, Ni, Zn, Cu, As и РЗЭ (рис. 15). Содержания Pt и Те по всем пробам отмечаются ниже предела обнаружения.

Минеральные включения в обломках жильного кварца. Изучены обломки из кварцевых конгломератов пижемской свиты среднего девона (слой 3). Они представлены жильным кварцем молочно-белого цвета. Обломки отмечаются в виде щебня и крупной гальки (до 10 см) средней, реже хорошей окатанности, мелких валунов (до 20 см). Окатанность и размерность обломков снижается в направлении от южного торца канавы к северному.

По трещинам кварца развиваются гидроксиды железа. В нём установлены включения рутила и пирита (рис. 16). Рутил присутствует в виде удлиненных кристаллов. Пирит наблюдается в виде мелких включений (до 20 мкм) и тончайших выделений в трещине. В составе пирита зафиксированы примеси (в мас. %): Co (0.3–1.3), Ni (0.3–0.7) и As (1.7–2.0) (табл. 4).

Обсуждение результатов

Морфологические особенности исследуемого самородного золота (слабая окатанность, рудный облик, срастания золота с кварцем) свидетельствуют о близости его коренного источника.

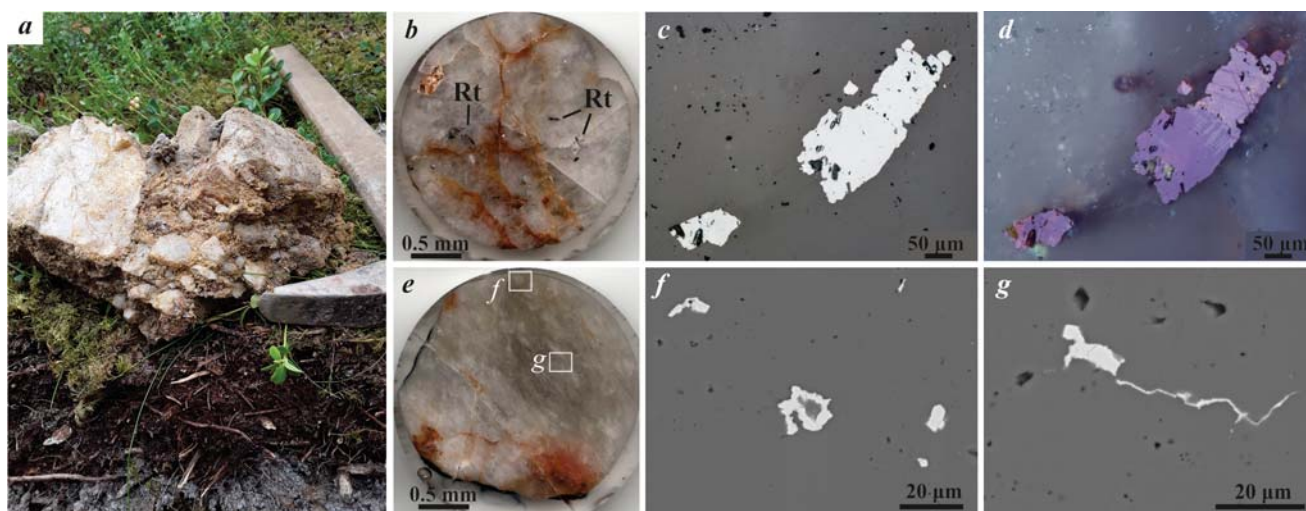


Рис. 16. Обломки жильного кварца (а). Включения в нём рутила (с, d) и пирита (f, g): b–e — оптические изображения; c — николи параллельны, d — николи скрещены; f, g — СЭМ-изображения в режиме BSE. Rt — рутил

Fig. 16. Fragments of vein quartz (a), inclusions of rutile (c, d) and pyrite (f, g): b–e — optical images; c — parallel nicols, d — crossed nicols; f, g — SEM images in BSE mode. Rt — rutile



Таблица 4. Химический состав пирита в жильном кварце

Table 4. Chemical composition of pyrite in vein quartz

Шлиф / Section	Анализ / Analysis	Содержание, мас. % / Content, wt. %					Сумма / Sum
		S	Fe	Co	Ni	As	
6059/2_2a	1_1	53.18	44.58	0.32	0.26	2.02	100.37
6059/2_2a	1_2	52.49	44.35	0.41	0.27	1.69	99.21
6059/2_2a	2_1	53.00	43.52	1.28	0.71	n.o.	98.52

Примечание. н. о. — химический элемент не обнаружен.

Note. n. o. — element is not found.

На основании установленных типоморфных особенностей золота, таких как преобладание весьма мелкого гранулометрического класса (0.1—0.25 мм) при наличии крупного золота, присутствие гемидиоморфных, рудных, пластинчатых, комковидных форм, высокая пробность, пятнисто-блочное внутреннее строение, минеральные включения сульфидов и кварца, можно предположить принадлежность коренных источников к золото-кварц-сульфидной формации (Атлас..., 2015; Николаева, Яблокова, 2007; Петровская, 1973).

Включения пирита в кварце, в составе которого установлены примеси Co, Ni и As, аналогичны включениям пирита в золоте. Кроме того, в пирротине и арсенопирите также присутствуют примеси Co и/или Ni. Это свидетельствует о том, что золото и сульфидная минерализация имеют одну природу. Также эта связь подтверждается положительной корреляцией содержаний Au с Co, Ni, Zn, Cu, As, Pb во вскрытом разрезе (рис. 15). Повышение содержаний РЗЭ, по данным химического анализа, объясняется присутствием куларита в составе тяжелой фракции.

Неоднородное внутреннее строение, характеризующееся блочно-мозаичной структурой и низкопробными межзерновыми прожилками, возможно, образовалось в результате перекристаллизации под действием температуры и давления (Атлас..., 2015).

Присутствие на поверхности золотин нанозолота и микронного золота червеобразных, округлых и других форм разных генераций совместно со скульптурами растворения указывают на нестабильные физико-химические условия среды (Калинин и др., 2022). Возможно, кристаллизация золота могла происходить в результате хомогенных процессов либо из коллоидных, либо из ионных растворов (Калинин и др., 2018; Попенко, 1982; Осовецкий, Shuster, Reith, 2018). Золото может иметь также биогенное происхождение (Жмодик, и др., 2012; Маракушев и др., 1989; Reith et al., 2010; Rea et al., 2016;). Так или иначе такие новообразования золота являются результатом перераспределения дисперсного золота при формировании профиля выветривания (Жмодик и др., 2009).

Золото в сростании с рутилом вызывает интерес тем, что в составе рутила присутствуют примеси V (0.4—0.5 мас. %), Fe (0.3—0.7 мас. %), Nb (0.4—1.2 мас. %). Рутил с содержаниями ванадия и ниобия встречается в основных породах, эфлогитах, кимберлитах (Королев и др., 2014; Соболев и др., 2011; Zack et al., 2004), а также метаморфических и метаморфогенных высокотемпературных породах (Luvizotto et al., 2009; Luvizotto, Zack, 2009). На Тимане подобный рутил отмечается в алмазсодержащих среднедевонских отложениях пи-

жемской свиты палеороссыпи Ичетью (Средний Тиман) и ассывожской толще Южного Тимана (Гракова, 2014; Красоткина и др., 2017). Стоит отметить, что О. В. Граковой в ичетьюском рутиле были установлены включения золота и монацита. Источниками ниобиевого рутила на Тимане могут быть либо лампрофилы, либо рудные жилы, вероятно расположенные в рифейских толщах Вольско-Вымской гряды (Красоткина и др., 2017), а также магматические породы основного либо щелочного состава и кимберлиты (Гракова, 2014).

Изученный межформационный контакт рифейских и девонских отложений в верховьях ручья Волчий имеет ряд схожих признаков с алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-титановой палеороссыпью Ичетью, расположенной в 10 км к востоку-юго-востоку от участка работ. Это близость стратиграфического положения, характер отложений, минеральный состав тяжелой фракции, характеризующийся преобладанием титановых и редкоземельных минералов (Дудар, 1996; Макеев и др., 2020). Самородное золото также имеет большое сходство с золотом палеороссыпи Ичетью: мелкие размеры (0.25—1.0 мм), рудный облик, низкая степень окатанности, разнообразие форм и высокая пробность (Макеев, Дудар, 2003). В настоящее время коренные источники золота палеороссыпи Ичетью не установлены, но предполагается, что оно имеет связь с кварцевыми жилами и сульфидным оруденением рифейских черносланцевых толщ (Дудар, 1996). Наличие относительно высоких золотых концентраций в кварцевых конгломератах указывает на возможное присутствие здесь золоторудных объектов. Можно предполагать наличие в палеорельефе значительных понижений, выполненных подобными отложениями с высокими концентрациями золота. Выявление таких объектов возможно только в рамках поисковых работ. В ассоциации с золотом можно ожидать и проявление алмазов. Тем более что в пределах Цилемского поднятия известно о находке 2 кристаллов алмаза в русловых отложениях реки Цильмы и шлиховых ореолов минералов-спутников алмазов — пирропов в рыхлых и палеозойских отложениях (Тиманский..., 2009).

Выводы

В минеральном составе тяжелой фракции золото-содержащих шлиховых и протоочных проб из межформационной зоны девонских и рифейских отложений преобладают титановые и редкоземельные минералы. Самородное золото характеризуется преимущественно весьма мелким классом крупности

(0.25–1.0 мм), рудным обликом, низкой степенью окатанности и разнообразием форм. В составе золота присутствует только примесь Ag (до 10.3 мас. %). Пробность варьирует от 899 до 1000 ‰. Внутреннее строение золота неоднородное, характеризуется зернистой, блочно-мозаичной структурой. В нём установлены включения пирротина, пирита, галенита и арсенопирита. Включения пирита с примесями Co, Ni и As в золоте аналогичны включениям пирита в кварце. Примечательно, что в пирротине и арсенопирите также присутствуют примеси Co и/или Ni. Следовательно, можно предполагать, что золото и сульфидная минерализация имеют одну природу. Также эта связь подтверждается положительной корреляцией содержаний Au с Co, Ni, Zn, Cu, As, Pb во вскрытом разрезе.

Довольно часто наблюдаются сростания золота с кварцем, реже мусковитом. Впервые на Среднем Тимане установлено сростание золота с рутилом. В составе рутила присутствуют примеси V (0.4–0.5 мас. %), Fe (0.3–0.7 мас. %), Nb (0.4–1.2 мас. %). Подобный рутил встречается на Тимане в алмазосодержащих среднедевонских отложениях пижемской свиты палеороссыпи Ичетью (Средний Тиман), а также в ассывожской толще Южного Тимана (Гракова, 2014; Красоткина и др., 2017).

Присутствие на поверхности золотин нанозолота и микронного золота червеобразных, округлых и других форм разных генераций совместно со скульптурами растворения является результатом перераспределения дисперсного золота при формировании профиля выветривания.

Можно предполагать, что коренными источниками изученного золота являются зоны развития золото-кварц-сульфидной вкрапленной минерализации, локализованные в рифейских сланцевых толщах, и секущие их кварцевые жилы.

Таким образом, характер отложений, их минеральный состав, морфология и состав золота имеют схожесть с отложениями комплексной алмаз-золото-редкоземельно-редкометалльно-титановой палеороссыпи Ичетью, что позволяет прогнозировать присутствие аналогичных рудных объектов не только в пределах Цилемского поднятия, но и всего Тимана.

Работа выполнена в рамках темы НИР № 1220406 00009-2.

Литература / References

- Атлас самородного золота рудных и россыпных месторождений России / Л. А. Николаева, А. М. Гаврилов, А. Н. Некрасова и др. М.: Акварель, 2015. 200 с. Atlas of native gold of ore and placer deposits in Russia. L. A. Nikolaeva, A. M. Gavrilov, A. N. Nekrasova et al. Moscow: Akvarel, 2015, 200 p. (in Russian)
- Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200 000. Издание второе. Серия Тиманская. Лист Q-39-XXVII, XXVIII (Замежная). Объяснительная записка / Н. М. Пармузин; Минприроды России, Роснедра, Коминедра, ЗАО ГТК «МИРЕКО». Электрон. текстовые дан. М.: Московский филиал ВСЕГЕИ, 2021. State geological map of the Russian Federation, scale 1: 200,000. Second edition. Timanskaya series. Sheet Q-39-XXVII, XXVIII (Zamezhnaya). Explanatory note [Electronic resource]. N. M. Parmuzin; Ministry of Natural Resources of Russia, Rosnedra, Kominedra, MIRECO. Electron. text data Moscow: VSEGEI, 2021. (in Russian)
- Гракова О. В. Видовой состав, химические и типоморфные особенности акцессорных минералов девонских алмазосодержащих отложений Южного и Среднего Тимана // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2014. № 3 (231). С. 3–9. Grakova O. V. Species composition, chemical and typomorphic features of accessory minerals of Devonian diamond-bearing deposits of Southern and Middle Timan. Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS, 2014, No. 3 (231), pp. 3–9. (in Russian)
- Дудар В. А. Россыпи Среднего Тимана // Руды и металлы. 1996. № 4. С. 80–90. Dudar V. A. Placers of Middle Timan. Ores and metals, 1996, No. 4, pp. 80–90. (in Russian)
- Жмодик С. М., Калинин Ю. А., Росляков Н. А., Миронов А. Г., Михлин Ю. Л., Белянин Д. К., Немировская Н. А., Спиридонов А. М., Нестеренко Г. В., Айриянец Е. В., Мороз Т. Н., Бульбак Т. А. Наночастицы благородных металлов в зоне гипергенеза // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 2. С. 168–183. Zhmodik S. M., Kalinin Yu. A., Roslyakov N. A., Mironov A. G., Mikhlin Yu. L., Belyanin D. K., Nemirovskaya N. A., Spiridonov A. M., Nesterenko G. V., Airiyants E. V., Moroz T. N., Bulbak T. A. Nanoparticles of noble metals in the hypergenesis zone. Geology of ore deposits, 2012, V. 54, No. 2, pp. 168–183. (in Russian)
- Жмодик С. М., Белянин Д. К., Миронов А. Г., Пархоменко В. С., Титов А. Т., Тепляков Т. В., Цимбалист В. Г., Татарин А. В. Роль биогенного фактора в накоплении платины океаническими железомарганцевыми конкрециями // ДАН. 2009. Т. 426. № 5. С. 658–663. Zhmodik S. M., Belyanin D. K., Mironov A. G., Parkhomenko V. S., Titov A. T., Teplyakov T. V., Tsimbalist V. G., Tatarinov A. V. Role biogenic factor in the accumulation of platinum by oceanic ferromanganese nodules. Doklady Earth Sciences, 2009, V. 426, No. 5, pp. 658–663. (in Russian)
- Калинин Ю. А., Кужугет Р. В., Хусаинова А. Ш., Гаскова О. Л., Бутанаев Ю. В. Эволюция золота в зоне окисления месторождения Копто (Республика Тыва, Россия) // Геология и геофизика. 2022. Т. 63. № 7. С. 956–970. DOI: 10.15372/GiG2021162 Kalinin Yu. A., Kuzhuget R. V., Khusainova A. Sh., Gaskova O. L., Butanaev Yu. V. Evolution of gold in the oxidation zone of the Kopto deposit (Tuva Republic, Russia). Geology and Geophysics, 2022, V. 63, No. 7, pp. 956–970. DOI: 10.15372/GiG2021162 (in Russian)
- Калинин Ю. А., Пальянова Г. А., Бортников Н. С., Наумов Е. А., Ковалев К. Р. Механизмы агрегации и дифференциации золота и серебра при формировании золотосодержащих кор выветривания (на примере месторождений Казахстана) // Доклады РАН. 2018. Т. 482. № 2. С. 190–195. Kalinin Yu. A., Palyanova G. A., Bortnikov N. S., Naumov E. A., Kovalev K. R. Mechanisms of aggregation and differentiation of gold and silver during the formation of gold-bearing weathering crusts (example of deposits in Kazakhstan). Doklady Earth Sciences, 2018, V. 482, No. 2, pp. 190–195. (in Russian)
- Королев Н. М., Марин Ю. Б., Никитина Л. П., Зинченко В. Н., Шисупа У. М. Высококиобиевый рутил из верхнемантийных эклогитовых ксенолитов алмазоносной ким-



