



Vestnik of Geosciences
Вестник геонаук

Декабрь
December
2022,
№ 12 (336)

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. Андричева, Сыктывкар, Россия
А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
Т. М. Безносова, Сыктывкар, Россия
М. А. Богдасаров, Брест, Беларусь
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Санкт-Петербург, 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. Пуцаровский, Москва, Россия
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
Ш. Сан, Мянъян, Китай
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия
А. Г. Шеломенцев, Сыктывкар, 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. Voytekhovskiy, St. Petersburg, 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, Syktyvkar, 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 (2021) – **0.404**



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 (2021) – **0.404**

geo.komisc.ru/vestnik

Содержание**Content**

Научные статьи	Scientific articles
Литологическая характеристика предгребенского несогласия в разрезе ручья Сизимцелебейшор поднятия Чернова <i>И. И. Даныщикова, И. Л. Ульныров, Т. В. Майдль</i>3	Lithological characteristics of the pre-Greben' regional unconformity of the Sizimcelebeyschor creek of the Chernov Uplift <i>I. I. Danshchikova, I. L. Ulnyrov, T. V. Maydl</i>3
Перспективы нефтегазоносности нижнедевонских отложений гряды Чернышева (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция) <i>М. С. Нечаев, Т. В. Майдль, И. С. Котик</i> 11	Petroleum potential of the Lower Devonian reservoirs on the Chernyshev Swell (Timan-Pechora Petroleum Province) <i>M. S. Nechaev, T. V. Maidl, I. S. Kotik</i> 11
Строение, петрография и петрогеохимия кислых пород экструзивно-субвулканического тела южной части хребта Енганепэ (Полярный Урал) <i>Т. А. Вовчина</i>20	Structure, petrography and petrogeochemistry of acid rocks of extrusive-subvolcanic body of the southern part of the Enganepe Ridge (Polar Urals) <i>T. A. Vovchina</i>20
Стратиграфический объем тоупугольегартской толщи (нижний-средний девон, Полярный Урал) <i>А. Н. Плотцын, И. Д. Соболев, Н. А. Матвеева, Р. М. Иванова, И. В. Викентьев</i>29	Stratigraphic range of the Toupugol'egart Formation (Lower-Middle Devonian, Polar Urals) <i>A. N. Plotitsyn, I. D. Sobolev, N. A. Matveeva, R. M. Ivanova, I. V. Vikentyev</i>29
Исследование величины аномалий теплового потока в тылу зон субдукции в зависимости от угла и скорости субдуцирующей плиты <i>С. В. Гаврилов, А. Л. Харитонов</i>38	Investigation of dependence of the heat flux anomalies in the rear of subduction zones on the angle and velocity of subduction <i>S. V. Gavrilov, A. L. Kharitonov</i>38
Предварительная минералогическая оценка отходов углеобогадательной фабрики «Кузнецкая» <i>Т. А. Чикишева, А. Г. Комарова, С. А. Прокопьев, Е. С. Прокопьев</i>44	Preliminary mineralogical assessment of the Kuznetskaya coal preparation plant wastes <i>T. A. Chikisheva, A. G. Komarova, S. A. Prokopyev, E. S. Prokopyev</i>44
Включения турмалина в пирите рифейских терригенных отложений Среднего Тимана <i>Р. И. Шайбеков, С. И. Исаенко, Е. М. Тропников</i>49	Tourmaline inclusions in pyrite from Riphean terrigenous deposits of the Middle Timan <i>R. I. Shaybekov, S. I. Isaenko, E. M. Tropnikov</i>49
Хроника, события, факты. История науки	Chronicle, events, facts. History of Science
Лаборатория литологии и геохимии осадочных формаций Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН 1 июля 2023 года отметит 50-летний юбилей.....57	Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations of the Institute of geology FRC Komi SC UB RAS will celebrate its 50 th anniversary on July 1, 2023.....57
План конференций и семинаров на 2023 год57	Plan of conferences and seminars for 2023.....57
Указатель материалов, опубликованных в Вестнике геонаук в 2022 г.58	Index of publications in Vestnik of Geosciences in 202258

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting

geo.komisc.ru/vestnik/authors



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 551.733.33:552.54(470.111)

DOI: 10.19110/geov.2022.12.1

Литологическая характеристика предгребенского несогласия в разрезе ручья Сизимцелебейшор поднятия Чернова

И. И. Даньщикова, И. Л. Ульныров, Т. В. Майдль

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
iidanshikova@geo.komisc.ru, ulnyrov_iv@mail.ru, maydl@geo.komisc.ru

Представлено литологическое описание естественных выходов пород верхней подсистемы силура в разрезе ручья Сизимцелебейшор поднятия Чернова. На основании результатов исследований охарактеризован перерыв осадконакопления предгребенского времени. Связанные с несогласием брекчии и прослой красно-зеленых элювиальных глин рассматриваются как возможные проявления силурийского палеокарста. Данный фактор должен учитываться при локальном прогнозе зон с улучшенными коллекторскими свойствами для карбонатных пород. Проведенные исследования позволили существенно пополнить седиментологическую и хроностратиграфическую характеристики данного района работ, что в дальнейшем может способствовать решению проблем региональной корреляции, палеофациальных реконструкций и оптимизации геолого-разведочных работ.

Ключевые слова: верхняя подсистема силура, гердьюский надгоризонт, гребенской надгоризонт, литологическое описание, несогласия, брахиоподы, конодонты, поднятие Чернова.

Lithological characteristics of the pre-Greben' regional unconformity of the Sizimcelebeyshor Creek of the Chernov Uplift

I. I. Danshchikova, I. L. Ulnyrov, T. V. Maydl

Institute of geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

A lithological description of natural outcrops of Upper Silurian rocks in the section of the Sizimcelebeyshor creek of the Chernov uplift has been presented. Based on the results of the studies, the sedimentation gap at the end of Gerd'yu superhorizon is characterized. We consider breccias and interlayers of red-green plastic eluvial clays associated with the unconformity as occurrences of the Silurian paleocarst. This factor should be taken into account in the local forecast of zones with improved reservoir properties for carbonate rocks. The conducted studies allow significantly replenishing the sedimentological and chronostratigraphic characteristics of this area of work, which in the future can contribute to solving problems of regional correlation, paleofacial reconstructions and optimization of geological exploration.

Keywords: Upper Silurian, Gerd'yu and Greben' superhorizons, lithology description, regional unconformity, brachiopods, conodonts, Chernov Uplift.

Введение

Исследование карбонатных отложений в природных обнажениях является важным при реконструкции условий их образования, выявления в них перерывов и поверхностей несогласий, являющихся границами разноранговых секвенций [9]. В разрезах несогласия могут быть проявлены одной-двумя (или более) эрозионными поверхностями, а в карбонатных разрезах могут сопровождаться развитием карста [7, 8].

Однако обнаружение и выделение такого рода поверхностей на закрытых территориях не всегда возможно из-за фрагментарности опробования толщи керном. Применение геологических принципов, основанных на полевых наблюдениях, может помочь

избежать неверной интерпретации скважинных или сейсмических данных. В связи с этим обоснование генезиса предгребенского несогласия на разрезе ручья Сизимцелебейшор поднятия Чернова является актуальным на сегодняшний момент и может служить региональным репером при корреляционных построениях.