- берлитовой трубки Катока, Ангола // Доклады РАН. 2014. Т. 454. №2. С. 207—210.
- Korolev N. M., Marin Yu. B., Nikitina L. P., Zinchenko V. N., Shisupa U. M. High-niobium rutile from upper mantle eclogite xenoliths of the diamond-bearing kimberlite pipe of Catoca, Angola. *Doklady Earth Sciences*, 2014, V. 454, No. 2, pp. 207—210. (in Russian)
- Красоткина А. О., Мачевариани М. М., Королев Н. М., Макеев А. Б., Скублов С. Г. Типоморфные особенности ниобиевого рутила из рудопрооявления Ичетью (Средний Тиман) // ЗРМО. 2017. № 2 С. 88—100.
- Krasotkina A. O., Machevariani M. M., Korolev N. M., Makeev A. B., Skublov S. G. Typomorphic features of niobium rutile from the Ichetyu ore occurrence (Middle Timan). *Proc. RMS*, 2017, No. 2, pp. 88—100. (in Russian)
- Макеев А. Б., Дудар В. А. Самородки золота россыпных проявлений Приполярного Урала и Среднего Тимана // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО. 2003. № 11. С. 15—18.
- Makeev A. B., Dudar V. A. Gold nuggets of placer occurrences of the Subpolar Urals and Middle Timan. *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, 2003, No. 11, pp. 15—18. (in Russian)
- Макеев А. Б., Борисовский С. Е., Красоткина А. О. Химический состав и возраст монацита и куларита из титановых руд Пижемского и Ярегского месторождений (Средний и Южный Тиман) // Георесурсы. 2020. Т. 22. № 1. С. 22—31. DOI: 10.18599/grs.2020.1.22-31.
- Makeev A. B., Borisovsky S. E., Krasotkina A. O. Chemical composition and age of monazite and kularite from titanium ores of the Pizhemskoye and Yaregskoye deposits (Middle and South Timan). *Georesursy*. 2020, V. 22, No. 1, pp. 22—31. DOI: 10.18599/grs.2020.1.22-31. (in Russian)
- Маракушев С. А., Ковалевская А. Н., Сафронов П. П., Бородавкина О. Н., Моисеенко В. Г. Бактериальная перекристаллизация золота // Доклады АН СССР. 1989. 308 (2). С. 482—485.
- Marakushev S. A., Kovalevskaya A. N., Safronov P. P., Borodavkina O. N., Moiseenko V. G. Bacterial recrystallization of gold. *Doklady Earth Sciences*, 1989, 308(2), pp. 482—485. (in Russian)
- Николаева Л. А., Яблокова С. В. Типоморфные особенности самородного золота и их использование при геолого-разведочных работах // Руды и металлы. 2007. № 6. С. 41—57.
- Nikolaeva L. A., Yablokova S. V. Typomorphic features of native gold and their use in geological exploration. *Ores and Metals*, 2007, No. 6, pp. 41—57. (in Russian)
- Осовецкий Б. М. «Новое» золото: монография. Пермь: Перм. гос. нац. исслед. ун-т., 2016. 116 с.
- Osovetsky B. M. "New" gold: monograph. Perm: Perm. state national research univ., 2016, 116 p. (in Russian)
- Петровская Н. В. Самородное золото (общая характеристика, типоморфизм, вопросы генезиса). М.: Наука, 1973. 348 с.
- Petrovskaya N. V. Native gold (general characteristics, typomorphism, problems of genesis). Moscow: Nauka, 1973, 348 p. (in Russian)
- Попенко Г. С. Минералогия золота четвертичных россыпей Узбекистана. Ташкент: Фан, 1982. 144 с.
- Popenko G. S. Mineralogy of gold from Quaternary placers in Uzbekistan. Tashkent: Fan, 1982, 144 p. (in Russian)
- Соболев Н. В., Логвинова А. М., Лаврентьев Ю. Г., Карманов Н. С., Усова Л. В., Козменко О. А., Рогозин А. Л. Nb-рутил из микросенолита эклогита кимберлитовой трубки Загадочная, Якутия // Доклады РАН. 2011. Т. 439. № 1. С. 102—05.
- Sobolev N. V., Logvinova A. M., Lavrentyev Yu. G., Karmanov N. S., Usova L. V., Kozmenko O. A., Rogozin A. L. Nb-rutile from microxenolite eclogite kimberlite Zagadochnaya pipes, Yakutia. *Doklady Earth Sciences*, 2011, V. 439, No. 1, pp. 102—105. (in Russian)
- Тиманский кряж: В 2 т. Т. 2. Литология и стратиграфия, геофизическая характеристика земной коры, тектоника, минерально-сырьевые ресурсы: Монография. Ухта: УГТУ, 2009. 460 с.
- Timan Ridge. In 2 volumes T. 2. Lithology and stratigraphy, geophysical characteristics of the Earth crust, tectonics, mineral resources: Monograph. Ukhta: USTU, 2009, 460 p.
- Shuster J., Reith F. Reflecting on gold geomicrobiology research: thoughts and considerations for future endeavors // *Minerals*. 2018. 8(9). V. 401. 12 p.
- Luvizotto G. L., Zack T. Nb and Zr behavior in rutile during high-grade metamorphism and retrogression: An example from Ivrea-Verbano Zone // *Chem. Geol.* 2009. V. 261. P. 303—317.
- Luvizotto G. L., Zack T., Triebold S., von Eynatten H. Rutile occurrence and trace element behavior in medium-grade metasedimentary rocks: example from the Erzgebirge, Germany // *Miner. Petrol.* 2009. V. 97. P. 233—249
- Reith F., Fairbrother L., Nolze G., Wilhelm O., Clode P. L., Gregg A. Parsons J. E., Wakelin S. A., Pring A., Hough R., Southam G., Brugger J. Nanoparticle factories: Biofilms hold the key to gold dispersion and nugget formation. // *Geology*. 2010. V. 38. P. 843—846.
- Rea M. A., Zammit C. M., Reith F. Bacterial biofilms on gold grains-implications for geomicrobial transformations of gold // *FEMS Microbiol. Ecology*. 2016. 92(6). P. 1—12.
- Zack T., von Eynatten H., Kronz A. Rutile geochemistry and its potential use in quantitative provenance studies // *Sediment. Geol.* 2004. V. 171. P. 37—58.

Поступила в редакцию / Received 28.05.2024

Анализ изображений шлифов карбонатных обломочных пород с помощью систем на основе искусственного интеллекта

А. В. Журавлев, Д. А. Груздев

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
micropalaeontology@gmail.com

В работе рассмотрено применение технологий машинного обучения и «компьютерного зрения» для решения задачи оценки содержания обломочной компоненты в карбонатах по шлифам. Обучающая коллекция представлена 122 монохромными микроизображениями шлифов (фрагменты размером 0.6 x 0.6 мм) слабоизмененных карбонатных пород, разделена на два класса – без литокластов (литокласты отсутствуют или занимают менее 10 % площади изображения) и с литокластами (литокласты занимают более 30 % площади изображения). При обучении модели классификации изображений достигнута точность более 90 %. Приложение модели к изображениям шлифов реализовано через консольные программы с использованием фрейворка Core ML. Программы позволяют оценить вариации «плотности распределения» литокластов по профилю через изображение шлифа и построить «карту» распределения участков с литокластами на изображении. Получаемые в результате работы модели данных можно использовать для сопоставления с геохимической и другой численно выраженной информацией, а также для выбора на шлифе участков с наименьшим содержанием аллохтонной компоненты.

Ключевые слова: обломочные карбонаты, шлифы, машинное обучение, классификация изображений

Image analysis of carbonate clastic rock thin sections using AI systems

A. V. Zhuravlev, D. A. Gruzdev

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The paper deals with the application of machine learning and computer vision technologies for solving the problem of estimating the content of clastic component in carbonates based on thin sections. The training collection is represented by 122 monochrome micro-images of thin sections (fragments of 0.6 x 0.6 mm size) of slightly altered carbonate rocks, divided into two classes – without lithoclasts (lithoclasts are absent or occupy less than 10 % of the image area), with lithoclasts (lithoclasts occupy more than 30 % of the image area). When training the model for image classification, an accuracy of more than 90 % is achieved. The application of the model to the images of thin sections is implemented through console programmes using the Core ML framework. The programmes allow estimating the variations of the “distribution density” of lithoclasts along the profile through the thin section image and to construct a “map” of the distribution of areas with lithoclasts in the image. The resulting data can be used for comparison with geochemical and other numerically expressed information, as well as for selection of areas with the lowest content of allochthonous component in the thin section for the geochemical studies. The model in Core ML format is available upon request from the authors.

Keywords: lithoclastic carbonates, thin sections, machine learning, image classification

Введение

Основанные на технологии машинного обучения системы перспективны для единообразной обработки значительных объемов информации, в том числе изображений. Технологии «компьютерного зрения» широко применяются в различных областях – от управления транспортными средствами до научных исследований. В частности, в геологии существует опыт использования таких систем для диагностики горных пород (Marmo et al., 2005; Su et al., 2020; Baraboshkin et al., 2020; Попов и др., 2020; Jia et al., 2021; Ma et al., 2021; Li et al., 2022; Wu et al., 2022; Wang et al., 2023; Журавлев, Груздев, 2024) и определения органических остатков (Babenko, Telnova, 2022; Duan, 2023; Tetard et al., 2023). Кроме ускорения процесса обработки больших объемов исходных данных, системы на базе машинного обучения обеспечивают единообразие и воспроизводимость результатов, что особенно актуально

в «описательных науках», к которым до сих пор относится геология.

Одной из частных задач, в решении которой представляется перспективным применение технологий машинного обучения и «компьютерного зрения», является задача оценки содержания обломочной компоненты в карбонатах по шлифам. При всей кажущейся простоте решение этой задачи традиционным методом (человек за микроскопом) крайне трудоемко, а результат сильно зависит от субъективных факторов. Это обусловлено сходным составом обломков и матрикса, а также сложной формой обломков. Первое затрудняет диагностику и проведение границ обломков, а второе вызывает проблему стереологической реконструкции.

Результат оценки содержания обломочной компоненты в карбонатах по шлифам может использоваться при диагностике и изучении карбонатных тур-

Для цитирования: Журавлев А. В., Груздев Д. А. Анализ изображений шлифов карбонатных обломочных пород с помощью систем на основе искусственного интеллекта // Вестник геонаук. 2024. 6(354). С. 28–31. DOI: 10.19110/geov.2024.6.3

For citation: Zhuravlev A. V., Gruzdev D. A. Image analysis of carbonate clastic rock thin sections using AI systems. Vestnik of Geosciences, 2024, 6(354), pp. 28–31, doi: 10.19110/geov.2024.6.3

бидитов и других типов пород с неравномерным распределением литокластов. Важен этот параметр и для оценки пригодности карбонатной породы для анализа стабильных изотопов углерода и кислорода, а также других геохимических и микропалеонтологических исследований. Изотопно-геохимическая характеристика участка породы, на котором преобладают литокласты, будет характеризовать не столько условия формирования самих отложений, сколько условия формирования пород, слагающих литокласты. Поэтому выбор места взятия пробы на анализ может сильно влиять на результат. Предварительная оценка «плотности распределения» литокластов в образце может существенно помочь в обосновании такого выбора.

В данной работе предлагается один из возможных вариантов полуколичественной оценки содержания обломочной компоненты в карбонатах по шлифам.

Материал и методы

Для решения поставленной задачи была использована обучающая коллекция, представленная монохромными микроизображениями шлифов (фрагменты размером 0.6×0.6 мм с формальным разрешением около 0.6 мкм/пиксель) слабоизмененных карбонатных пород (рис. 1). Основу коллекции составили шлифы из нижней части карбонатных турбидитов сред-

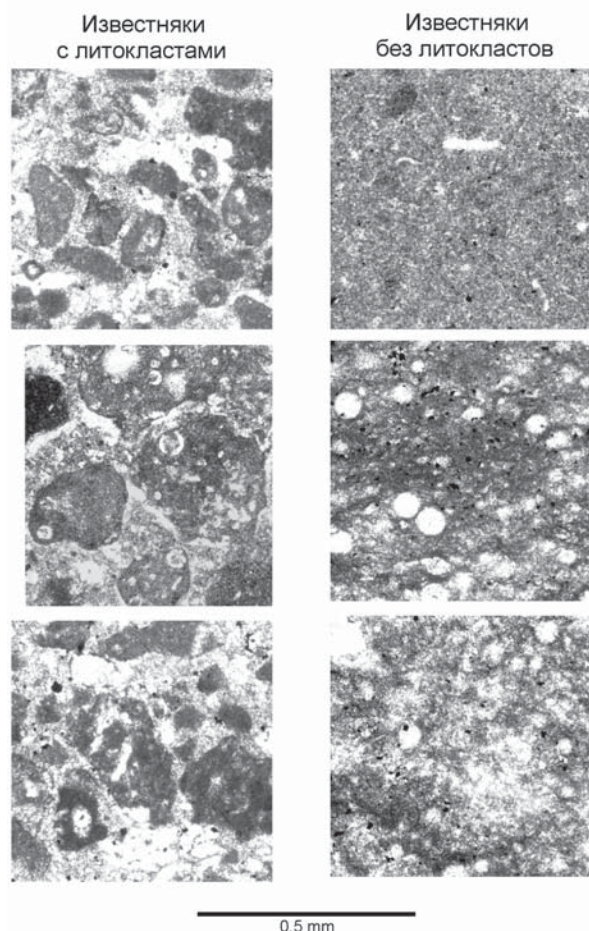


Рис. 1. Примеры микрофотографий шлифов из обучающей коллекции

Fig. 1. Examples of thin section micrographs from the training dataset

нефаменского возраста из разреза на р. Изъяю (Груздев и др., 2023). Путем экспертной оценки коллекция разделена на два класса: без литокластов (литокласты отсутствуют или занимают менее 10 % площади изображения) и с литокластами (литокласты занимают более 30 % площади изображения) (рис. 1). Каждый класс представлен 61 микрофотографией размером 1000×1000 пикселей. Изображения с промежуточным содержанием литокластов (10–30 % площади изображения) в обучающую коллекцию не включались.

В качестве базовой модели взята предобученная модель классификации изображений Image Feature Print V2 (Apple Inc., 2017–2023). Данная модель приводит исходное изображение к размеру 360×360 пикселей и извлекает из него 768 характеристик, которые далее используются при машинном обучении (см. Журавлев, Груздев, 2024) (рис. 2).

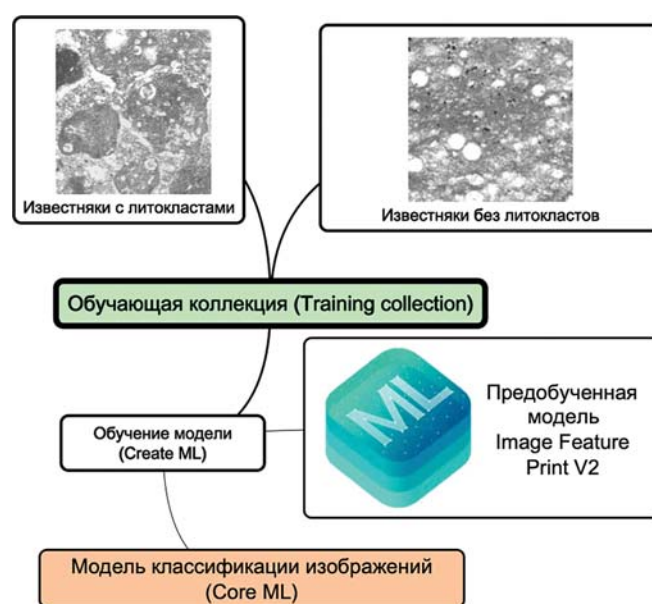


Рис. 2. Схема построения модели классификации изображений шлифов карбонатных пород

Fig. 2. Scheme for building a model of image classification of carbonate rock thin sections

Обучение модели проводилось на охарактеризованной выше обучающей коллекции с использованием утилиты Create ML и фреймворка Core ML (Apple Inc., 2017–2023) (рис. 2). Фреймворк Core ML обеспечивает унифицированное представление для моделей различных типов, позволяющее использовать их в приложениях MacOS и iOS. Выбор в качестве платформы MacOS обусловлен высокой степенью ее программно-аппаратной оптимизации для решения задач машинного обучения. Также модели могут быть использованы в приложениях Windows и Linux после конвертирования утилитой WinMLTools (Microsoft Corporation).

Результаты и их обсуждение

Обучение модели было осуществлено за 11 итераций. Достигнутая точность при обучении (training accuracy) — 100 %, при проверке (validation accuracy) — 91.7 %. Тестирование полученной модели на независимой выборке из 119 изображений показало точность 98 %.

Характер обучающей коллекции накладывает ограничения на использование полученной модели. Она пригодна для анализа изображений шлифов карбонатных пород, слабо измененных вторичными процессами. Применение модели к существенно перекристаллизованым разностям будет давать недостоверный результат.

Приложение полученной модели к изображениям шлифов реализовано через консольные программы. Они позволяют оценить вариации относительного содержания литокластов по профилю через изображение шлифа и построить «карту» распределения участков с литокластами на изображении (рис. 3). Для построения профиля изображение шлифа сканируется окном 0.6×0.6 мм с шагом 0.3 мм. В каждом горизонтальном ряду вычисляется доля случаев, когда в окне сканирования диагностирован «известняк с литокластами». Эта доля, выраженная в процентах, отображается на графике (рис. 3). Для построения «карты» изображение шлифа сканируется окном 0.6×0.6 мм с шагом 0.1 мм. В зависимости от результата классификации точке

в центре окна присваивается значение «известняк с литокластами» или «известняк без литокластов», которое отображается цветом на «карте» (рис. 3).

Очевидно, что применение модели к шлифам карбонатов с литокластами 0.6 мм в поперечнике и более (больше размера окна сканирования) даст недостоверные результаты. Таким образом, разработанная модель применима для тонко-, мелко- и среднезернистых обломочных карбонатов (по классификации Дмитриевой с соавторами (1968): детрит грубый (2–1 мм), крупный (1.0–0.5 мм), средний (0.5–0.25 мм), мелкий (0.25–0.10 мм), тонкий (0.10–0.05 мм)) (Журавлев, Вевель, 2021). Следует отметить, что модель ориентирована на распознавание литокластов и в общем случае игнорирует биокласты и органические остатки.

На рисунке 3 приведен пример результата работы программ по панорамному изображению ориентированного большого шлифа, сделанного из циклита карбонатного турбидита. Верх изображения отвечает верхней части турбидита. На графике и «карте» шлифа видно градационное снижение «плотности распределения» обломочной разности известняка

снизу вверх по циклиту. В случае карбонатных турбидитов «плотность распределения» литокластов характеризует распределение аллохтонной компоненты в породе. Следует отметить, что значение «плотности распределения» литокластов не равно содержанию литокластов в породе, хотя и связано с этой величиной. «Плотность распределения» литокластов показывает, насколько часто на определенной части шлифа встречаются участки с содержанием литокластов более 30 %.

Изучение кальцитурбидитов с помощью разработанной модели показало отчетливую градацию не только по размеру форменных элементов, но и по «плотности распределения» литокластов. Нижняя часть циклитов преимущественно литокластическая, а верхняя — биокластическая и пелитоморфная. Такое разделение отмечено даже в маломощных (первые сантиметры по мощности) циклитах. Таким образом, материал из нижней части кальцитурбидитов любой

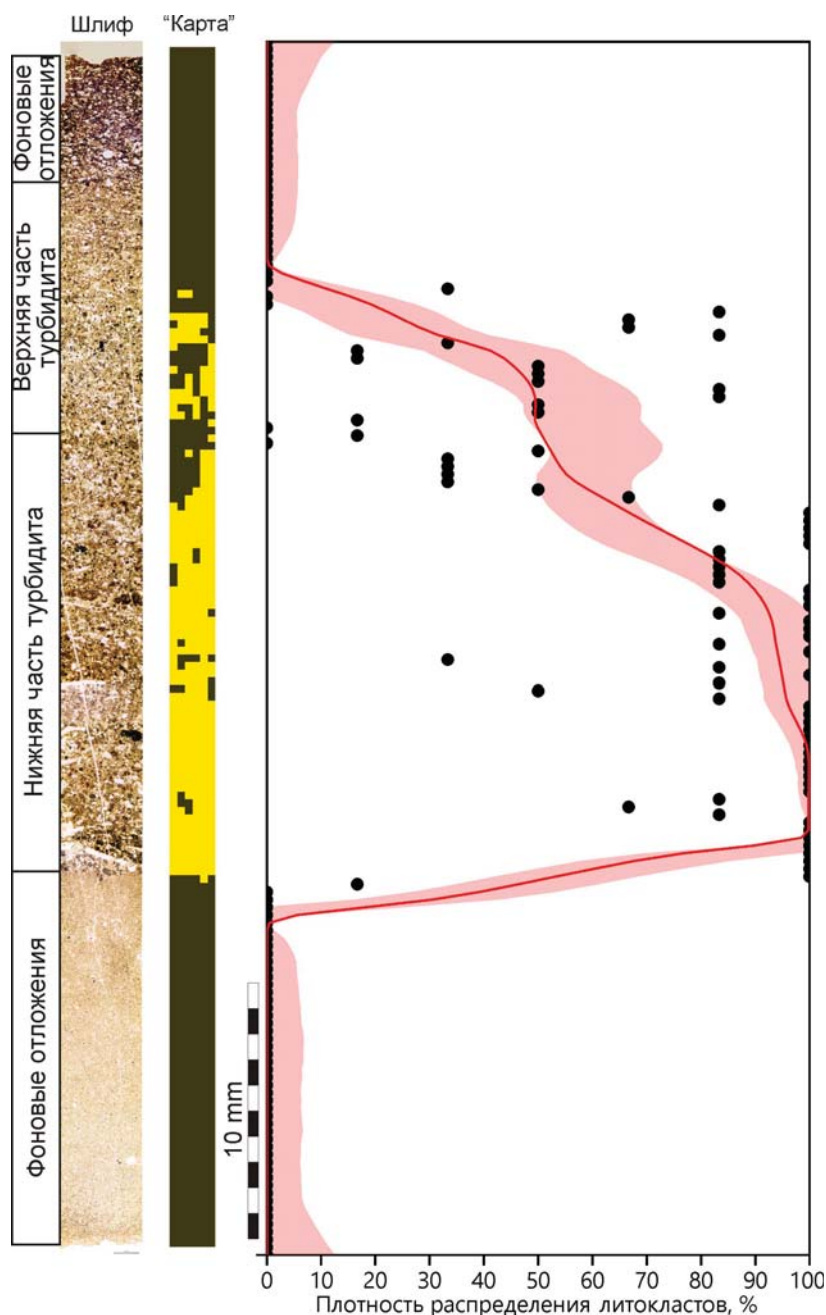


Рис. 3. Пример применения модели классификации изображений к изображению шлифа карбонатного турбидита (поднятие Чернышева, разрез на р. Изьяю, средний фамен, сортамальная свита). Участки с литокластами на «карте» показаны желтым. График плотности распределения литокластов приведен после сглаживания LOESS

Fig. 3. An example of application of the image classification model to an image of a carbonate turbidite (Tchernyshev Uplift, Izyayu River section, Middle Famennian, Sortamael' Formation). Areas with lithoclasts on the 'map' are shown in yellow. The distribution density plot of lithoclasts is shown after LOESS smoothing



мощности содержит значительную аллохтонную примесь и мало пригоден для геохимических и микропалеонтологических исследований.

Выводы

Разработанная модель позволяет проводить оценку «плотности распределения» обломочной компоненты в карбонатах по шлифам с достоверностью более 90 %. Получаемые в результате работы модели данные можно использовать для сопоставления с геохимической и другой численно выраженной информацией, а также для выбора на шлифе участков с наименьшим содержанием аллохтонной компоненты. Последнее целесообразно для планирования точечного геохимического или изотопного опробования и особенно актуально при изучении карбонатных турбидитов. Также этот параметр может быть полезен при оценке вероятности переотложения микрофоссилий.

Разработанная модель классификации изображений шлифов в формате Core ML и консольные приложения на ее основе доступны по запросу у авторов.

Исследования выполнены в рамках темы госзадания 122040600008-5 «Эволюция биоты и среды ее обитания как основа расчленения и геологической корреляции осадочного чехла Печорской плиты и ее складчатого обрамления». Авторы признательны рецензенту за конструктивные замечания, способствовавшие улучшению работы.