Материалы и методы исследования

Исследуемые породы верхней подсистемы силура локализованы на севере Воркутского поперечного поднятия в центральной части поднятия Чернова, где они выходят на поверхность в бассейне ручья Сизимцелебейшор (рис. 1). Послойное описание естествен-

Для цитирования: Даньщикова И. И., Ульныров И. Л., Майдль Т. В. Литологическая характеристика предгребенского несогласия в разрезе ручья Сизим-Целебейшор поднятия Чернова // Вестник геонаук. 2022. 12(336). С. 3–10. DOI: 10.19110/geov.2022.12.1

For citation: Danshchikova I. I., Ulnyrov I. L., Maydl T. V. Lithological characteristics of the pre-Greben' regional unconformity of the Sizim-Celebeyshor creek of the Chernov Uplift. Vestnik of Geosciences, 2022, 12(336), pp. 3–10, doi: 10.19110/geov.2022.12.1

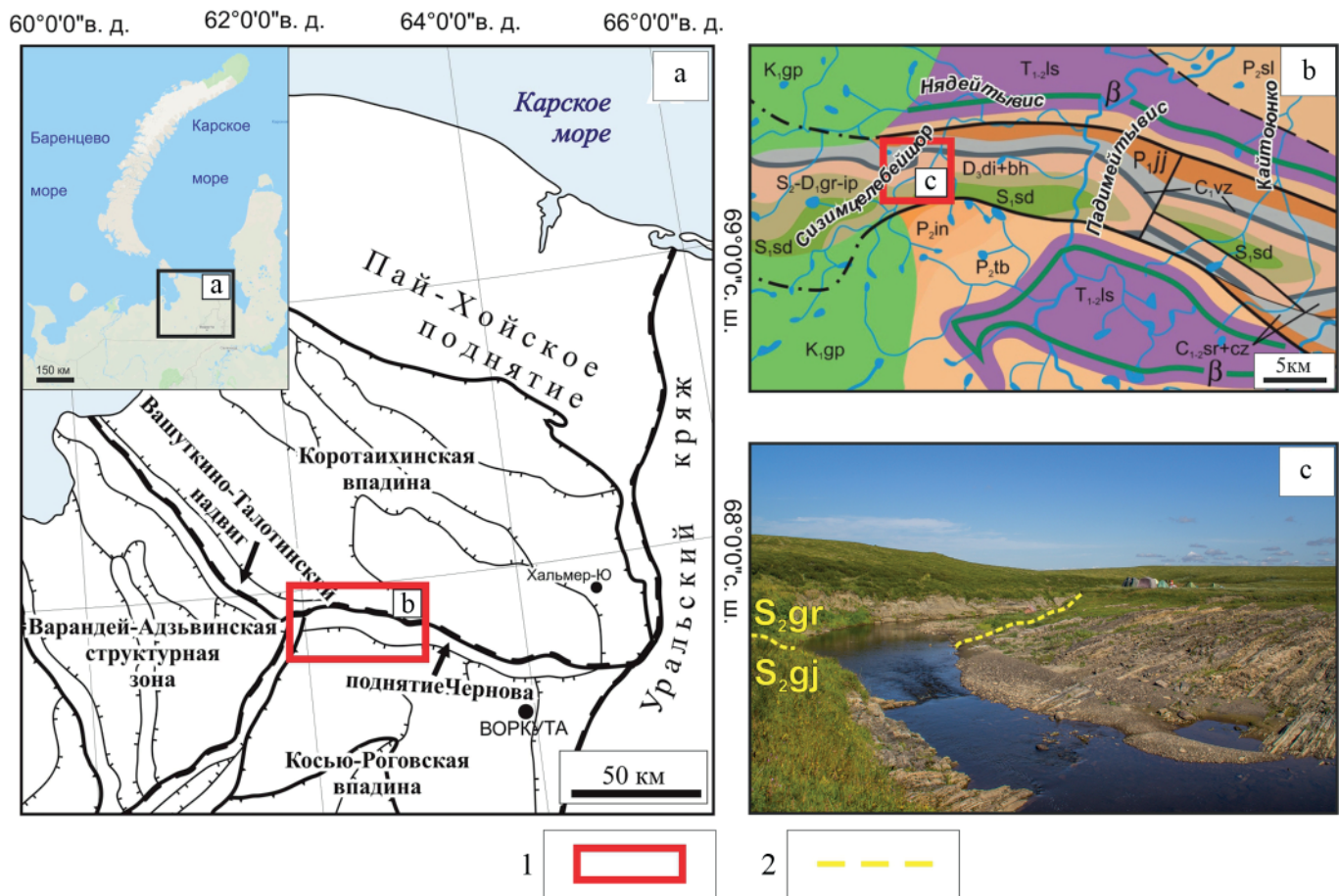


Рис. 1. Тектоническое районирование исследуемой территории: а — схема тектонического районирования (по [2] с изм.); б — геологическая карта (по [5] с изм.); в — естественные выходы пород на ручье Сизимцелебейшор. Условные обозначения: 1 — расположение исследуемого разреза; 2 — стратиграфические границы: S_2gj — гердьюский надгоризонт, S_2gr — гребенской надгоризонт

Fig. 1. Tectonic zoning of the studied territory: а — tectonic zoning scheme (according to [2] with changes); б — geological map (according to [2] with changes); в — natural rock on the Sizimcelebeyschor Creek. Symbols: 1 — location of the section under study; 2 — stratigraphic boundaries: S_2gj — Gerd'y superhorizon, S_2gr — Greben superhorizon

ных выходов было проведено И. И. Даньшиковой, И. Л. Ульныровым, И. С. Котиком, М. С. Нечаевым в 2021 году. Собранная коллекция содержит порядка 600 образцов осадочных пород, в том числе с ископаемой фауной. Литологические исследования производились И. И. Даньшиковой, И. Л. Ульныровым, Т. В. Майдль. Определения конодонтов (50 экз.) выполнены Л. В. Соколовой, брахиопод (11 экз.) — Т. М. Безносовой. Рентгенодифракционный анализ валового образца глинистой фракции выполнялся Ю. С. Симаковой на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-6000. Все исследования проводились в ЦКП «Геонаука». Кроме того, учитывались ранее опубликованные данные по литологии и фауне С. А. Князева [6], Г. А. Чернова [12], А. И. Антошкиной [1], Т. М. Безносовой [4].

За стратиграфическую основу верхней подсистемы силура России принимается утвержденная унифицированная схема расчленения по Международной стратиграфической шкале [11].

История изучения района работ

Изучение карбонатных пород верхней подсистемы силура в разрезе ручья Сизимцелебейшор гряды Чернова началось в 1961 году Г. А. Черновым [12].

Исследования данного разреза были продолжены С. А. Князевым [6] и А. И. Антошкиной [1]. В результате были охарактеризованы лудловские и пржидольские отложения. Необходимо отметить, что стратификация толщ верхней подсистемы силура неоднократно пересматривалась. Г. А. Чернов [12] выделял в разрезе ручья Сизимцелебейшор в объеме надлудловского яруса следующие толщи: 140-метровую «темно-серых тонкослоистых глинистых и битуминозных известняков, переслаивающихся с тонкими слоями синевато-серых глинистых сланцев и желтой охристой глины» с брахиоподами *Camarotoechia* sp., *Lissatrypa* sp., *Spirifer pseudogibbosus* Nikif., *Spirifer* sp., *Protathyris* sp., *Whithfieldela didyma* var *lata*, «255-метровую однообразную толщу темно-серых тонкослоистых известняков, которые в нижней части разреза содержат богатую фауну брахиопод» *Lissatrypa latisinuata* Khod, *Lissatrypa* sp., *Protathyris* sp., *Whithfieldela didyma* var *lata* и 45-метровую толщу «известняков серых тонкослоистых, глинистых сланцев и глинистых известняков с прослоями строматолитов». В разрезе Падимейтывис и Сизимцелебейшор С. А. Князев [6] относил к нижнему лудлово 183-метровую толщу «серых и темно-серых плитчатых и тонкоплитчатых известняков и доломитизированных известняков» с широким развитием



брахиопод *Protathyris didyma* (Dalm.), реже *Shellwienella* sp. и *Spirifer* sp. Залегающую выше 360-метровую толщу пород, представленную «серыми, голубовато-серыми тонкоплитчатыми, реже массивными скрыто- и тонкокристаллическими известняками хемогенного и органогенно-обломочного происхождения» с брахиоподами *Spirifer (Howellela) laeviplicatus* Kozl., *S. (Delthyris) cf. elevatus* Dalm., *S. pseudogibbosus* Nikif. (in litt.), *Lissatrypa scheii* Holt., *Camarotoechia hebe* Barr он сопоставил с гребенскими отложениями о. Вайгач. А. А. Антошкина [1] совместно с Т. М. Безновой [4] выделила лудловский отдел по появлению брахиопод *Didymothyris didyma* (Dalm.), установленных «в кровле прослоя аргиллитов, перекрывающихся глинистыми комковатыми известняками с брахиоподами *Atrypoida scheii* (Holt.), *Collarothyris canaliculata* (Wen.) и *Howellela pseudogibbosa* Nikif. белушьянского горизонта» пржидольского отдела. Мощность пржидольской толщи около 300 м.

Послойное описание

В данной работе описание изучаемого интервала, к которому относится предгребенское несогласие, начинается снизу вверх в 69 метрах от основания толщи в центральной части крутого поворота ручья Сизим-

целебейшор и приходится на слои с 94 по 119 (рис. 2). Некоторые слои охарактеризованы совместно. Скальные выходы обнажены на левом и правом берегах. Комплекс конодонтов определен в слоях, находящихся ниже и выше изучаемого интервала. В нижележащих слоях (слои по 2–34) конодонты представлены видами *Ozarkodina* sp., *Panderodus* spp., в вышележащих (слои по 191–196) — видами *Ozarkodina confluens* (Branson et Mehl), *Oulodus* spp., *Panderodus* spp., *Ctenognathodus* spp., *Adctenognathodus* sp., *Zieglerodina remscheidensis* (Ziegler), *Wurmiella excavata* (Branson et Mehl).

Слои 94–98. Известняки серые, тонкозернистые, сгустковые, с мелкими остракодами, с прослоями до 0.1–0.2 м доломита мелкокристаллического, замутненного пылеватой примесью глинистого состава с небольшим количеством детрита. Выше их сменяют сильно рассланцованные карбонатно-алевро-глинистые породы. Венчают слои известняки сгустково-пелоидные с пустотами, заполненными вторичным призматическим крупно-, яснокристаллическим кальцитом. Общая мощность 2.0 м.

Слой 99. Известняки серые, среднеплитчатые, глинистые, доломитистые, тонко-, мелкокристаллические, с несортированными раковинами остракод, гастропод и брахиопод размером от 1 мм до 5 см. Отмечаются кальцитовые прожилки, местами с пустотами расши-

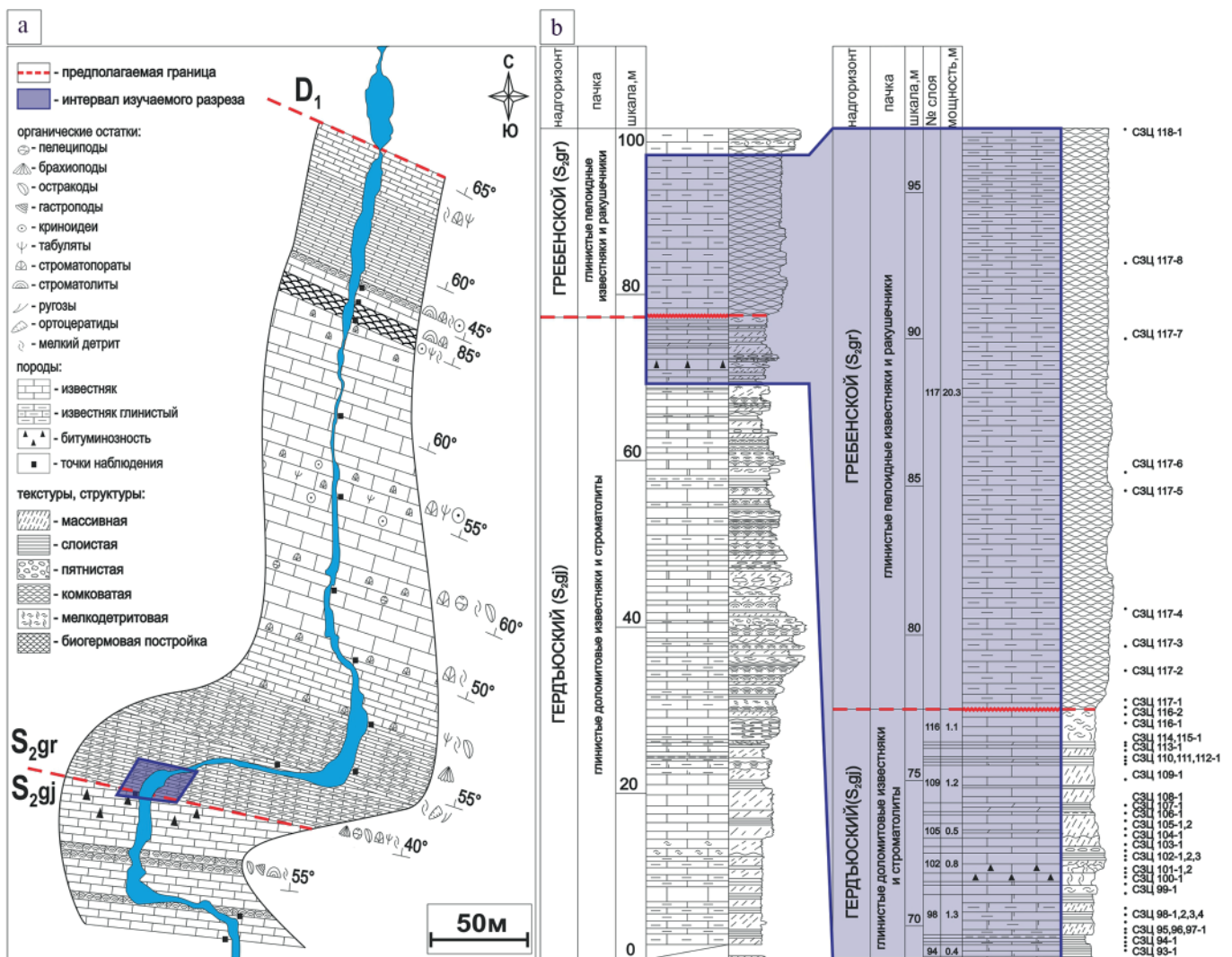


Рис. 2. Карта-схема выходов силурийских пород на ручье Сизимцелебейшор (а) и их литологическая колонка (б)

Fig. 2. The map of Silurian rocks on the Sizmcelebeyshor creek (a) and their lithological column (b)