Литература / References

- Груздев Д. А., Журавлев А. В., Вевель Я. А., Ерофеевский А. В., Смолева И. В. Фаменский отрицательный экскурс изотопного состава углерода в разрезе на р. Изъяю (поднятия Чернышева, Предуральский краевой прогиб) // Литосфера. 2023. № 23(2). С. 165—178. DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-2-165-178
- Gruzdev D. A., Zhuravlev A. V., Vevel Ya. A., Erofeevsky A. V., Smoleva I. V. Famennian negative carbon isotope excursion in the Izayyu River section (Tchernyshev Uplift, Cis-Uralian Foredeep). Lithosphere (Russia), No. 23(2), pp. 165—178. (in Russian) DOI: 10.24930/1681-9004-2023-23-2-165-178
- Дмитриева Е. В., Ершова Г. И., Либрович В. Л., Некрасова В. И., Орешикова Е. И. Атлас текстур и структур осадочных горных пород. Ч. 2. Карбонатные породы. М.: Недра, 1968. 700 с.
- Dmitrieva E. V., Ershova G. I., Librovich V. L., Nekrasova V. I., Oreshnikova E. I. Atlas of structures and textures of sedimentary rocks. Pt 2. Carbonate rocks. Moscow: Nedra, 1968, 700 p. (in Russian)
- Журавлев А. В., Вевель Я. А. Строение разреза изьяюской свиты (верхний девон — нижний карбон) в типовой местности — южной части поднятия Чернышева // Литосфера. 2021. № 21(4). С. 546—559. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-4-546-559
- Zhuravlev A. V., Vevel Ya. A. Sequence composition of the Iz'yayu Formation (Upper Devonian–Lower Carboniferous) in the type area — the south of Tchernyshev Uplift. Lithosphere (Russia), 2021, 21(4), pp. 546—559. (in Russian) DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-4-546-559
- Журавлев А. В., Груздев Д. А. Автоматизированная диагностика карбонатных пород по микрофотографиям шлифов на основе машинного обучения // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2024. Т. 19. № 2. https://www.ngtp.ru/rub/2024/11_2024.html EDN: YUQJXC
- Zhuravlev A. V., Gruzdev D. A. Automated diagnostics of carbonate rocks from microphotographs of thin sections based on machine learning. Oil and Gas geology Theory and Practice, 2024, V. 19, No. 2. Available at: https://www.ngtp.ru/rub/2024/11_2024.html EDN: YUQJXC (in Russian)
- Попов Н. А., Путилов И. С., Гуляева А. А., Винокурова Е. Е. Применение технологий глубокого обучения для изучения шлифов на примере Усинского месторождения нефти // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331. № 6. С. 100—112. DOI: 10.18799/24131830/2020/6/2681
- Popov N. A., Putilov I. S., Gulyaeva A. A., Vinokurova E. E. Application of deep learning technologies for studying thin sections on the example of Usinsk oil field. Proc. of Tomsk Polytechnical University, Georesource engineering, 2020, V. 331, No. 6, pp. 100—112. DOI: 10.18799/24131830/2020/6/2681 (in Russian)
- Babenko V. V., Telnova O. P. Problems and prospects of digital identification of Devonian spores for the stratigraphy // Paleontological journal. 2022. Vol. 56. P. 1067—1073. DOI: 10.1134/S0031030122090040
- Baraboshkin E. E., Ismailova L. S., Orlov D. M., Zhukovskaya E. A., Kalmykov G. A., Khotylev O. V., Baraboshkin E. Y., Koroteev D. A. Deep convolutions for indepth automated rock typing // Computers and Geosciences. 2020. №135. 104330 DOI: 10.1016/j.cageo.2019.104330.
- Duan X. Automatic identification of conodont species using fine-grained convolutional neural networks // Frontiers in Earth Science. 2023. Vol. 10. No 1. DOI: 10.3389/feart.2022.1046327
- Ma H., Han G. Q., Peng L., Zhu L. Y., Shu J. Rock thin sections identification based on improved squeeze-and-excitation networks model // Computers & Geosciences. 2021. Vol. 152. 104780. DOI: 10.1016/j.cageo.2021.104780
- Marmo R., Amodio S., Tagliaferri R., Ferreri V., Longo G. Textural identification of carbonate rocks by image processing and neural network: methodology proposal and examples // Computers & Geosciences. 2005. Vol. 31. P. 649—659. DOI: 10.1016/j.cageo.2004.11.016
- Su C., Xu S. J., Zhu K. Y., Zhang X. C. Rock classification in petrographic thin section images based on concatenated convolutional neural networks // Earth Science Informatics. 2020. Vol. 13. P. 1477—1484. DOI: 10.1007/s12145-020-00505-1
- Tetard M., Carlsson V., Meunier M., Danelian T. Merging databases for CNN image recognition, increasing bias or improving results? // Marine Micropaleontology. 2023. Vol. 185. 102296. DOI: 10.1016/j.marmicro.2023.102296
- Wang H., Cao W., Zhou Y., Yu P., Yang W. Multitarget intelligent recognition of petrographic thin section images based on faster RCNN // Minerals. 2023. Vol. 13. 872. DOI: 10.3390/min13070872
- Wu B. K., Ji X. H., He M. Y., Yang M., Zhang Z. C., Chen Y., Wang Y. Z., Zheng X. Q. Mineral identification based on multi-label image classification // Minerals. 2022. Vol. 12. 1338. DOI: 10.3390/min12111338

Поступила в редакцию / Received 16.05.2024



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

УДК 622.7:533.492.1

DOI: 10.19110/geov.2024.6.4

Направленные изменения технологических свойств минерального сырья: новые подходы и технологии

К 80-летию со дня рождения Б. А. Осташенко (1944–2008)

О. Б. Котова, Д. А. Шушков, А. В. Понарядов, Л. С. Кочева, И. Н. Размыслов

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

В развитие идей и инноваций доктора геолого-минералогических наук Бориса Андреевича Осташенко в области направленного изменения свойств минералов выполнены исследования алюминийсодержащего сырья и углеродсодержащего сырья растительного происхождения. Показаны основные тенденции развития технологической минералогии, новые подходы к технологиям прогнозной оценки качества минерального сырья, горнопромышленных и других отходов для адаптации композитных материалов путем постструктурного модифицирования.

Ключевые слова: алюминийсодержащее сырье, углеродсодержащее сырье, композитные сорбенты, бокситы, красный шлам, глины, цеолиты

Targeted modification of the technological properties of mineral raw materials: new approaches and technologies

Commemorating the 80th anniversary of B. A. Ostashchenko (1944–2008)

O. B. Kotova, D. A. Shushkov, A. V. Ponaryadov, L. S. Kocheva, I. N. Razmyslov

Institute of Geology, FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

To develop the ideas and innovations of Dr. (Geological and Mineralogical Sciences) Boris Andreevich Ostaschenko in the field of targeted modification of the properties of minerals, we studied of aluminum-containing raw materials and carbon-containing raw materials of plant origin. The main trends in the development of technological mineralogy, new approaches to technologies for predictive assessment of the quality of mineral raw materials, mining and other wastes for the adaptation of composite materials through post-structural modification are shown.

Keywords: aluminum containing raw materials, carbon-containing raw materials, composite sorbents, bauxite, red mud, clays, zeolites

Введение

Технологическая минералогия (ТМ) является одним из основополагающих разделов в концепции развития минерально-сырьевой базы России. Ее формирование и развитие связано с именами крупных ученых, таких как А. И. Гинзбург, В. И. Ревнивцев, В. М. Изоитко и др. Научные труды и разработки доктора геолого-минералогических наук Бориса Андреевича Осташенко и его «кузницы кадров» — несомненно, особая фаза развития ТМ в области технологий переработки минерального сырья, решения экологических проблем горнорудных районов, особенно когда речь идет об упорных рудах, таких как бокситы (Перспективные..., 2010).

Б. А. Осташенко в своих работах выделил крупную научную проблему в рамках ТМ — направленное изменение технологических свойств минералов мелких и тонких классов с целью оптимизации процессов освоения минерального сырья — опираясь на физические методы воздействия как альтернативные химическим*. Для системы «минерал — среда» были выделены следующие значимые направления:

* Осташенко Б. А. Направленное изменение технологических свойств минералов: Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Сыктывкар, 1998. 44 с.

Ostaschenko B. A. Directed change in the technological properties of minerals. Cand. thesis, Syktyvkar, 1998, 44 p. (in Russian)

Для цитирования: Котова О. Б., Шушков Д. А., Понарядов А. В., Кочева Л. С., Размыслов И. Н. Направленные изменения технологических свойств минерального сырья: новые подходы и технологии. К 80-летию юбилею Б. А. Осташенко (1944–2008) // Вестник геонаук. 2024. 6(354). С. 32–39. DOI: 10.19110/geov.2024.6.4

For citation: Kotova O. B., Shushkov D. A., Ponaryadov A. V., Kocheva L. S., Razmyslov I. N. Targeted modification of the technological properties of mineral raw materials: new approaches and technologies. Commemorating the 80th anniversary of B. A. Ostashchenko (1944–2008). Vestnik of Geosciences, 2024, 6(354), pp. 32–39, doi: 10.19110/geov.2024.6.4



— роль размерного фактора, позволяющего влиять на процессы обогащения посредством воздействия на среду, а не на сам минерал, регулируя взаимосвязь в системе «минерал — среда» на макро- и микроуровнях;

— установление закономерностей направленного изменения свойств минералов мелкого, тонкого и ультратонкого классов физическими методами на примере исследования широкого спектра минеральных объектов;

— создание концепции повышения качества и комплексного использования минеральных ресурсов для разработки стратегии освоения минерально-сырьевой базы крупных сырьевых регионов РФ на основе комплекса различных экологически чистых технологий обогащения.

Самым главным практическим приложением таких изысканий является вовлечение некондиционного (нетрадиционного) минерального сырья в технологические процессы, повышение извлечения полезных компонентов при обогащении и сортности концентратов, а также улучшение их вскрытия при металлургическом переделе, расширение перечня промышленных продуктов, включая преодоление дефицита стратегических металлов (Cr, Mn, Ti, REE, Be, Al и др.) (Государственный..., 2022). Одним из способов преодоления дефицита стратегических металлов, вызванного низким качеством балансовых руд, является внедрение новых природоподобных технологий (включая рациональные технологические схемы обогащения и технологического передела) (Наумов и др., 2022). По сути, это продолжение работ Б. А. Остащенко и других ученых, которые в основу технологий закладывают природные процессы, привлекая к их управлению достижениями человеческих знаний (инновации). В рамках обсуждения природоподобных технологий идут активные дискуссии их форм развития, преимуществ и потенциальных рисков (Ковальчук и др., 2019; Бортников и др., 2023). Развитие природоподобных технологий подразумевает вовлечение (слияние) органического и неорганического сырья в интеграционные процессы прорывных научных направлений: нано-, био-, информационных и др. (Юшкин и др., 1999; Гордиенко и др., 2017; Щемелинина и др., 2023).

Основной целью статьи является развитие идей д. г.-м. н. Б. А. Остащенко в области технологической минералогии (на примере алюминийсодержащего сырья и углеродсодержащего сырья растительного происхождения).

Материалы и методы

Объекты исследований:

— глины (месторождения бокситов, Средний Тиман): аллиты, каолины и ссилиты, которые генетически связаны с бокситами и, соответственно, влияют на формирование пород и их технологические свойства;

— сорбенты (или композитные материалы) на основе каолинита и вермикулита, углеродсодержащего сырья растительного происхождения (кора сосны и отходы деревообработки), горнопромышленных отходов (КШ — красные шламы) и биогосорбенты на основе алюмосиликатов (включая термоактивирован-

ный вермикулит) и активных микроорганизмов-деструкторов.

Химический состав образцов определялся рентгенофлуоресцентным анализом (Horiba MESA 500). Диагностику минералов и изучение количественного минерального состава осуществляли рентгенографическим фазовым анализом (рентгеновский дифрактометр Shimadzu XRD-6000). Микроэлементный состав определялся ICP-MS, Agilent 7700х. Пористость и удельная поверхность устанавливались методом BET (анализатор Nova 1200e). Термический анализ (ТГА и ДСК) осуществлялся на термогравиметрическом анализаторе Shimadzu DTG-60H (20—1500 °C) со скоростью нагрева 10 °C/мин.

КШ — промышленные отходы от переработки бокситов Уральского алюминиевого завода (УАЗ). Химический состав КШ определяли с помощью силикатного анализа. Плотность измеряли пикнометрическим методом. Сорбцию радионуклидов проводили по методике, описанной в работе (Котова и др., 2017).

Сорбенты-мелиоранты (СМ) получены из углеродсодержащего сырья растительного происхождения (кора сосны — образец Sb-1 и кородревесные отходы из отвалов длительного хранения, образец Sb-2) методом гидрофобизации вторичным продуктом ЦБП — сульфатным мылом — и осаждением гидрофобизатора сульфатом алюминия $Al_2(SO_4)_3$. Сорбционные характеристики полученных образцов испытывали на примере тяжелой нефти Харьягинского месторождения (Республика Коми) и нефти Возейского месторождения (залежь Нижнепермская). В качестве нефтепродуктов использовали смесь «машинное масло М8-Б1 / бензин АИ 95» в соотношении 1 : 3. Для определения характеристик полученных сорбентов использовали эмульсию «вода в нефти» в соотношении 1 : 1 по массе или смесь «машинное масло / бензин» в соотношении 1 : 3. По результатам экспериментов рассчитывали коэффициент поглощения, степень десорбции нефти, степень фиксации (удержания) нефти сорбентом. Удельную площадь поверхности и особенности пористой структуры образцов определяли на автоматизированной системе ASAP 2020MP (Micromeritics, США), предназначенной для измерения характеристик адсорбционной емкости объемным методом с использованием газов (метод низкотемпературной адсорбции азота). Инструментальная погрешность измерений 0.12—0.15 %. Элементный анализ образцов проводили на анализаторе фирмы Hewlett Packard (США). Микрофотографии получали с помощью электронного микроскопа Tesla 500 при рабочем напряжении 60 кВ. Степень увеличения — 3000—30000х.

Результаты и их обсуждение

Вовлечение в переработку высокодисперсного природного и техногенного сырья стимулировало развитие новых методов прогнозной оценки его качества. Например, изучение явлений в системе «минерал — среда» позволило разработать новые технологии прогнозной оценки качества минерального сырья и горнопромышленных отходов, заключающиеся в интеграции минералогических методов анализа и экспериментальных работ в области структурных, фазовых и химических трансформаций минералов при различ-

ных воздействиях на них в процессах подготовки и обогащения.

Технологии прогнозной оценки качества минерального сырья и горнопромышленных отходов. С позиции ТМ прогнозная оценка качества минерального сырья и горнопромышленных отходов предполагает мобилизацию современных методов минералогических исследований для выявления минералогических характеристик (минерального (фазового) состава, в том числе форм нахождения полезного компонента, морфоструктурных особенностей, характера распределения минералов (фаз), их реального состава и строения), определяющих стратегию и тактику их использования (Ozhogina et al., 2017, Пирогов, Ожогина, 2020; Котова и др. 2021).

Бокситоносные отложения Республики Коми представляют собой комплексное сырье для производства глинозема, железа, редкоземельных элементов и т. д. Ранее экспериментальные исследования по обогащению белых бокситов Южного Тимана показали, что имеется принципиальная возможность получить из высокосернистых бокситов малосернистые, что позволяет существенно расширить ресурсный потенциал алюминиевого сырья Республики Коми (рис. 1) (Осташенко, 1996).

Также ранее было высказано предположение о перспективности комплексных месторождений, где помимо бокситов присутствуют золото и теллур в корках выветривания (Вахрушев, 2011). Ряд работ посвящен новым методам выявления минералого-технологических особенностей бокситов и отходам их переработки, а также технологиям направленного изменения их физико-химических свойств (Вахрушев и др., 2009; Razmyslov et al., 2019; Котова и др., 2021). Ввиду ограниченности качественного бокситового сырья и сложной геополитической обстановки страны возникает необходимость расширения перспективных алюминийсодержащих видов сырья (нефелины, каолины, кианиты и др.). Нами исследованы глины, которые являются *алюмосиликатным сырьем и природными пористыми материалами*. Исследование минералогических и физико-химических свойств глин (аллиты, каолины и сиаллиты) представляется актуальным для технологий их переработ-

ки и промышленного применения, например для производства кремнезема, а также огнеупоров, носителей для биогеосорбентов, реакторов, наночастиц, катализаторов, теплоизоляторов и т. д.

Сиаллиты и аллиты отчасти сохраняют плитчатую, слоистую текстуру материнских пород, также им присущи коломорфные, однородные и пятнистые текстуры (рис. 2, b, c). Породы преимущественно бурых, светло-бурых цветов с зеленоватым оттенком. Каолины изменяются от светло-серых, розовато-белых до красно-розовых, светло-бурых оттенков за счет примесей минералов железа (рис. 2, a). Структура пород мелкозернистая. Преобладание темноокрашенных разновидностей алюмосиликатного бесщелочного сырья связано с окислительными процессами и преобладанием трехвалентного железа в системе.

Каолины можно рассматривать как бедные руды для производства глинозема (~ 40 % Al_2O_3 , ~ 57 % SiO_2), которые тем не менее превосходят по содержанию Al_2O_3 и кремневому модулю нефелиновые. Содержание оксидов железа в каолинах достигает 14 %. Примесь TiO_2 не превышает 1.5 %.

Глины относятся к мезо- и микропористым материалам. Аллиты и сиаллиты обладают более развитой

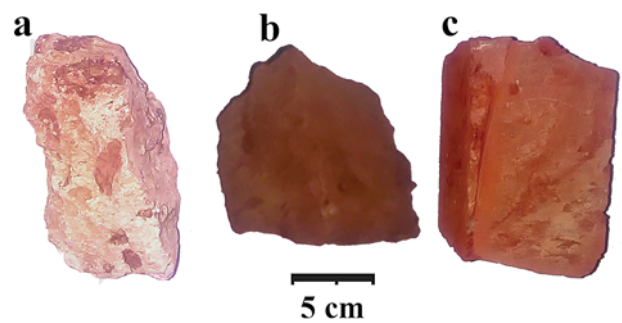


Рис. 2. Алюминийсодержащее сырье месторождений бокситов:

a — каолины, b — сиаллиты, c — аллиты

Fig. 2. Aluminum-bearing raw materials of bauxite deposits:

a — kaolin, b — sialite, c — allite



Рис. 1. Пузлинско-Тимшерский бокситоносный район Республики Коми. 2003 г.

Слева направо: Б. А. Осташенко, В. В. Лихачев, В. В. Беляев

Fig. 1. Puzlinsko-Timshersky bauxite-bearing area of the Komi Republic. 2003.

From left to right: B. A. Ostashchenko, V. V. Likhachev, V. V. Belyaev



удельной поверхностью в сравнении с каолинами, что определяет их реакционные свойства, способность (активность) адсорбировать вещества. Методом BET определена удельная поверхность, которая находится в интервале 2–30 м²/г. Исследуемые глины (продукты выветривания) сформированы высокодисперсным материалом. Примерно 80 % вещества составляют частицы размером меньше 20 мкм.

По минеральному составу каолины являются ценными глинистыми породами для производства керамики, в том числе огнеупорной. Наиболее перспективным сырьем для промышленности является муллит. Контроль соотношения фаз (Al₂O₃/SiO₂) на определённых этапах синтеза композита дает возможность управления механическими и другими свойствами матрицы для целевых прототипов промышленных продуктов. Муллитовая фаза фиксируется при $t = 1200$ °C с появлением кристобалита (Kotova et al., 2022).

Опираясь на свои исследования и публикации коллег, следует отметить, что **техногенные отходы** топливной (золы и золы-уноса ТЭС) (Kotova и др., 2016; Crețescu et al., 2019) и металлургической индустрии (шлаки и т. д.) (Трушко, 2017; Котова и др., 2017) несут серьезные экологические риски. Например, угольная зола уноса генерируется во время сжигания угля на теплоэлектростанциях, и без утилизации этого промышленного отхода экологические проблемы регионов резко возрастают. Утилизация же золы представляет собой преимущество, поскольку эти отходы находятся в большом количестве и это способ их капитализации (например, синтез цеолитов). Минералогическое изучение горнопромышленных отходов, которые сегодня являются практически основным типом техногенного сырья, позволяет провести его комплексную оценку и определить пути дальнейшего использования: в качестве исходного сырья без переработки, например для извлечения ценных металлов; в качестве исходного сырья после дополнительной переработки для получения материальных ресурсов в индустрии; в качестве объекта утилизации.

КШ являются отходами переработки бокситовых руд и неотъемлемой частью проблемы повышения эффективности и комплексности переработки отечественного сырья. По данным РФА, основными железосодержащими минералами КШ являются гематит, гётит, находящиеся в ультрадисперсном состоянии, также идентифицированы минералы алюмосиликатов. Ультрадисперсное состояние вещества дает основание для прогнозирования высоких сорбционных свойств КШ. Действительно, КШ обладают удельной площадью поверхности ~ 19 м²/г при плотности ~ 3 г/м³. КШ рассматриваются в качестве активных сорбентов в отношении как радионуклидов (урана, радия, тория), так и тяжелых металлов (Cd, Sc и др.) (Котова и др., 2017). Изучена кинетика сорбции КШ по отношению к урану (рис. 3): данный продукт характеризуется высокой сорбционной активностью в отношении U₂₃₈. Так, исследования кинетики сорбции Cd КШ показали, что термическая обработка приводит к увеличению скорости сорбции, удельной поверхности (32.77 м²/г) и повышению эффективности сорбции.

Технологии адаптации композитных материалов путем постконструкционного модифицирования. Актуальность поиска эффективных технологий адап-

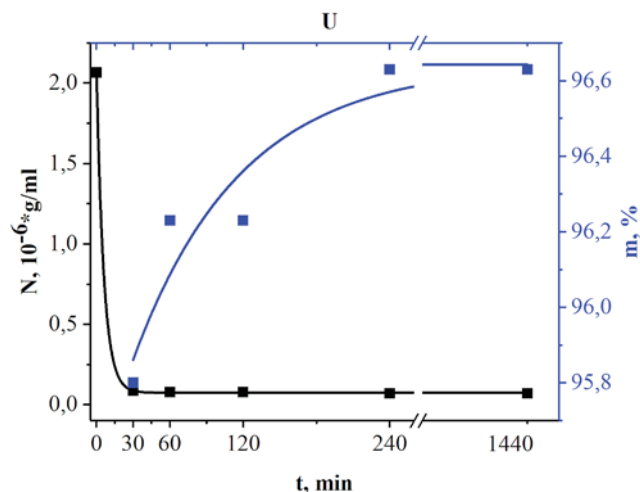


Рис. 3. Показатели сорбции урана (черный цвет — концентрация радионуклида в растворе после сорбции, синий — степень извлечения)

Fig. 3. Uranium sorption (black — concentration of radionuclide in solution after sorption, blue — extraction degree)

тации композитных материалов путем постконструкционного модифицирования обусловлена тем, что природные сорбенты недостаточно эффективны по своим техническим показателям (устойчивость, прочность, избирательность и др.). Например, каолиновые глины — природные композитные материалы — обладают широким спектром уникальных физико-химических свойств, однако из-за сложности их внутренней структуры и состава синтез композитного продукта с контролируемой кинетикой кристаллизации, текстурой и пористостью затруднен для реализации.

Для формирования определенных физико-химических свойств природных композитных материалов наиболее широко используется термическая активация. При повышении температуры природный композитный материал (цеолиты, глина) подвергаются модифицированию, включая изменение межкристаллической пористости, фазовым трансформациям и т. д., которые повышают их эксплуатационные характеристики. Например, при сравнительной оценке эффективности минеральных носителей в качестве подложки для иммобилизации микроорганизмов для окисления углеводородов при загрязнении почвы и воды термоактивированный вермикулит оказался наиболее эффективным в процессах ремедиации в сравнении с нетермоактивированными алюмосиликатами, рис. 4 (Мязин и др., 2024).

Популярными становятся технологии направленного синтеза (моделирования) композитных материалов на основе алюмосиликатов (Гордиенко и др., 2017). На основе оценки термодинамики реакций в системе [(Al-Si-O-Me)-муллит] нами определен менее энергозатратный способ синтеза муллита. Предложенные технологии контролируют соотношение фаз Al₂O₃ и SiO₂ на этапах синтеза конечного продукта из прекурсора, что в дальнейшем позволит улучшить механические и другие свойства матрицы получаемого материала для целевых прототипов промышленных продуктов (Ponaryadov et al., 2023).

Одним из перспективных направлений повышения эффективности композитных сорбентов может

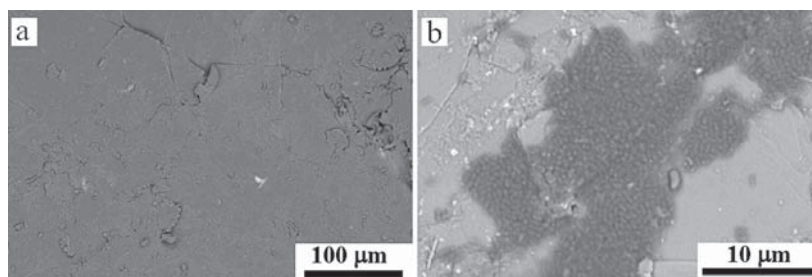


Рис. 4. Термовермикулит без бактерий (а); колонии углеводородокисляющих бактерий на поверхности термовермикулита (b)

Fig. 4. Thermovermiculite without bacteria (a); colonies of hydrocarbon-oxidizing bacteria on the surface of thermovermiculite (b)

стать иммобилизация на их поверхности микроорганизмов. Конструирование биогеосорбентов является наглядным примером междисциплинарного синергизма, когда подключается принцип комплексирования физико-химических свойств (сорбционной емкости, устойчивости, селективности, экологической совместимости и др.) минеральных систем (глин, цеолитов и др.) в процессах иммобилизации и консервации с преимуществами биотехнологий. Активно продолжаются разработки методов ремедиации активными микроорганизмами-деструкторами с целью повышения эффективности их закрепления (удержания) на минеральных носителях и сохранения жизнеспособности в мероприятиях очистки сточных вод и других водных систем (Мелехина и др., 2016; Мязин и др., 2024).

Наши многолетние минералого-технологические исследования в области алюмосиликатного сырья показывают высокий физико-химический потенциал глин, природных и синтетических цеолитов для иммобилизации микроорганизмов (Щемелинина и др., 2018). В дополнение к их ионообменной способности, большой площади поверхности и пористости они характеризуются доступностью и низкой стоимостью при реализации технологий синтеза промышленных продуктов. Один из ключевых факторов конструирования биогеосорбента — изучение особенностей кристаллохимической (термодинамической) устойчивости и механической прочности алюмосиликатных систем (цеолитов, глин) с целью повышения эффективности закрепления (удержания) клеток микроорганизмов, сохранения их жизнеспособности и активности внеклеточных ферментов путем замены лиофильной сушки на иммобилизацию микроорганизмов на сорбент. В экологически неблагоприятных условиях сорбенты-алюмосиликаты выступают в качестве «базы-транспорта» для бактерий, что позволяет им находиться в жизнеспособном состоянии до 10 лет (Щемелинина и др., 2021).

Технологии прогнозирования качества углеродсодержащего сырья растительного происхождения. Различные углеродсодержащие материалы, такие как кора или древесные отходы, а также активированные угли, углеродные волокна, высокоупорядоченные углероды, полученные, например, термохимической конверсией биополимеров, дают информацию о новых стратегиях с точки зрения метода получения и их возможного применения в современных схемах биопереработки.

Кора (древесные отходы) является природным композиционным пористым материалом. Согласно дан-

ным элементного анализа, кора сосны (образец Sb-1) содержит: С — 44.1, О — 45.5, Н — 3.6, N — 0.2 %. Содержание минеральных примесей составляет 6.6 %. Данные свидетельствуют о значительном содержании в химической структуре компонентов коры кислородсодержащих функциональных групп (-ОН, -СО, -СООН и др.), отвечающих за ценные свойства материала, в том числе сорбционные. Кроме того, древесная кора является источником органического кислорода.

На рис. 5, а—d представлены электронные микрофотографии образцов исходной сосновой коры, на которых присутствуют характерные морфологические образования растительной ткани: сосудистые, трахеидные и волокнистые элементы, фрагменты клеточной структуры. Рис. 5, е—h демонстрирует исходный материал после проведения гидрофобизации. Отмечается эффект обволакивания морфологических элементов осевшим гидрофобизатором. Кроме этого, наблюдаются отдельные глобулы гидрофобизатора (рис. 5, f, g). Принципиально важным является факт сохранения пористой структуры растительной ткани (рис. 5, е, h), характерной для исходной коры. С одной стороны, оседание сульфатного мыла на растительных волокнах придает исходному материалу свойства гидрофобности, что является необходимым условием для сбора нефти и нефтепродуктов. С другой стороны, сохранившаяся пористость создает развитую внутреннюю поверхность получаемого продукта, что обеспечивает протекание процесса физической сорбции.