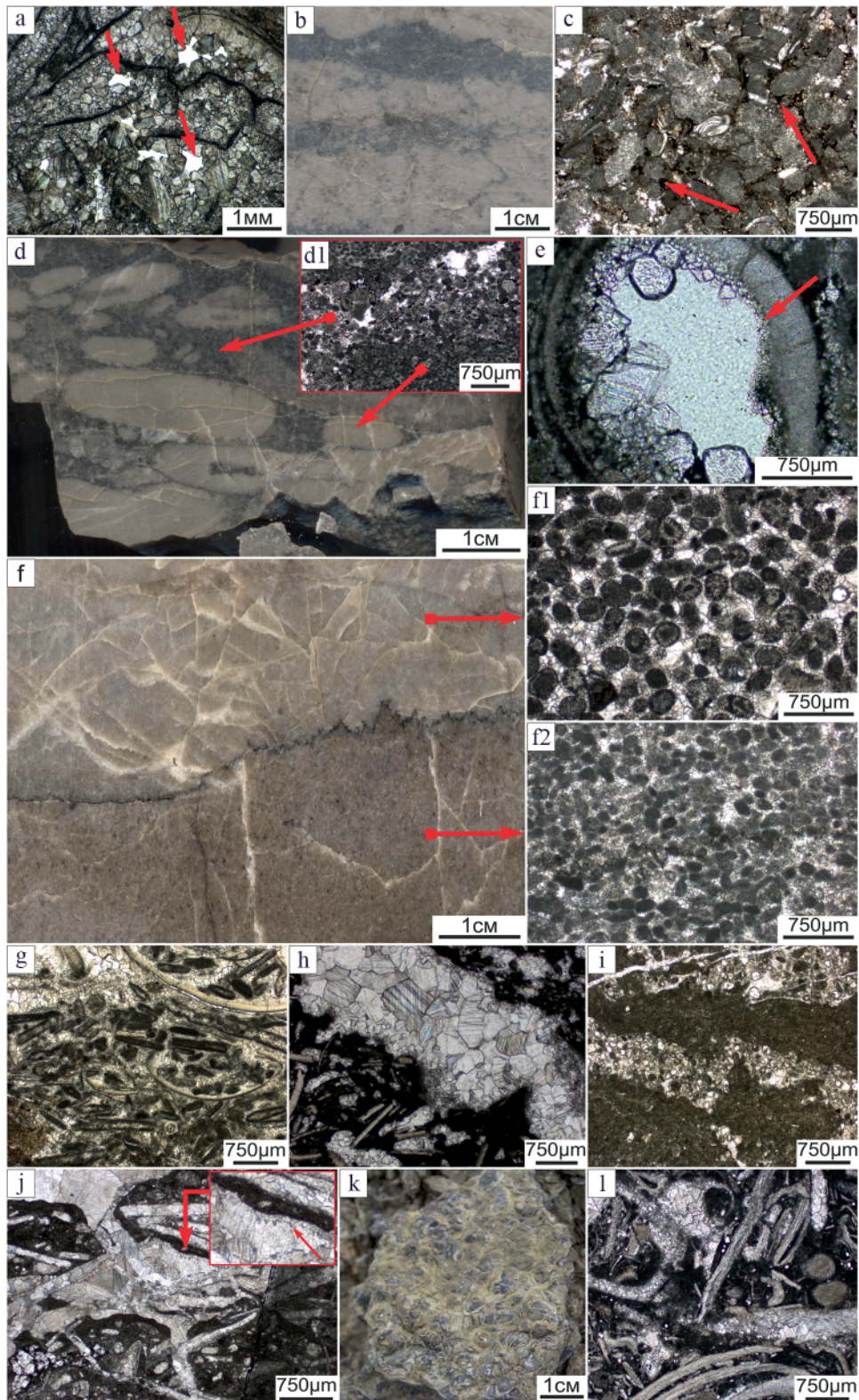


Рис. 3. Основные литологические типы пород в силурийских отложениях: а — известняк полибиокастовый, пористо-кавернозный, стрелками показаны пустоты выщелачивания, обр. СЗЦ 101-2; б — известняк пятнисто-полосчатый, обр. СЗЦ 102-3; в — темные прослои в пелоидном известняке, насыщенные органикой (био пленки) вдоль пелоидов, обр. СЗЦ 102-3; д (порода), d1 (шлиф) — известняковый конгломерат с пелоидными гальками бежево-серого цвета, удлиненно-вытянутой овальной формы; стрелками показаны состав породы и конгломерата, обр. СЗЦ 103-1; е — корочка тоннокристаллического ромбического кальцита по биокастам (указан стрелкой), обр. СЗЦ 103-1; ф — известняк серый пелоидно-ооидный (f2) с прослоем известняка доломитового светло-серого пелоидного (f1); стрелками показаны типы пород, обр. СЗЦ 104-1; г — известняк доломитовый, пелоидно-остракодовый, обр. СЗЦ 109-1; h — известняк биокастовый с фенестрами, обр. СЗЦ 112-1; i — известняк пелоидный с волнисто-узурчатой слоистостью, деформированной неравномерным уплотнением и перекристаллизацией, обр. СЗЦ 114-1; j — известняк глинистый, биокастовый, брекчированный, с неровными фестончатыми (или постепенно-ажурными) очертаниями кальцитового цемента в палеопустоте, которая указана стрелкой, обр. СЗЦ 116-1; k — ракушечник зеленовато-серый, слой 117; l — известняк биотурбированный, биокастовый, микриво-тонкозернистый, обр. СЗЦ 117-3



Fig. 3. The main lithological types of rocks in Silurian deposits: a — porous-cavernous polybioclastic limestone, the arrows show voids of leaching, sample C3Ц 101-2; b — spotted-striped limestone, sample C3Ц 102-3; c — dark interlayers in peloid limestone saturated with organic matter (biofilms) along the peloids, sample C3Ц 102-3; d (rock), d1 (slot) — peloid limestone with beige-gray conglomerates of elongated oval shape, the arrows show the composition of the rock and conglomerate, sample C3Ц 103-1; e — crust of fine-crystalline rhombic calcite by bioclats, indicated by an arrow, sample C3Ц 103-1; f — gray peloid-oid limestone (f2) with a layer of dolomite limestone light gray peloid (f1), arrows show rock types, sample C3Ц 104-1; g — peloid-ostracod dolomite limestone, sample C3Ц 109-1; h — bioclastic limestone with fenestras, sample C3Ц 112-1; i — peloid limestone with wavy-patterned layering deformed by uneven compaction and recrystallization, sample C3Ц 114-1; j — bioclastic, breccated clay limestone with uneven scalloped (or gradually openwork) outlines of calcite cement in paleopustes, which is indicated by an arrow, sample C3Ц 116-1; k — greenish-gray shell rock, layer 117; l — bioclastic, micrite-fine-grained bioturbated limestone, sample C3Ц 117-3

рения. Поверхность кровли слоя бугристо-волнистая. Мощность 0.3 м.

Слой 100. Доломиты светло-серые, массивные, известковые, мелкокристаллические, с остатками раковин гастропод до 3 см. В кровле и подошве прослойки аргиллита до 3 мм с зеркалами скольжения. Мощность 0.1 м.

Слой 101. Известняки серые, светло-серые, плитчатые, полибиокластовые, с участками или пятнами, пелоидно-сгустковые. Органогенный материал представлен несортированными обломками раковин остракод, брахиопод и гастропод. В основной массе и по биокластам отмечаются мелкие поры выщелачивания (рис. 3, а) и тонкие кальцитовые трещины. В кровле порода пятнами окрашена в красно-бурые тона. Возможно, окраска связана с окислением битума либо оксидов железа. Мощность 0.3 м.

Слой 102. Известняки светло- и темно-серые, отчетливо пятнисто-полосчатые и массивные, тонкозернистые, глинистые, доломитовые и пелоидные (рис. 3, b). При микроскопическом изучении наблюдаются темные прослои, насыщенные органикой (био-пленки), перекрывающие прослои с пелоидами (рис. 3, c). Остатки фауны присутствуют в небольшом количестве и представлены скоплениями детрита остракод и брахиопод. Отмечаются мелкие каверны, образованные при растворении раковин (средний размер 2 см). В глинистых слоях отмечаются зеркала скольжения, в карбонатных — стилолитовые швы столбчато-зубчатой формы. Мощность 0.8 м.

Слой 103. Известняковые конгломераты серые, крупнопелоидные, с пелоидными гальками бежево-серого цвета удлинено-вытянутой овальной формы, длина которых от 1 до 7–8 см, толщина от 3 до 5 мм (рис. 3, d). Основная масса породы слоя представлена крупными, разнообразными комочками (пелоидами, ооидами, онкоидами, обломками раковин и пород) и сгустками с прослойками между ними органического вещества (битума?) темного цвета. Более поздний цемент выполняет межформенные пустоты и пустоты выщелачивания и представлен белым крупнокристаллическим кальцитом (рис. 3, d1). Нередко карбонатные зерна, комочки пелоидов, биокластов и стенки крупных пустот оторочены корочкой тонкокристаллического ромбического цемента, характерного для вадозной или пресноводной фреатической зон (рис. 3, e) [14; 15]. Гальки представлены известняками мелко пелоидными с пелитоморфным цементом (рис. 3, d1). Нижняя граница пласта имеет форму вреза. Мощность 0.2 м.

Слои 104–105. Известняки серые, пелоидно-ооидные, с линзами и прослоями известняка доломитово-

го, светло-серого, пелоидного. Контакты между прослоями подчеркнуты стилолитовым швом и цементами разной генерации (рис. 3, f). В пелоидных (размеры не превышают 0.1 мм) известняках межзерновый (межпелоидный) цемент представлен наиболее ранней генерацией менискового типа (рис. 3, f2) [по 10, 15]. В ооидных (размеры 0.2–0.3 мм) известняках отмечается более поздняя генерация, представленная яснокристаллическим кальцитом базального типа (рис. 3, f1). Общая мощность 0.8 м.

Слой 106. Участок плохо обнажен и частично представлен в высыпках. Известняки серые, массивные, плитчатые, тонкозернистые, с прослоями зеленого мергеля. Мелкие биокласты распределены равномерно по поверхности напластования. Слой перекрыт глиной охристого цвета. Мощность 0.3 м.

Слой 107. Доломиты вторичные, коричневатые, плитчатые по известнякам литокластовым, с обильными крупными обломками раковин пелеципод, остракод, трилобитов. Детрит отсортирован, сильно перекристаллизован, корродирован и покрыт черными пленками со следами микробиальной коррозии. Мощность 0.1 м.

Слой 108. Известняки серые, тонкозернистые, с мелкими обломками раковин. В слое отмечаются тонкие (до 2 мм) горизонтально-волнистые глинистые прослои. Присутствует небольшая примесь плохо окатанных зерен кварца (до 5 %). Мощность 0.3 м.

Слой 109. Слой плохо обнажен, низкие выходы. Известняки темно-серые, мелкоплитчатые, доломитовые, пелоидно-остракодовые (рис. 3, g). Детрит сцементирован кальцитом разных генераций: призматическим яснозернистым и монокристаллическим вторичным. Наблюдаются следы активной микробиальной переработки раковинных наносов (колонии микробов, черные корочки на створках). Видимая общая мощность 1.2 м.

Слои 110–113. Известняки серые, плитчатые, глинистые, микрозернистые с биокластами. Из фаунистических остатков выделяются обломки и фрагменты пелеципод, остракод. Детрит плохо сортирован, не ориентирован, корродирован. В основной микрозернистой сгустковой массе отмечается обилие фенестр (рис. 3, h) — полостей скопления газа. Внутренние стенки фенестровых полостей инкрустированы корочкой мелкокристаллического кальцита — цемента, относимого к пресноводной фреатической или вадозной зоне [по 15]. Более поздний цемент представлен крупнозернистым кальцитом. Кровля слоя пологобугристая. Общая мощность 0.58 м.

Слои 114–115. Слои плохо обнажены и представлены в высыпках. Известняки темно-серые, микрозер-

нистые, пелоидные, с волнисто-узурчатой, деформированной неравномерным уплотнением и перекристаллизацией слоистостью (рис. 3, i). В более глинистых прослоях структура породы тонко- и микрочернистая. На этом фоне выделяются линзы и прослои мощностью до 0.2 см, в которых наблюдаются пелоиды, обломки вмещающей породы, обломки кварца и кальцита, проблематичные сфероиды. Общая мощность 0.25 м.

Слой 116а. Слой задернован, была произведена расчистка. Известняки темно-серые, сильно измененные, перекристаллизованные, с неопределимым раковинным детритом несортированных по размеру обломков от 0.5 до 1 см в микро- и тонкозернистом цементе со сгустками и пелоидными комочками (рис. 3, j). В палеопустотах причудливой формы, связанных сетью прямолинейных трещин, наблюдается кальцитовый цемент разных генераций. Края этих полостей неровные и имеют фестончатые (или постепенные ажурные) очертания. Пустотное пространство несколько раз заполнялось внутренним осадком и позднее было залечено полисинтетическими двойниками кальцита. Мощность слоя 1.0 м.

Слой 116б. Слой 116а перекрыт маломощным слоем пестроцветной (буро-красной, светло-зеленой) плохо уплотненной глины с многочисленными обломками буро-зеленого алевритистого мергеля (рис. 4). Мощность слоя 4 см. По результатам рентгенодифракционного анализа глинистая компонента представлена в основном иллитом, каолинитом, в меньшей степени смешаннослойными образованиями (иллит/смектит). По значению гидролизатного модуля ($GM < 0.63-0.76$) глинистые мергели относятся к гидролизатам, которые, в свою очередь, попадают в класс гипогидро-

лизатов [по 13]. Контакт с нижележащими известняками: выровненная поверхность с неглубокими эрозийными карманами. Подтверждением влияния процессов гипергенеза (гидролиза) является также присутствие в составе глинистой фракции таких минеральных индикаторов, как натриевый ярозит, иллит, каолинит. Мощность 0.04 м.

Слой 117. Слой местами сильно задернован, скальные выходы у уреза воды. Известняки зеленовато-серые, глинисто-алевритистые, мелкокомковатые биокластовые до ракушечников, биотурбированные, доломитовые, микритово-тонкозернистые с обилием разнообразных фаунистических остатков и их детрита (рис. 3, k, l). Встречены крупные раковины брахиопод *Atrypoides scheii* и *Howellella pseudogibbosa*, остракод, гастропод, иглокожих. При макроскопическом изучении отмечаются прослои либо пятна глинистого доломита и оконтуривающие их стилолитовые швы, выполненные глинисто-битуминозным веществом. Порода содержит небольшое количество угловатых зерен кварцевого алеврита (10 %). Весь слой пронизан кальцитовыми тектоническими трещинами с небольшими расширениями в виде пустот выщелачивания толщиной от первых мм до 1 см. Мощность слоя 20.3 м.

Слой 118. Слой плохо обнажен и образует выходы у подножия берегового склона. Известняки серые, пятнисто-комковатые, мелкодетритовые, микритовые, с волнистой отдельностью в подошве. Детрит представлен обломками раковин иглокожих, остракод, брахиопод. Развита субвертикальные микротрещины, залеченные эпигенетическим яснокристаллическим кальцитом и сутурно-стилолитовые швы с глинисто-битуминозными примазками. Мощность слоя 0.6 м.



Рис. 4. Предгребенское несогласие в разрезе ручья Сизимцелбейшор: а — предполагаемая литологическая граница между гердьюским и гребенским надгоризонтами; б — прослой пестроцветной (буро-красной, светло-зеленой) глины; с — обломки буро-зеленого алевритистого мергеля с прослоями пестроцветной глины, обр. СЗЦ 116-2

Fig. 4. Pre-Greben regional unconformity of the Sizimcelebeyshor Creek: a — suggested lithological border between Gerdyu and Greben superhorizons; b — interlayer of variegated (brown-red, light green) clay; c — fragments of brown-green silty marl with an interlayer of variegated clay, sample СЗЦ 116-2



Слой 119. Низкие выходы пород у уреза воды. Ракушечники серые, комковатые, мелкоплитчатые, биокластовые, с пелоидами. Биокластовый материал представлен створками и раковинами брахиопод, остракод, гастропод, плотно захороненных и образующих каркас осадка. Основная масса породы сложена мелкими пелоидами. При этом часть пространства между раковин оставалась не заполненной осадком, образуя полости, которые позднее были выполнены «друзовым» призматическим цементом обрастания раковин и позднее яснокристаллическим крупнозернистым кальцитом. Мощность слоя 0.9 м.

Обсуждение результатов

Поверхностями несогласия называют эрозионные поверхности с признаками субаэрального или субаквального происхождения, сопряжённые со значительным перерывом в осадконакоплении [16]. В разрезе ручья Сизимцелебейшор отмечается несколько таких несогласий. В данной работе приведена литологическая характеристика одного из них — предгребенского несогласия.

В разрезе несогласия выражается четкой поверхностью, отделяющей крайне мелководные биохемогенные известняки и доломиты (ниже его) от глинистых комковатых брахиоподовых ракушечников и биокластовых известняков с нормально-морской фауной открытого шельфа (выше несогласия). Эти резко отличающиеся по составу и строению толщи разделены прослоем пестроокрашенной глины с обломками песчанистого мергеля (рис. 4, слой 116б), представляющими собственно супралиторальные элювиальные образования. Однотипный характер проявления данного несогласия установлен и описан также в разрезе р. Кожим западного склона Урала [3], что позволяет считать его региональным.

О выходе толщи известняков, подстилающих несогласие, на поверхность свидетельствуют также наблюдаемые в них зоны брекчий с корочками пресноводных вадозных цементов на обломках и стенках разделяющих обломки трещин (рис. 3, j). Подобные цементы из мелких карбонатных ромбоэдрических зерен, нарастающих на стенки пустот, уже в твердой породе встречаются и на пять метров ниже (слой 103) поверхности несогласия (рис. 2; 3, d, e). Как известно, нахождение карбонатных пород в вадозной зоне, и особенно в пресноводной фреатической гидрологической зоне, сопряжено, возможно, с развитием карста [10, 15, 16], с которым связаны и неуплотненные глины.

По палеонтологическим данным (брахиоподы и конодонты), граница между гердьюским и гребенским надгоризонтами в разрезе Сизимцелебейшор (рис. 2) предположительно расположена между видами конодонтов *Adctenognathodus* sp. A (обр. СЗЦ 29-1, слой 29) и брахиоподами *Atrypodea scheii* (обр. СЗЦ 117-5, слой 117) и *Howellella pseudogibbosa* (обр. СЗЦ 117-5, слой 177). Представители фауны, свидетельствующей о лудфордском возрасте отложений, находятся значительно ниже описанного интервала.

Следовательно, стратиграфическая граница может быть проведена в подошве слоя 117 по первому появлению зонального вида гребенских (пржидольских) брахиопод [3]. Примечательно, что данная гра-

ница имеет отчетливо выраженный характер поверхности несогласия, ограничивающего значимый субаэральный перерыв в седиментационной последовательности.

Заключение

На основании литологических исследований охарактеризовано предгребенское несогласие. Выявленное несогласие имеет субаэральный характер, региональное проявление и может быть с успехом использовано для хроностратиграфических корреляций. Сопряженные с развитием несогласия возможные процессы карстификации карбонатных толщ повышают вероятность развития в них емких коллекторов с участием кавернового пространства.

Авторы выражают благодарность Л. В. Соколовой за консультации и за определения конодонтов, Т. М. Безносковой — за определения брахиопод из пржидольской толщи.

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме НИР 122040600010-8.