Наиболее важными характеристиками сорбентов любого происхождения являются удельная поверхность и объем микро- и макропор материалов. Для изучения поверхностно-пористых характеристик нами использован метод низкотемпературной адсорбции азота. Как видно на рис. 6, изотермы адсорбции-десорбции N₂ образцов Sb-1 и Sb-2 качественно одинаковы. На основе анализа формы этих изотерм можно сделать вывод, что они относятся к типу IV (а) в соответствии с классификацией IUPAC (Thommes, et al., 2015). Характерной особенностью изотермы IV типа является четко выраженная петля гистерезиса, обусловленная капиллярной конденсацией, которая, как правило, возникает в мезопорах. Следует отметить, что изотермы IV типа наблюдаются для многих промышленных мезопористых адсорбентов. Принимая во внимание положение (почти вертикальное) ветвей адсорбции и десорбции, петли гистерезиса, показанные на рис. 6, следует отнести к типу H1.

В табл. 1 представлены результаты оценки поверхностно-пористых характеристик исследуемых образ-

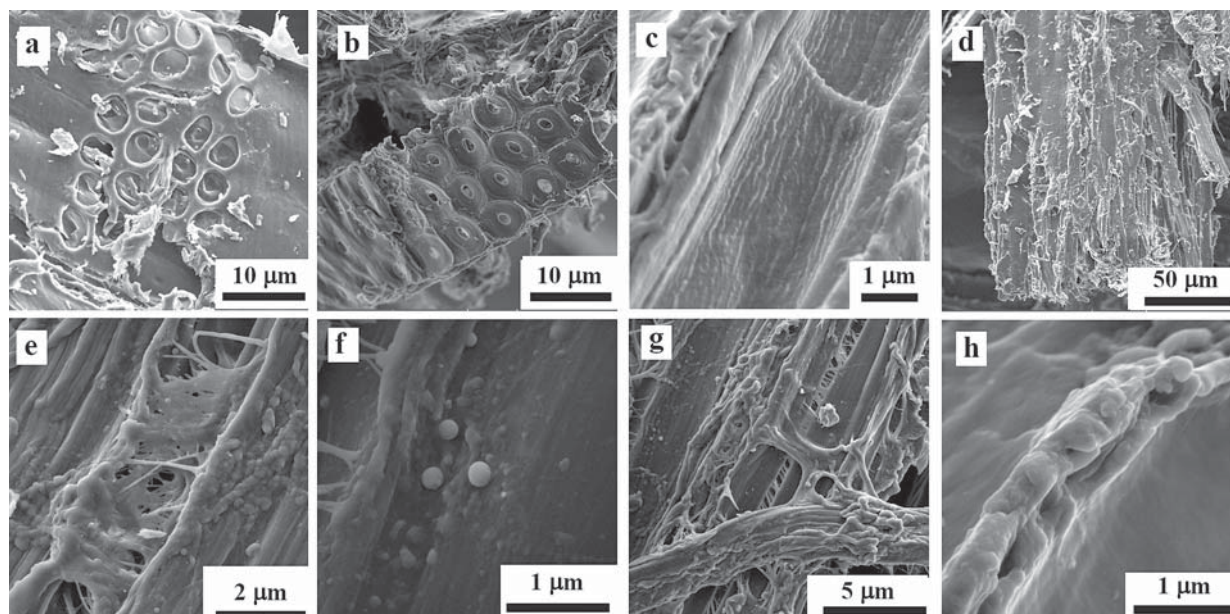


Рис. 5. СЭМ-изображения образцов коры Sb-1 до (а–d) и после (е–h) проведения процесса гидрофобизации
Fig. 5. SEM images of Sb-1 bark samples before (a–d) and after (e–h) the hydrophobization process

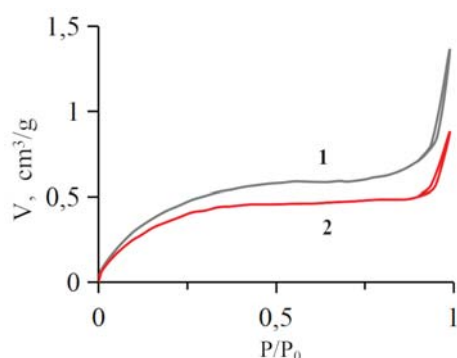


Рис. 6. Изотермы адсорбции азота для образцов нефтесорбентов на основе сосновой коры Sb-1 (1) и кородревесных отходов Sb-2 (2)

Fig. 6. Nitrogen adsorption isotherms for samples of oil adsorbents based on pine bark Sb-1 (1) and bark-wood waste Sb-2 (2)

цов Sb-1 и Sb-2. Согласно полученным результатам, величины удельной площади поверхности, рассчитанные по методу Брунауэра—Эммета—Теллера (SSA-BET), составили 3.1 и 2.3 м²/г соответственно (табл. 1). Это сравнительно невысокие показатели, однако для нефтесорбентов более существенным фактором является объем мезопор. Как видно из данных, доля мезопор в суммарном объеме пор достигает 90 %. Данный результат и выявленные особенности изотерм подтверждают вывод о том, что сорбенты на основе коры и кородревесных отходов относятся к мезопористому типу. Это означает, что указанные растительные отходы представляют собой достаточно перспективный ресурс для получения недорогих, но эффективных нефтесорбентов-мелиораторов.

Заключение

Алюминийсодержащее сырье (природного и техногенного происхождения) отличается сложным мине-

Таблица 1. Структурные характеристики образцов нефтесорбентов на основе коры и кородревесных отходов

Table 1. Structural characteristics of samples of oil sorbents based on bark and bark-wood wastes

Образцы / Samples	Sb-1	Sb-2
УПП по БЭТ, м ² /г SSA-BET, m ² /g	3.1	2.3
Суммарный объем пор по БЭТ, см ³ /г Total pore volume according to BET, cm ³ /g	3.9	3.3
Объем мезопор, см ³ /г Mesopore volume, cm ³ /g	3.4	3.1
Объем микропор, см ³ /г Micropore volume, cm ³ /g	1.4	1.8
Средняя ширина пор, нм Average pore width, nm	2.5	2.2

Примечание: УПП — удельная площадь поверхности; БЭТ — метод Брунауэра — Эммета — Тейлера.

ральным составом и текстурно-структурными особенностями с высокой долей дисперсного материала, поэтому для получения достоверной информации о составе и строении необходимо не только оптимизировать комплекс физических методов анализа, но и интегрировать методы моделирования в технологии прогнозной оценки качества для стратегии их применения. Изучены фазовый состав и физико-химические свойства глин (аллиты, каолины и сиаллиты), такие как пористость, удельная поверхность, условия термической стабильности, которые являются основополагающими в технологиях их освоения (добыче, комплексной переработке и т. д.), прогнозируют качество индустриального продукта (композитные сорбенты, огнеупоры, бедное сырье для алюминиевой промышленности).

Дана оценка качества сорбционных композитов радионуклидов на основе КШ. Одним из основных приемов улучшения физико-химических свойств компо-

зитного сорбента являются контролируемые фазовые превращения в процессах синтеза. Показано, что алюмосиликатные сорбенты на основе их структурных особенностей (возможности варьирования сорбционных свойств в зависимости от соотношения Si/Al) представляются перспективной системой для развития экспериментальных основ конструирования алюмосиликатных микро/нанопористых материалов (цеолитов и др.).

Разработанные методы модифицирования сорбционных композитов, основанные на биологических механизмах (активности микробиоты), экономичны и характеризуются высокой селективностью и все чаще рассматриваются как перспективные для очистки водных сред от различного рода поллютантов.

Показана перспективность использования гидрофобизированных углеродсодержащих материалов, синтезированных с использованием природного сырья и техногенных отходов растительного происхождения, в качестве эффективных нефтесорбентов-мелиорантов.

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН с использованием оборудования ЦКП «Геонаука».

Литература / References

- Бортников Н. С., Волков А. В., Галямов А. Л., Викентьев И. В., Лаломов А. В., Мурашов К. Ю. Проблемы развития минерально-сырьевой базы высокотехнологичной промышленности России // Геология рудных месторождений. 2023. Т. 65. № 5. С. 371—386. DOI: 10.31857/S0016777023050039
- Bortnikov N. S., Volkov A. V., Galyamov A. L., Vikentyev I. V., Lalomov A. V., Murashov K. Yu. Problems of development of the mineral resource base of the high-tech industry of Russia. *Geology of ore deposits*. 2023, V. 65, No. 5, pp. 371—386. DOI: 10.31857/S0016777023050039 (in Russian)
- Вахрушев А. В. Первая находка самородного золота и теллура в бокситах Вежаю-Ворыквинского месторождения (Средний Тиман) // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2011. №7. С. 23—25.
- Vakhrushev A. V. The first discovery of native gold and tellurium in bauxites of the Vezhayu-Vorykvinskoye deposit (Middle Timan). *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, 2011, No. 7, pp. 23—25. (in Russian)
- Вахрушев А. В., Котова О. Б., Любинский И. Ф. Бокситы тиманского региона: новые методы и средства комплексной переработки // Разведка и охрана недр. 2009. № 11. С. 53—57.
- Vakhrushev A. V., Kotova O. B., Lyubinsky I. F. Bauxites of the Timan region: new methods and means of complex processing. *Exploration and protection of subsurface resources*. 2009, No. 11, pp. 53—57. (in Russian)
- Голубева О. Ю., Аликина Ю. А., Бразовская Е. Ю. Наноархитектоника слоистых алюмосиликатов как основа создания новых функциональных материалов для решения актуальных задач медицины и экологии // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2023. Т. 14. № 1/ С. 74—80. doi:10.37614/2949-1215.2023.14.1.013 (in Russian)
- Golubeva O. Yu. et al. Nanoarchitectonics of layered aluminosilicates as the basis for the creation of new functional materials for solving pressing problems in medicine and ecology. *Proceedings of the Kola Scientific Center RAS. Series: Technical Sciences*. 2023, V. 14, No. 1, pp. 74—80. DOI:10.37614/2949-1215.2023.14.1.013 (in Russian)
- Гордиенко П. С., Шабалин И. А., Ярусова С. Б. Состав, структура и сорбционные свойства наноструктурированных алюмосиликатов // Химическая технология. 2017. Т. 18. С. 2—9.
- Gordienko P. S. et al. Composition, structure and sorption properties of nanostructured aluminosilicates. *Chemical technology*, 2017, V. 18, pp. 2—9. (in Russian)
- Ковальчук М. В., Нарайкин О. С., Яцишина Е. Б. Природоподобные технологии: новые возможности и новые вызовы // Вестник Российской академии наук. 2019. Т. 89. № 5. С. 455—465. DOI: 10.31857/S0869-5873895455-465
- Kovalchuk M. V., Naraikin O. S., Yatsishina E. B. Nature-like technologies: new opportunities and new challenges. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences*, 2019, V. 89. No. 5, pp. 455—465. DOI: 10.31857/S0869-5873895455-465 (in Russian)
- Котова О. Б., Москальчук Л. Н., Шушков Д. А., Леонтьева Т. Г., Баклай А. А. Сорбенты радионуклидов на основе промышленных отходов: физико-химические свойства и перспективы использования // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 4. С. 29—36. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-4-29-36
- Kotova O. B., Moskalchuk L. N., Shushkov D. A., Leontyeva T. G., Baklay A. A. Radionuclide sorbents based on industrial waste: physical and chemical properties and prospects for use. *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, 2017, No. 4, pp. 29—36 (doi: 10.19110/2221-1381-2017-4-29-36). (in Russian)
- Котова О. Б., Ожогина Е. Г., Шиенг Сан, Размыслов И. Н. Технологическая минералогия как основа комплексного освоения полезных ископаемых. Бокситы Верхне-Шугорского месторождения // Горный журнал. 2021. № 11. С. 21—27. DOI: 10.17580/gzh.2021.11
- Kotova O. B., Ozhogina E. G., Shieng San, Razmyslov I. N. Technological mineralogy as the basis for the integrated development of mineral resources. *Bauxites of the Verkhne-Shchugorsk deposit. Mining Journal*, 2021, No. 11, pp. 21—27. DOI: 10.17580/gzh.2021.11 (in Russian)
- Микро- и нанодисперсные структуры минерального вещества / Н. П. Юшкин, А. М. Асхабов, О. Б. Котова, Б. А. Осташенко и др. Сыктывкар: Геопринт, 1999. 216 с.
- Micro- and nanodispersed structures of mineral matter. N. P. Yushkin, A. M. Askhabov, O. B. Kotova, B. A. Ostaschenko et al. Syktyvkar: Geoprint, 1999, 216 p. (in Russian)
- Мелехина Е. Н., Маркарова М. Ю., Анчугова Е. М., Щемелинина Т. Н., Канев В. А. Определение эффективности методов рекультивации загрязнённых нефтью почв // Известия Коми НЦ УрО РАН. 2016. №3 (27).
- Melekhina E. N., Markarova M. Yu., Anchugova E. M., Shchemelinina T. N., Kanev V. A. Determination of the effectiveness of methods for reclamation of oil-contaminated soils. *Proc. Komi SC UB RAS*, 2016, No. 3 (27). (in Russian)
- Мязин В. А., Шушков Д. А., Фокина Н. В., Чапоргина А. А., Канивец А. В., Брянцев А. В. Оценка эффективности биогеосорбентов на основе минеральных носителей для очистки нефтезагрязненной почвы // Вестник МГТУ. 2024. № 1. DOI: 10.21443/1560-9278-2024-27-1-91-102 (in Russian)