Литература

1. Антошкина А. И. Стратиграфия и условия залегания силурийских отложений поднятия Чернова // Ежегодник-1974. Сыктывкар: Инст. геологии Коми филиала АН СССР, 1975. С. 40–46.
2. Белонин М. Д., Буданов Г. Ф., Данилевский С. А., Прищепина О. М., Теплов Е. Л. Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения. СПб.: Недра, 2004. 396 с.
3. Безнослова Т. М., Матвеев В. А., Пучков В. Н., Силаев В. И. Перерыв в осадконакоплении на границе лудлова и пржидола в разрезе силура на Приполярном Урале // Литосфера. 2020. № 6(20). С. 791–807. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-791-807
4. Безнослова Т. М. Сообщества брахиопод и биостратиграфия верхнего ордовика, силура и нижнего девона северо-восточной окраины палеоконтинента Балтия. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. 218 с.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист Q-41 — Воркута / М.А. Шишкин, Я. Э. Файбусович, А. П. Астапов, А. С. Воронин, Е. В. Молчанова. СПб.: ВСЕГЕИ, ЗапСибГеоНАЦ, 2007.
6. Князев С. А. Силурийские отложения центральной части поднятия Чернова // Материалы по геологии и полезным ископаемым северо-востока европейской части СССР. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1965. Вып. 6. С. 112–120.
7. Майдль Т. В., Жемчугова В. А., Наумчев Ю. В. Геохимические предпосылки выделения предфранского несогласия в девонском разрезе Тимано-Печорского осадочно-породного бассейна // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 9. С. 30–38. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-9-30-38
8. Майдль Т. В. Литологическая характеристика среднедевонского и предфранского несогласий в осадочной толще Печорского бассейна // Геология горючих ископаемых Европейского Севера России (Труды Ин-та геологии Коми научного центра УрО РАН). Сыктывкар, 1998. Вып. 97. С. 37–43.



9. Малышева Е. О., Жемчугова В. А., Майдль Т. В., Малышев Н. А., Рябинкина Н. Н. Региональные несогласия и хроностратиграфия палеозойских отложений Печорского бассейна // Геология горючих ископаемых Европейского Севера России (Труды Ин-та геологии Коми научного центра УрО РАН). Сыктывкар, 1998. Вып. 97. С.16–36.

10. Махнач А. А. Стадиальный анализ литогенеза: Уч. пособие. Минск: БГУ, 2000. 255 с.

11. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. Вып. 38. 131 с.

12. Чернов Г. А. Палеозой Большеземельской тундры и его перспективы нефтеносности. М.: Наука, 1972. 313 с.

13. Юдович Я. Э., Беляев А. А., Кетрис М. П. Геохимия и рудогенез черных сланцев Пай-Хоя. СПб.: Наука, 1998. 366 с.

14. Mitchum R. M., Campion K. M., Rahman V. D. Siliclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts of high-resolution correlation of time and facies // Amer. Ass. Petrol. Geol. Methods in Exploration Series. 1990. №7. 55 p.

15. Moore C. H. Carbonate Diagenesis and Porosity, Developments in Sedimentology. Elsevier Publishing Co, 1989. 338 p.

16. Van Wagoner J. C., Posamentier H. W., Mitchum R. M., Vail P. R., Sarg J. F., Loutit T. S., Hardenbol J. An overview of the Fundamentals of sequence Stratigraphy and key definitions. Sea level changes: an integrated approach. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists special Publication. McLean, 1988. V. 42. pp: 39–45.

References

1. Antoshkina A. I. *Stratigrafiya i usloviya zaleganiya silurijskih otlozhenij podnyatiya Chernova. Ezhegodnik — 1974. Syktyvkar: Inst. geologii Komi filiala AN SSSR.* (Stratigraphy and conditions of occurrence of Silurian deposits of Chernov Uplift). Yearbook-1974. Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 1975, pp. 40–46.

2. Belonin M. D., Budanov G. F., Danilevskij S. A., Prishhepa O. M., Teplov E. L. *Timano-Pechorskaya provinciya: geologicheskoe stroenie, neftegazonosnost` i perspektivy` osvoeniya* (Timan-Pechora Province: geological structure, oil and gas potential and development prospects.). St. Petersburg: Nedra, 2004, 396 p.

3. Beznosova T. M., Matveev V. A., Puchkov V. N., Silaev V. I. *Perery`v v osadkonakoplenii na granice ludlova i przhidola v razreze silura na Pripolyarnom Urale. Litosfera* (A gap in sedimentation in the Silurian section of the Subpolar Urals at the Ludlow-Pridoli boundary. Lithosphere (Russia), 2020, V.20(6), pp.791–807. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-6-791-807

4. Beznosova T. M. *Soobshchestva brahiopod i biostratigrafiya verhnego ordovika, silura i nizhnego devona severo-vostochnoj okrainy paleokontinenta Baltiya* (Brachiopod communities and biostratigraphy of the Upper Ordovician, Silurian and Lower Devonian of the northeastern margin of the Baltic paleocontinent). Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2008, 218 p.

5. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret`e pokolenie). Seriya Ural'skaya. List Q-41 — Vorkuta* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1: 1000000 (third generation). Ural series. Sheet Q-41 — Vorkuta) / M. A. Shishkin, Ya. E. Fajbusovich, A. P. Astapov, A. S. Voronin, E. V. Molchanova. St. Petersburg: VSEGEI, ZapSibGeoNACz, 2007.

6. Knyazev S. A. *Silurijskie otlozheniya central'noj chasti podnyatiya Chernova. Materialy po geologii i poleznym iskopaemym severo-vostoka evropejskoj chasti SSSR. Materialy po geologii i poleznym iskopaemym severo-vostoka evropejskoj chasti SSSR. Syktyvkar: Komi filial AN SSSR* (Silurian deposits of the central part of the Chernov uplift. Materials on geology and minerals of the North-east of the European part of the USSR). Syktyvkar: Komi Branch of the USSR Academy of Sciences, 1965, Issue. 6, pp. 112–120.

8. Maydl' T. V. *Litologicheskaya karakteristika srednedevonskogo i predfranskogo nesoglasij v osadochnoj tolshe Pechorskogo bassejna.* (Lithological Characteristics of Middle Devonian and Pre-Franian Unconformities in the Sedimentary Column of the Pechora Basin). Proceedings of the Institute of Geology of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Syktyvkar, 1998, No. 97, pp. 37–43.

7. Maydl' T. V., Zhemchugova V. A., Naumchev YU. V. *Geohimicheskie predposylki vydeleniya predfranskogo nesoglasiya v devonskom razreze Timano-Pechorskogo osadochno-porodnogo bassejna.* (Geochemical prerequisites for the isolation of the pre-Frangian unconformity in the Devonian section of the Timan-Pechora sedimentary rock basin). Vestnik of IG Komi SC UB RAS, 2018, No. 9, pp. 30–38. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-9-30-38

9. Malysheva E. O., Zhemchugova V. A., Maydl' T. V., Malyshev N. A., Ryabinkina N. N. *Regional'nye nesoglasiya i hronostratigrafiya paleozojskih otlozhenij Pechorskogo bassejna. Geologiya goryuchih iskopaemyh evropejskogo severa Rossii* (Regional discrepancies and chronostratigraphy of Paleozoic deposits of the Pechora basin. Geology of Combustible minerals of the European North of Russia). Proceedings of the Institute of geology Komi SC UB RAS. Syktyvkar, 1998, No. 97, pp.16–36.

10. Mahnach A. A. *Stadial'nyj analiz litogeneza: Ucheb. posobie* (Stadial analysis of lithogenesis: Textbook). Minsk: BSU, 2000, 255 p.

11. *Postanovleniya Mezhdomejstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyanny`x komissij (Resolutions of the Interdepartment Stratigraphic Committee and its permanent commissions).* St. Petersburg: VSEGEI, 2008, No. 38, 131 p.

12. Chernov G. A. *Paleozoj Bol'shezemel'skoj tundry i ego perspektivy neftenosnosti* (Paleozoic of the Bolshezemelskaya tundra and its prospects of oil-bearing capacity). Moscow: Science, 1972, 313 p.

13. Yudovich Ya. E., Belyaev A. A., Ketris M. P. *Geoximiya i rudogenez cherny`x slancev Paj-Xoya* (Geochemistry and ore genesis of Pay-Khoy black shales). St. Petersburg: Nauka, 1998, 366 p.