- Myazin V. A., Shushkov D. A., Fokina N. V., Chaporgina A. A., Kanivets A. V., Bryantsev A. V. Evaluation of the effectiveness of biogeosorbents based on mineral carriers for cleaning oil-contaminated soil. *Bulletin of MSTU*, 2024, No. 1. DOI: 10.21443/1560-9278-2024-27-1-91-102 (in Russian)
- Наумов В. А., Наумова О. Б., Брюхов В. Н., Голдырев В. В., Голдырев В. Н., Плюснина К. И. Природоподобные технологии на пути освоения техногенно-минеральных образований // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении: Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского: сборник научных статей. ПГНИУ / Пермь, 2022. Вып. 25. С. 181–187.
- Naumov V. A., Naumova O. B., Bryukhov V. N., Goldyrev V. V., Goldyrev V. N., Plyusnina K. I. Nature-like technologies on the way to the development of technogenic-mineral formations. *Problems of mineralogy, petrography and metallogeny. Scientific readings in memory of P. N. Chirvinsky: collection of scientific articles. PSSRU, Perm, 2022, 25, pp. 181–187. (in Russian)*
- О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад. М.: ВИМС, 2022. 623 с.
- Condition and use of mineral resources of the Russian Federation in 2021: State report. Moscow: VIMS, 2022, 623 p. (in Russian)
- Осташенко Б. А. Бокситы Тимана: проблемы освоения // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 1996. № 6. С. 1–2.
- Ostaschenko B. A. Timan bauxites: problems of development. *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, 1996, No. 6, pp. 1–2. (in Russian)
- Перспективные геотехнологии / Под ред. Н. П. Юшкина. СПб.: Наука, 2010. 376 с.
- Promising geotechnologies. Edited by N. P. Yushkin. St. Petersburg: Nauka, 2010, 376 p. (in Russian)
- Пирогов Б. И., Ожогина Е. Г. Принципы и методы технологической минералогии при переработке твердых полезных ископаемых // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2020. №2 (302).
- Pirogov B. I., Ozhogina E. G. Principles and methods of technological mineralogy in the processing of solid minerals. *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, 2020, No. 2 (302). (in Russian)
- Римкевич В. С. и др. Исследование процессов комплексной переработки небокситовых руд дальневосточного региона России // Тихоокеанская геология. 2006. № 3. С. 66–74.
- Rimkevich V. S. et al. Study of processes of complex processing of non-bauxite ores in the Far Eastern region of Russia. *Pacific Geology*, 2006, No. 3, pp. 66–74. (in Russian)
- Трушко В. Л., Утков В. А., Бажин В. Ю. Актуальность и возможности полной переработки красных шламов глиноземного производства // Записки Горного института. 2017. Т. 227. С. 547–553. DOI: 10.25515/PMI.2017.5.547
- Trushko V. L. Relevance and possibilities of complete processing of red mud from alumina production / V. L. Trushko, V. A. Utkov, V. Yu. Bazhin. *Proc. of the Mining Institute*, 2017, V. 227, pp. 547–553. DOI: 10.25515/PMI.2017.5.547 (in Russian)
- Щемелинина Т. Н., Анчугова Е. М. Комплексная биотехнология очистки нефтезагрязнённой почвы // Поволжский экологический журнал. 2023. № 2. С. 246 – 256. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-2-246-256> (in Russian)
- Shchemelinina T. N., Anchugova E. M. Integrated biotechnology for cleaning oil-contaminated soil. *Volga Ecological Journal*, 2023, No. 2, pp. 246–256. <https://doi.org/10.35885/1684-7318-2023-2-246-256>
- Щемелинина Т. Н., Котова О. Б., Анчугова Е. М., Шушков Д. А., Игнатьев Г. В. Цеолитовое и глинистое сырье: экспериментальное моделирование биогосорбентов // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 9. С. 50–57. (doi 10.19110/2221-1381-2018-9-50-57)
- Shchemelinina T. N., Kotova O. B., Anchugova E. M., Shushkov D. A., Ignatiev G. V. Zeolite and clay raw materials: experimental modeling of biogeosorbents. *Vestnik of the Institute of Geology Komi SC UB RAS*, 2018, No. 9, pp. 50–57. (doi 10.19110/2221-1381-2018-9-50-57) (in Russian)
- Kotova O. B., Shabalin I. L., Kotova E. L. Phase transformations in synthesis technologies and sorption properties of zeolites from coal fly ash. *Zapiski Gornogo instituta*. 2016. Vol.220, p.526–531. DOI 10.18454/PMI.2016.4.526
- Kotova O. B., Ustyugov V. A., Sun Shiyong, Ponaryadov A. V. Mullite production: phase transformations of kaolinite, thermodynamics of the process // *Journal of Mining Institute*. 2022. Vol. 254. P.129–135. DOI: 10.31897/PMI.2022.43
- Harja M., Kotova O., Ciobanu G., Litu L. New adsorbent materials on the base of ash and lime for lead removal // *Proceedings book: International Symposium “THE ENVIRONMENT AND THE INDUSTRY”*, SIMI 2017, Bucharest, Romania, September, 28–29, 2017 (DOI: <http://doi.org/10.21698/simi.2017.0009>)
- Ozhogina E., Shadrunkova I., Chekushina T. (2017). Mineralogical rationale for solving environmental problems of mining regions. *Gornyi Zhurnal*. 105–110. 10.17580/gzh.2017.11.20.
- Ponaryadov, A., Kotova, O., Kotova, E.: Ceramic nanocomposites: control of structural and PTX parameters of the synthesis of mullite from kaolinite using Taguchi experimental design // *Építőanyag — Journal of Silicate Based and Composite Materials*, Vol. 75, No. 4 (2023), 148–153. p. <https://doi.org/10.14382/epitoanyag-jsbcm.2023.21>
- Razmyslov I. N., Kotova O. B., Silaev V. I., Rostovtsev V. I., Kiseleva D. V., and Kondratyev S. A., Microphase heterogenization of ferrous bauxites as a result of radiation and heat treatment, *J. Min. Sci.*, 2019, vol. 54, no. 5, pp. 138–153.
- Thommes M., et al. Physisorption of gases, with special reference to the evaluation of surface area and pore size distribution (IUPAC Technical Report), *Pure and Applied Chemistry*, 87, 9–10, (2015). 1051–1069. <https://doi.org/10.1515/pac-2014-1117>.
- Yang T., Wang Y., Sheng L., He C., Sun W., He Q. Enhancing Cd(II) sorption by red mud with heat treatment: Performance and mechanisms of sorption. *J. Environ Manage*. 2020. doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109866.
- Crețescu I., et al. Response surface methodology applied for obtaining new binding materials based on fly ash valorisation // *International Conference on Environmental Engineering and Management (ICEEM)*, 18–21 sept. 2019 Iasi, Romania <http://iceem.ro/>



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

Первая в мире кафедра грунтоведения (к 100-летию ленинградской школы грунтоведения)

The world's first department of soil studies (dedicated to the 100th anniversary of the Leningrad school of soil studies)

The key role of St. Petersburg (Leningrad) State University in the development of soil science as a science is undoubted. The founders of the scientific school of soil science at St. Petersburg State University (LSU) are P. A. Zemyatchensky, V. V. Okhotin, N. I. Prokhorov. It was at Leningrad State University that for the first time in the country, admission to the specialty "Soil Science" was opened. The world's first textbook "Soil Science" was published at Leningrad State University (1933). Over the years of its existence, the Department of Soil Science (hereinafter referred to as soil science and engineering geology) has trained more than a dozen highly qualified certified specialists.

Первые элементы науки «грунтоведение» начинали появляться в 20-х гг. прошлого столетия и окончательно оформились в новое научное направление на рубеже 30-х гг. По воспоминаниям П. А. Земятченского и К. И. Лукашева, стоявших у истоков новой науки, это было связано с размахом строительства в стране, когда Советский Союз взял курс на индустриализацию с целью сокращения отставания советской экономики от экономики развитых капиталистических стран^{1,2}. И на первом месте оказалось дорожное строительство.

В России дорожно-почвенные научно-исследовательские работы начались во второй половине 1923 г. в Ленинградском ОМЕС (Окружное управление местного транспорта) по инициативе инженеров Б. П. Жерве и К. И. Лубны-Герцык. За рубежом этими вопросами

¹Земятченский П. А. История возникновения и организация кафедры грунтоведения Ленинградского университета (рукопись) // Музей истории СПбГУ. Дело № 410, 1939. 7 с.

Zemyatchensky P. A. History of the emergence and organization of the Department of Soil Science at Leningrad University (manuscript). Museum of the History of St. Petersburg State University, Case No. 410, 1939, 7 p. (in Russian)

²Лукашев К. П. Грунтоведение как наука и роль Ленинградского университета в ее развитии (рукопись) // Музей истории СПбГУ. 1939. 19 с.

Lukashev K. P. Soil science as a science and the role of Leningrad University in its development (manuscript). Museum of the History of St. Petersburg State University, 1939, 19 p. (in Russian)

озадачивались гораздо раньше, при этом к дорожно-строительному делу стали привлекать почвоведов.

Изначально исследования почв в связи с запросами дорожного строительства проводились в почвенной лаборатории Петроградского сельскохозяйственного института силами крупного ученого, заведующего кафедрой почвоведения проф. Н. И. Прохорова и его ассистента В. В. Охотина. Н. И. Прохоров одновременно был штатным профессором ЛГУ (Бойченко, Лысенко, 1964).

В марте 1924 г. по распоряжению ЦУМТ (Центральное управление местного транспорта) в Ленинградском ОМЕС была образована специальная межведомственная комиссия по грунтово-дорожным исследованиям, которую возглавлял инженер Борис Петрович Жерве. В комиссию были приглашены профессора Ленинградского университета минералог П. А. Земятченский и почвовед Н. И. Прохоров (Каюкова, 2022; 2023). В конце 1924 г. из штатных сотрудников комиссии было создано Исследовательское дорожное бюро с собственной грунтовой лабораторией, которой заведовал П. А. Земятченский. В. В. Охотин выполнял обязанности старшего лаборанта.

Именно П. А. Земятченский, Н. И. Прохоров и В. В. Охотин стояли у истоков нового научного направления. Их общими усилиями создавался фундамент будущей кафедры Ленинградского университета, которая вошла в историю мировой науки как первая в мире кафедра грунтоведения.

Таким образом, научная школа грунтоведения Ленинградского университета начала формироваться еще до образования в ЛГУ кафедры грунтоведения, на что указывают публикации тех лет (Грунты..., 1926; Дорожные..., 1928).

В 1929 г. Исследовательское дорожное бюро было реорганизовано в научно-исследовательский автомобильно-дорожный институт (НАДИ), в функции которого входили научно-исследовательские работы в области дорожного и автомобильного строительства во всесоюзном масштабе.

1. Становление кафедры грунтоведения (1930–1941). Чтобы поставить на постоянную основу подготовку научных кадров, в ЛГУ была организована кафедра дорожного почвоведения (1930 г.), при этом НАДИ внесла некоторую сумму для работы лаборатории и обеспечивала стипендиями учащихся, выбравших своей специальностью дорожное почвоведение.

Этот был период реформирования высшего образования, университет трясло от ежегодных преобразований. Кафедра возникла на отделении геологии (цикл почвоведения) физико-математического фа-



(1856—1942)
Петр Андреевич Земятченский
с 1930 по 1934 г.
с 1939 по 1942 г.



(1888—1954)
Вениамин Васильевич Охотин
с 1934 по 1937 г.
с 1942 по 1954 г.



(1906—1987)
Константин Игнатьевич Лукашев
с 1938 по 1939 г.



(1913—1964)
Павел Онуфриевич Бойченко
с 1955 по 1963 г.



(1888—1966)
Борис Леонидович Личков
с 1963 по 1965 г.



(1916—1989)
Анатолий Константинович Ларионов
с 1965 по 1979 г.



(1930—2017)
Василий Михайлович Кнатько
с 1979 по 1995 г.



(1944)
Владимир Глебович Зайончек
с 1995 по 2016 г.



(1979)
Станислав Борисович Бурлуцкий
с 2017 г. по настоящее время

Заведующие кафедрой грунтоведения с ее основания до наших дней (указаны годы жизни и годы заведования кафедрой)
Heads of the department of soil studies from foundation to the present (years of life and years of heading the department are indicated)

культета ЛГУ. Заведующим был назначен П. А. Земятченский, ассистентом — В. В. Охотин, первым аспирантом — К. И. Лукашев. Это и был весь штат новой кафедры дорожного почвоведения, объединившей почвенные науки и дорожно-строительное дело. К сожалению, Н. И. Прохоров не дожил до этих дней (был расстрелян в годы репрессий). В. И. Вернадский вспоминал, что «до самой своей смерти П. А. Земятченский был профессором грунтоведения, новой науки, кафедра которой была создана в Ленинградском университете по его инициативе и при поддержке Дорожного института. Впоследствии эта кафедра перешла в ведение Наркомпроса РСФСР, в ней числилось до 10 преподавателей» (Вернадский, 1997).

Практический опыт, полученный в Исследовательском дорожном бюро, высокий научный потен-

циал П. А. Земятченского и его ученика В. В. Охотина позволили им создать одну из сильнейших кафедр советской России и по праву стать основоположниками русской школы грунтоведения.

Начиная с 1924 г. П. А. Земятченский занимался геологическим изучением почв и грунтов, разработал гранулометрический анализ грунтов, изучал битумы, которые использовались в дорожном строительстве, занимался созданием искусственных камней, был хорошим химиком-аналитиком.

В 1933 г. тиражом 3000 экземпляров в Ленинградском государственном университете был издан первый в мире учебник «Грунтоведение» (автор К. И. Лукашев).

Задачи кафедры грунтоведения сводились прежде всего к подготовке специалистов-грунтоведов, которые обладали бы необходимыми знаниями в области

геологии, минералогии, петрографии с одной стороны, с другой — необходимыми знаниями в области физики и механики грунтов и новейшей методикой исследования грунтов как строительных материалов и как естественных оснований сооружений. Выпускники кафедры должны были уметь решать задачи, связанные не только с дорожным строительством, но и с возведением всякого рода инженерных сооружений.

В 30-х годах кафедра грунтоведения ЛГУ превратилась в крупнейший отечественный научный и учебный центр, получивший международную известность. Уже на первом этапе своего существования кафедра обозначила свои лидерские позиции в разработке вопросов генетического грунтоведения и характеристики строительных свойств разнообразных типов грунтов, исходя из их генезиса и динамики в различных районах СССР.

2. Период 1941—1965 гг. В период войны преподаватели кафедры принимали активное участие в инженерном обеспечении войск, в том числе на Ладожской Дороге жизни. В 1942 г., после гибели своего учителя П. А. Земятченского, В. В. Охотин принял заведование кафедрой. В этом же году он вместе с университетом эвакуировался в Саратов, где наряду с учебным процессом развернул большую научно-практическую работу.