14. Mitchum R. M., Campion K. M., Rahman V. D. Siliclastic sequence stratigraphy in well logs, cores, and outcrops: concepts of high-resolution correlation of time and facies. Amer. Ass. Petrol. Geol. Methods in Exploration Series, 1990, No.7, 55 p.

15. Moore C. H. Carbonate Diagenesis and Porosity, Developments in Sedimentology. Elsevier Publishing Co, 1989, 338 p.

16. Van Wagoner J. C., Posamentier H. W., Mitchum R. M., Vail P. R., Sarg J. F., Loutit T. S., Hardenbol J. An overview of the Fundamentals of sequence Stratigraphy and key definitions. Sea level changes: an integrated approach. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists special Publication. McLean, 1988, V. 42, pp: 39–45.

Поступила в редакцию / Received 11.11.2022



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 553.98 (470.13)

DOI: 10.19110/geov.2022.12.2

Перспективы нефтегазоносности нижнедевонских отложений гряды Чернышева (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция)

М. С. Нечаев, Т. В. Майдль, И. С. Котик

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
m.s.nechaev@ro.ru; Maydl@geo.komisc.ru; ivkotik@gmail.com

Территория гряды Чернышева является одной из слабоизученных и перспективных на поиски залежей углеводородов (УВ) на севере Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Нижнедевонские карбонатные отложения в составе среднеордовикско-нижнедевонского нефтегазоносного комплекса рассматриваются в качестве приоритетного объекта для выявления залежей УВ. Изучение отложений нижнего девона в скважинах и естественных обнажениях показало, что породы-коллекторы представлены преимущественно доломитами с трещинно-каверново-поровым и каверново-трещинным типом пустотного пространства. Пористость по керну достигает 9.3 % с преобладанием значений в диапазоне 0.5–1.5 %. Для проницаемости преобладают значения до $1.0 \times 10^{-15} \text{ м}^2$, реже в диапазоне $1–10 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Такие фильтрационно-емкостные свойства характеризуют их как низкоемкие и низкопроницаемые коллекторы. Улучшенные коллекторские свойства связываются с породами фаций карбонатных отложений с небольшими биостромами и биогермами. Потенциальные нефтегенерирующие толщи выделены в глинисто-карбонатной пачке овинпармского горизонта. Наиболее обогащенные органическим веществом породы ($C_{\text{орг}} – 1.08–1.88 \%$) характеризуются значениями генерационного потенциала (S_1+S_2) – 2.18–8.65 мг УВ/г породы и водородного индекса HI – 153–432 мг УВ/г $C_{\text{орг}}$, что классифицирует их как среднепродуктивные нефтематеринские породы. Таким образом, наличие коллекторских толщ, нефтематеринских пород и экранирование верхнедевонским региональным флюидоупором является благоприятным условием для формирования залежей УВ в нижнедевонских природных резервуарах.

Ключевые слова: гряда Чернышева, нижний девон, коллекторы, пористость, проницаемость, углеводороды.

Petroleum potential of the Lower Devonian reservoirs on the Chernyshev Swell (Timan-Pechora Petroleum Province)

M. S. Nechaev, T. V. Maydl, I. S. Kotik

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktывkar

The Chernyshev Swell is one of the poorly studied and promising areas for the hydrocarbon (HC) exploration in the north of the Timan-Pechora Petroleum Province. Lower Devonian carbonate deposits as part of the Middle Ordovician-Lower Devonian petroleum complex are considered as a priority object for the HC exploration. The study of the Lower Devonian deposits in well core and outcrop showed that the reservoirs were represented mainly by fractured-cavern-pore and cavern-fractured dolomites. The porosity of the rocks reaches 9.3 % with a predominance values in the range of 0.5–1.5%. The permeability values up to $1.0 \times 10^{-15} \text{ m}^2$ are predominant, less often in the range of $1–10 \times 10^{-15} \text{ m}^2$. Such filtration and capacitive properties characterize them as low-capacity and low-permeable reservoirs. The best properties of reservoirs are associated with facies of carbonate shallows, small biostomes and biogerms. The petroleum source rocks are contained in the clay-carbonate unit of the Ovinparma Formation. The OM richest rocks ($C_{\text{org}} – 1.08–1.88\%$) are characterized by the values of (S_1+S_2) generation potential – 2.18–8.65 mg HC/g rock and hydrogen index HI – 153–432 mg HC/g C_{org} , which classifies them as medium petroleum source rocks. Thus, the presence of reservoirs, petroleum source rocks and overlapping by the Upper Devonian regional seal is a favorable condition for the formation of HC deposits in the Lower Devonian.

Keywords: Chernyshev Swell, Lower Devonian, reservoirs, porosity, permeability, hydrocarbons.

Введение

Гряда Чернышева и прилегающие к ней надвиговые зоны являются одними из слабоизученных и перспективных на поиски залежей углеводородов (УВ) на севере Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [7, 13; 14; 16]. По оценке [8], разведанность началь-

ных суммарных ресурсов углеводородного сырья гряды в составе Хоседаюско-Воргамусюрского нефтегазоносного района составляет около 1 %. При этом по величине плотности неразведанной части ресурсов нефти среди всех нефтегазоносных районов Хоседаюско-Воргамусюрский находится на втором месте [8].

Для цитирования: Нечаев М. С., Майдль Т. В., Котик И. С. Перспективы нефтегазоносности нижнедевонских отложений гряды Чернышева (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция) // Вестник геонаук. 2022. 12(336). С. 11–19. DOI: 10.19110/geov.2022.12.2

For citation: Nechaev M. S., Maydl T. V., Kotik I. S. Petroleum potential of the Lower Devonian reservoirs on the Chernyshev Swell (Timan-Pechora Petroleum Province). Vestnik of Geosciences, 2022, 12(336), pp. 11–19, doi: 10.19110/geov.2022.12.2

Среди выделенных нефтегазоносных комплексов на гряде Чернышева среднеордовикско-нижнедевонский оценивается как наиболее перспективный. С ним связано около 44 % (56.4 млн тонн) извлекаемых начальных суммарных ресурсов нефти [11]. Нижнедевонские карбонатные отложения в составе комплекса являются приоритетным объектом для поисков залежей УВ. Их промышленная нефтеносность установлена на Южно-Степковожском и Восточно-Адзвинском месторождениях. Перспективностью нижедевонских природных резервуаров также связана с благоприятным соотношением коллекторов и покрышек вследствие эрозионного срезания и выхода коллекторских горизонтов под региональный верхнедевонский флюидоупор [9].

В данной статье представлены сведения по установленной нефтегазоносности нижедевонских отло-

жений, характеристике пород-коллекторов в скважинах и естественных обнажениях и перспективам выявления новых залежей УВ на локальных поисковых объектах гряды Чернышева и прилегающих территорий.

Район исследований

Гряда Чернышева находится в северо-восточной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Она представляет собой линейную сложно дислоцированную структуру в составе Предуральского краевого прогиба, которая ограничивает его с запада от структур Печорской синеклизы — Хорейверской впадины и Варандей-Адзвинской структурно-тектонической зоны (рис. 1, а).

В геологическом строении гряды выделяются несколько складчато-надвиговых структур: Хоседаюская