В 1944 г., после возвращения из эвакуации в Ленинград, В. В. Охотин все свои силы бросил на восстановление работы кафедры грунтоведения, запустил учебный процесс, пытался наладить научную работу. В этом ему помогли его талантливые ученики П. О. Бойченко и М. И. Лысенко, которые вскоре защитили свои кандидатские диссертации. Именно теоретические и методические разработки 30-х годов П. А. Земятченского и В. В. Охотина по изучению свойств грунтов создали базис для научных работ их учеников — П. О. Бойченко, М. П. Лысенко, Г. П. Мазурова.

В 1947 г. В. В. Охотин опубликовал в № 3 «Вестника Ленинградского университета» статью о задачах современного грунтоведения, в которой подвёл итог 25-летнему периоду развития грунтоведения как науки и говорил о проблемах на будущее. Метод выяснения генезиса грунтов имеет большие перспективы в будущем, когда будут изучены физико-химические свойства грунтов, в первую очередь емкость поглощения и состав обменных оснований.

В 1954 г. ушел из жизни В. В. Охотин и заведующим кафедрой грунтоведения стал его ученик, уже достаточно зрелый ученый доцент П. О. Бойченко, который работал в области разработки и усовершенствования методов исследования грунтов (определения их прочностных характеристик). Бойченко изобрел несколько приборов, на которые были получены три авторских свидетельства, разработал пенетрационные методы определения пределов пластичности и консистенции грунтов в их ненарушенном залегании. Павел Онуфриевич теоретически обосновал и ввел в научный оборот новый термин — «показатель консистенции грунта ненарушенной структуры» (1964 г.). Он предложил измерять этот показатель (C_B) при помощи специального конуса методом лабораторной пенетрации, который получил название «конус Бойченко».

Осенью 1963 г., когда в связи с тяжелой болезнью П. О. Бойченко не смог в полной мере выполнять обя-

занности заведующего кафедрой, руководством университета было принято решение об объединении кафедр грунтоведения и гидрогеологии.

3. Период 1965—1979 гг. В 1965 г. на заведование кафедрой гидрогеологии и грунтоведения был приглашен А. К. Ларионов — крупный специалист в области исследования структур дисперсных грунтов и лессовидных пород. Уже в 1967 г. благодаря энергичным усилиям и высокому авторитету А. К. Ларионова искусственно созданная комплексная кафедра была разделена на две естественные единицы. При делении кафедры грунтоведения была воссоздана как кафедра грунтоведения и инженерной геологии. Для смены названия имелись вполне веские основания: к тому времени наука «грунтоведение» успела войти в цикл естественных наук, объединенных инженерной геологией. При А. К. Ларионове кафедра значительно расширила профиль подготовки специалистов.

Научные интересы Анатолия Константиновича охватывали самые разные области инженерной геологии — формирование состава и свойств рыхлых осадочных грунтов, слабых водонасыщенных глинистых грунтов, лёссовых отложений, связь физико-механических характеристик грунтов с их микроструктурой и др. Его интересовали современные методики и методы исследования грунтов для научных целей и как сырья для производства строительных материалов (кирпича, керамики, минеральной ваты и пр.), методы мелиорации грунтов.

Основная монография А. К. Ларионова «Инженерно-геологическое изучение структуры рыхлых осадочных пород» (1966) стала важной ступенью нового направления в грунтоведении. Разработав агрегатную теорию строения глинистых грунтов, Ларионов показал различные типы первичных и вторичных агрегатов, микро- и макроагрегаты, рассчитав их граничные параметры и размеры пор. В его научном наследии 14 монографий и учебников, входящих в ядро классической российской научной литературы.

4. Период 1979—2016 гг. С 1979 по 1995 г. кафедрой руководил доктор технических наук профессор В. М. Кнатько, который считается основателем ленинградской школы физико-химического преобразования грунтов. Им разработана теория искусственного литогенеза, создана и научно обоснована (с опорой на собственные данные) теория синтеза неорганических вяжущих веществ в дисперсных грунтах и различных дисперсных минеральных средах. На основе этой теории В. М. Кнатько разработал минерально-матричную технологию обезвреживания и литификации вязкопластичных и твердых промышленных отходов. В. М. Кнатько теоретически обосновал и создал принципиально новые виды алюмосиликатных сорбентов и способы их применения для очистки промышленных стоков и регенерации загрязненных вод поверхностных водоемов. Он автор более 100 изобретений (Василий..., 2011).

С 1995 по 2016 г. кафедру возглавлял доцент В. Г. Зайончек, при нем продолжали разрабатываться методы и методики определения прочностных характеристик грунтов (в том числе донных). В. Г. Зайончек возглавил научное направление «морская инженерная геология», включая «морское грунтоведение». Под его руководством в рамках направления морской инже-



нерной геологии проводились работы по оценке инженерно-геологических особенностей морских грунтов и экзогеодинамических процессов в области морской аккумуляции. Продолжались исследования донных грунтов Балтийского, Охотского, Баренцева морей, Чукотского шельфа. Многолетние фактические данные обеспечили базу для картирования морских грунтов на шельфе (на генетической основе).

Научное развитие кафедры под руководством В. Г. Зайончека углублялось и двигалось в трех направлениях: исследовании грунтов с особыми свойствами (сформировавшимися в сложных средах — на континентальном шельфе, в области вечной мерзлоты и пр.), грунтоведении и искусственном литогенезе, разработке новых методов инженерно-геологической оценки структур земной поверхности.

При кафедре была создана лаборатория по исследованию физико-механических свойств грунтов. В ее работе участвовали и студенты кафедры, многие из них смогли защитить ВКР по собственным результатам, а также приобрести ценный специальный опыт. Лаборатория получила лицензию на инженерные изыскания для строительства зданий и сооружений I и II уровней ответственности в соответствии с государственным стандартом (лицензия № 392380, выданная Государственным комитетом РФ по строительству и жилищно-коммунальному комплексу).

5. Современный период. С 2016 г. по настоящее время кафедрой заведует Станислав Борисович Бурлуцкий, специалист в области изучения оползней и исследований, связанных с изучением корреляционных связей инженерно-геологических и геофизических характеристик.

После объединения с кафедрой гидрогеологии в сентябре 2022 г. была образована комплексная кафедра гидрогеологии и инженерной геологии, которой предстоит в составе Санкт-Петербургского государственного университета в переломный для российского образования период стать одним из лидеров развития естественных научных исследований в вузах Российской Федерации.

В последнее десятилетие развитие вузовской науки становится одним из приоритетов государственной политики России (Константинова и др., 2024), которая нацелена на преобразование вузов из преимущественно образовательных в научно-образовательные центры с увеличением вклада вузовской науки в систему научных исследований страны. Комплексная кафедра гидрогеологии и инженерной геологии имеет реальный шанс сказать свое слово в реформировании отечественной науки и образования в реалиях новой технологической революции (как это уже случалось не раз на разных исторических этапах развития России).

При подготовке данного сообщения использованы материалы музея СПбГУ, объединенного архива СПбГУ, центрального архива Санкт-Петербурга.

Литература / References

- Бойченко П. О., Лысенко М. П. Памяти Вениамина Васильевича Охотина // Грунтоведение и инженерная геология: Сб. статей под ред. П. О. Бойченко. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1964. С. 5—16.
- Boychenko P. O., Lysenko M. P. In memory of Veniamin Vasilyevich Okhotin / Soil science and engineering geology. Collection of articles edited by P. O. Boychenko. Leningrad: Publishing house of Leningrad University, 1964, pp. 5—16. (in Russian)
- Василий Михайлович Кнатко (к 80-летию со дня рождения) // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2011. № 2. С. 188—189.
- Vasily Mikhailovich Knatko (dedicated to his 80th birthday). Geoeology, engineering geology, hydrogeology, geocryology, 2011, No. 2, pp. 188—189. (in Russian)
- Вернадский В. И. О науке. Том 1. Научное знание. Научное творчество. Научная мысль. Дубна, 1997. 576 с.
- Vernadsky V. I. About science. Volume 1. Scientific knowledge. Scientific creativity. Scientific thought. Dubna: Fenix, 1997, 576 p. (in Russian)
- Грунты и почвы в дорожном деле: Полевые и лабораторные исследования Научно-исследовательского дорожного бюро ЦУМТ // Сборник Отдела шоссейных и грунтовых дорог НКПС ЦУМТ. Вып. 13. М.: 2-я тип. Транспечати НКПС, 1926. 339 с.
- Soils and soils in road construction: Field and laboratory studies of the Research Road Bureau of the Center for Road Transport. Collection of the Department of Highways and Unpaved Roads of the NKPS TSUMT. V. 13, Moscow: 2nd typography of Transport Publishing House of People's Commissariat for Lines of Communication, 1926, 339 p. (in Russian)
- Дорожные исследования: Труды Исследовательского дорожного бюро / НКПС ЦУМТ, Исслед. дорож. бюро. Вып. 19. Л., 1928. 226 с.
- Road researches. Proceedings of the Highway Research Bureau. People's Commissariat for Lines of Communication, Central Bureau of Local Transport. V. 19, Leningrad, 1928, 226 p. (in Russian)
- Каюкова Е. П. 100 лет ленинградской школы грунтоведения // Наука и техника: Вопросы истории и теории: Материалы XLIII Межд. годичной конф. Вып. XXXVIII. СПб.: СПбФИИЕТ РАН; Скифия-принт, 2022. С. 156—157.
- Kayukova E. P. 100 years of the Leningrad school of soil science. Science and technology: Questions of history and theory: Proc. of the 43th Int. annual conference, V. 38, St. Petersburg: SPbF IHNT RAS; Skifia-print, 2022, pp. 156—157. (in Russian)
- Каюкова Е. П. 100 лет ленинградской школы грунтоведения // Грунтоведение. 2023. № 2 (21). С. 53—61.
- Kayukova E. P. 100 years of the Leningrad school of soil science. Soil science. 2023, No. 2 (21), pp. 53—61. (in Russian)
- Константинова Л. В., Титова Е. С., Петров А. М., Штыхно Д. А. О некоторых позитивных тенденциях развития вузовской науки в России на современном этапе // Высшее образование в России. 2024. Т. 33. № 4. С. 101—122.
- Konstantinova L. V., Titova E. S., Petrov A. M., Shtykhno D. A. On some positive trends in the development of university science in Russia at the present stage. Higher education in Russia, 2024, V. 33, No. 4, pp. 101—122. (in Russian)

К. г.-м. н. Е. П. Каюкова

Санкт-Петербургский государственный университет,
epkayu@gmail.com



Новые издания / New publications



УДК 552.5 : 550.4 : 001.32 (470.13)

Литолого-геохимические исследования в Институте геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН: к 50-летию лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций / А. И. Антошкина, А. Н. Сандула, В. А. Салдин, Е. С. Пономаренко. — Сыктывкар: ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 2023. — 184 с.

DOI 10.19110/978-5-89606-658-3

ISBN 978-5-89606-658-3



Настоящее научно-популярное издание посвящено юбилейной дате — 50-летию образования лаборатории литологии и геохимии осадочных формаций Института геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Литологические исследования тесно переплетены с геологическими работами в Тимано-Североуральско-Пай-Хойском регионе от первых экспедиций XIX в. до наших дней и сыграли огромную роль в развитии минерально-сырьевого потенциала и промышленности Республики Коми. Книга представляет собой тематические разделы, отражающие хронологию литолого-геохимических исследований и рассказывающие о сотрудниках лаборатории и об их предшественниках, на фундаментальных работах которых зиждется современное знание о литологии и геохимии осадочных толщ нашего

региона: от первых экспедиций до сектора геологии (первая половина XX века); тематические литологические исследования (1952—1972); литология и осадочный рудогенез (1973—1990); литология и геохимия осадочных формаций (1991—наши дни); просветительская и научно-организационная деятельность. В большинстве случаев это краткие биографические сведения о научных изысканиях и полученных результатах. Замыкает данное издание список литературы, в котором учтены все основные научные публикации сотрудников лаборатории.

Книга будет интересна геологам, специалистам, занимающимся историей геологии, географам и краоведам.

Lithological and geochemical studies at the Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS: dedicated to the 50th anniversary of the Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations / A. I. Antoshkina, A. N. Sandula, V. A. Saldin, E. S. Ponomarenko. Syktyvkar: Komi SC UB RAS, 2023, 184 p.

This popular science edition is dedicated to the 50th anniversary of the Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations at the Institute of Geology named after Academician N. P. Yushkin of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Lithological studies have become strongly woven together with the geological activities in the Timan-North Ural-Pai-Khoi region from the first expeditions in the 19th century to the present day. These studies played a major role in the development of the mineral resource potential and industry of the Komi Republic. The book consists of thematic sections highlighting the chronology of lithological and geochemical studies telling about people working at the laboratory and their predecessors, whose fundamental research has formed the modern knowledge about the lithology and geochemistry of sedimentary strata in our region: from the first expeditions to the geology sector (first half of the 20th century); theoretical lithological studies (1952—1972); lithology and sedimentary ore genesis (1973—1990); lithology and geochemistry of sedimentary formations (1991 — present day); educational, scientific and organizational activities. Usually, they contain only brief biographical data on the scientific activities and the obtained results. The last section of this publication contains a list of references including principal scientific publications of the laboratory members.

The book will be interesting for geologists, specialists dealing with the history of geology, geographers, and local historians.

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: 31.07.2024. 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. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН).

Адрес: 167982, Республика Коми, Сыктывкар, Первомайская, 54. Тел.: (8212) 24-51-60. Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru

На обложке использованы фото П. Безносова, А. Перетягина, Н. Уляшевой, А. Иевлева, Н. Сокериной

**На обложке: Оливин. Войкарский массив, восточный склон Полярного Урала.
Фото И. Голубевой**

**On the cover: Olivine. Voykar massif, eastern slope of the Polar Urals.
Photo by I. Golubeva**

Журнал включен в международные базы цитирования, базы данных ВИНТИ,
а также имеет статус журнала ВАК. Распространяется бесплатно

The Journal is included in Russian and International information databases
and in the list of Higher Attestation Commission. Free of charge