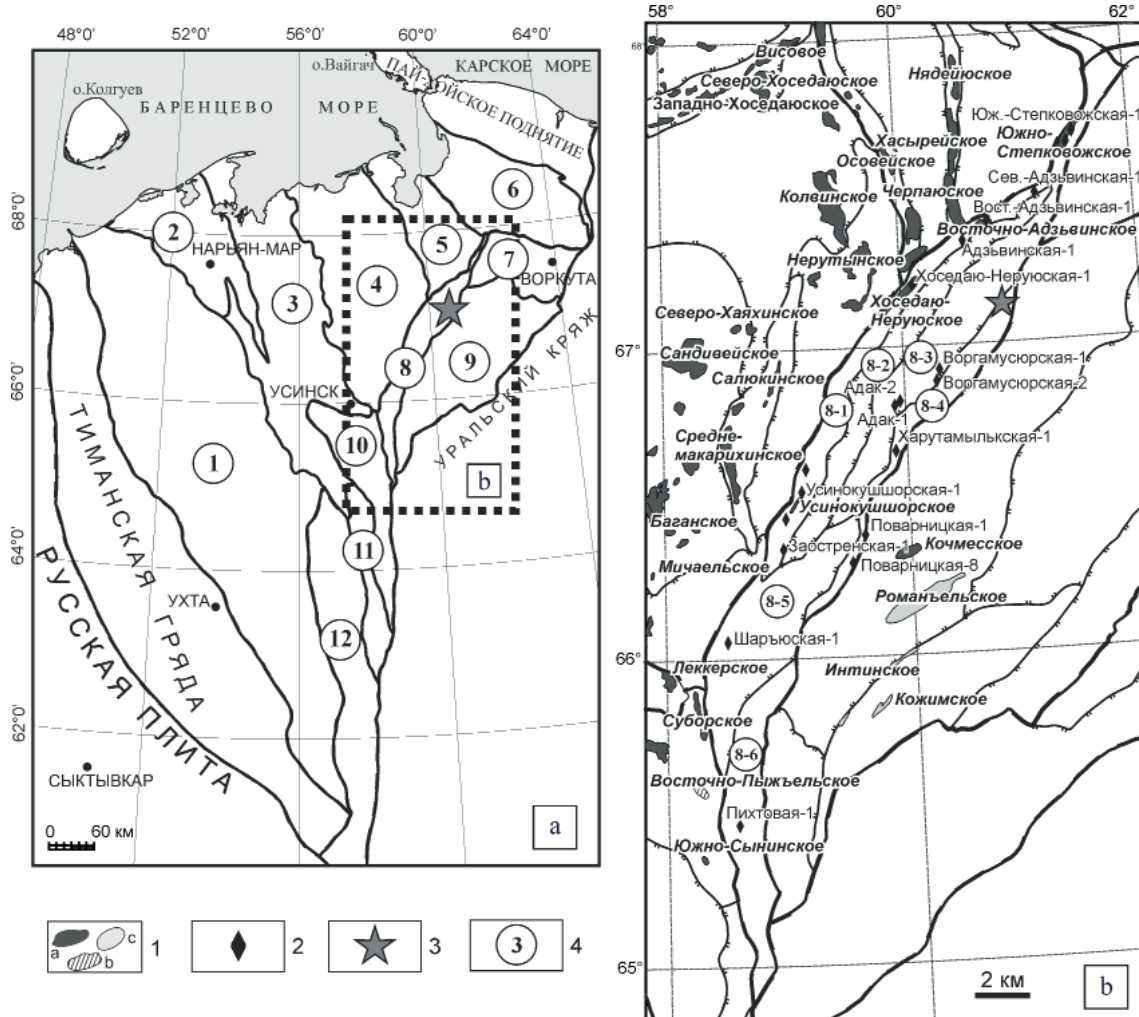


Рис. 1. Карта тектонического районирования Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (а) и гряды Чернышева (b) (по [12]): 1 — месторождения (а — нефтяные, b — газовые, с — газонефтяные); 2 — скважины; 3 — естественные выходы нижедевонских отложений, руч. Дэршор; 4 — тектонические элементы (цифры в кружках): 1 — Ижма-Печорская синеклиза, 2 — Малоземельско-Колгуевская моноклиналь, 3 — Печоро-Колвинский авлакоген, 4 — Хорейверская впадина, 5 — Варандей-Адзвинская структурно-тектоническая зона, 6 — Коротаихинская впадина, 7 — Воркутское поперечное поднятие, 8 — гряда Чернышева (8-1 — Хоседаюская антиклинальная зона, 8-2 — Адзвавомская депрессия, 8-3 — Тальбейский блок, 8-4 — Восточно-Воргамусюрская складчатая зона, 8-5V — Шарью-Заостренский блок, 8-6 — Яньюский блок)

Fig. 1. Tectonic zoning map of the Timan-Pechora Petroleum Province (a) and Chernyshev Swell (b) (according to [12]): 1 — hydrocarbon fields (a — oil, b — gas, c — gas-oil); 2 — wells; 3 — outcrop of the Lower Devonian deposits, Dershor creek; 4 — tectonic elements: 1 — Izhma-Pechora syneclyse, 2 — Malozemelsko-Kolguev monocline, 3 — Pechora-Kolva aulacogen, 4 — Khoreyver depression, 5 — Varandey-Adzvin structural-tectonic zone, 6 — Korotaikha depression, 7 — Vorkuta transverse uplift, 8 — Chernyshev swell (8-1 — Hosedayu anticline zone, 8-2 — Adzavom depression, 8-3 — Talbey block, 8-4 — East Vorgamususur fold zone, 8-5 — Sharyu-Zaostren block, 8-6 — Yanyu block)



антиклинальная зона, Тальбейский блок и разделяющая их Адзъвавомская депрессия, Восточно-Воргамусюрская складчатая зона, Шарью-Заостренский и Яньюский блоки (рис. 1, b).

Многими исследователями признается формирование гряды Чернышева в результате послойного срыва по соленосным отложениям верхнего ордовика (детамент) под действием орогенных процессов, происходивших на Урале [2; 14; 18; 19]. Однако модель формирования гряды неоднозначна и является предметом дискуссий [2; 19].

Нефтегазоносность нижнего девона

Промышленная нефтегазоносность нижнего девона на гряде Чернышева установлена на Южно-Степковожском нефтяном месторождении (рис. 2). Небольшие притоки нефти получены в скважине Восточно-Адзъвинская-1, пробуренной на одноименной структуре. Последующие результаты переинтерпретации геолого-геофизических материалов позволили поставить на баланс Восточно-Адзъвинское месторождение [4].

Одними из последних геолого-разведочных работ на гряде Чернышева с бурением 3 скважин (Адакская-1 и -2, Харутамыльская-1), были проведены ПАО «Газпром» [3]. Нефтеносность нижнего девона была установлена в скважинах Адакская-2 и Харутамыльская-1. В поднадвиговой части разреза скважины Адакская-2 из верхнесилурийско-нижнедевонских отложений получен приток газированной нефти деби-

том 0.4–0.8 м³. В скважине Харутамыльская-1 в нижнедевонских отложениях установлено нефтенасыщение по керну. При опробовании в открытом стволе получен сильногазированный буровой раствор с пленкой нефти.

Нефтепроявления в керне в виде трещин с битумом, загустевшей нефти по трещинам, стилолитам и порам установлены в скважинах Адзъвинская-1 и Северо-Адзъвинская-1.

Следует также отметить, что на прилегающих с запада к гряде территориях Варандей-Адзъвинской структурной зоны нижнедевонские отложения являются основным объектом промышленного освоения (Черпаюское, Хасырейское, Подверьюское и Хосолтинское нефтяные месторождения) [20].

Характеристика пород-коллекторов

Характеристика пород-коллекторов по данным поисково-разведочных работ

На территории гряды Чернышева нижнедевонский природный резервуар характеризуется благоприятным строением, где под тиманско-саргаевскую региональную покрывку выходят карбонатные породы овинпармского и сотчемкыртинского горизонтов [9]. Наиболее продуктивные пласты-коллекторы относятся к карбонатным отложениям овинпармского горизонта. Глубина залегания коллекторских горизонтов меняется в зависимости от положения в геологическом разрезе: от 1.4–2.9 км в аллохтонной части до 3.4–4.1 км в автохтоне (табл. 1). На Южно-Степковожском

Табл. 1. Характеристика коллекторских толщ нижнего девона

Tabl. 1. Characterization of the Lower Devonian reservoirs

Параметры Parameters	Площади / Areas				
	Юж. Степковожская-1 Yuzh. Stepkovozhskaya-1	Адакская-2 Adakskaya-2	Харутамыльская-1 Kharutamylskaya-1	Адзъвинская-1 Adzvinskaya-1	Обнажение руч. Дэршор Outcrop Dershor Creek
К _п , %	7.1–12.7	0.3–5.6	0.1–9.3	0.53–1.7	2.06
К _{пр} , 1*10 ⁻¹⁵ м ²	–	<0.01–45.44	0.014–115.42	–	0.041
Нефтенасыщенная мощность коллектора, м Oil-saturated reservoir thickness, m	10.6	29.8	13.9	–	–
Эффективная мощность коллекторов по ГИС, м Effective thickness of reservoirs according to well logging, m	–	235.3	125	90.4	–
Глубина залегания коллекторских горизонтов, м Depth of occurrence of reservoir horizons, m	4110–4170	3900–4100	3480–3550	1450–1670 аллохтон allochtone	–
Возраст отложений, вмещающих продуктивные коллекторы Age of sediments containing productive reservoirs	D _{1op}	S _{2p} –D _{1op}	D _{1op}	D _{1op}	D _{1op}

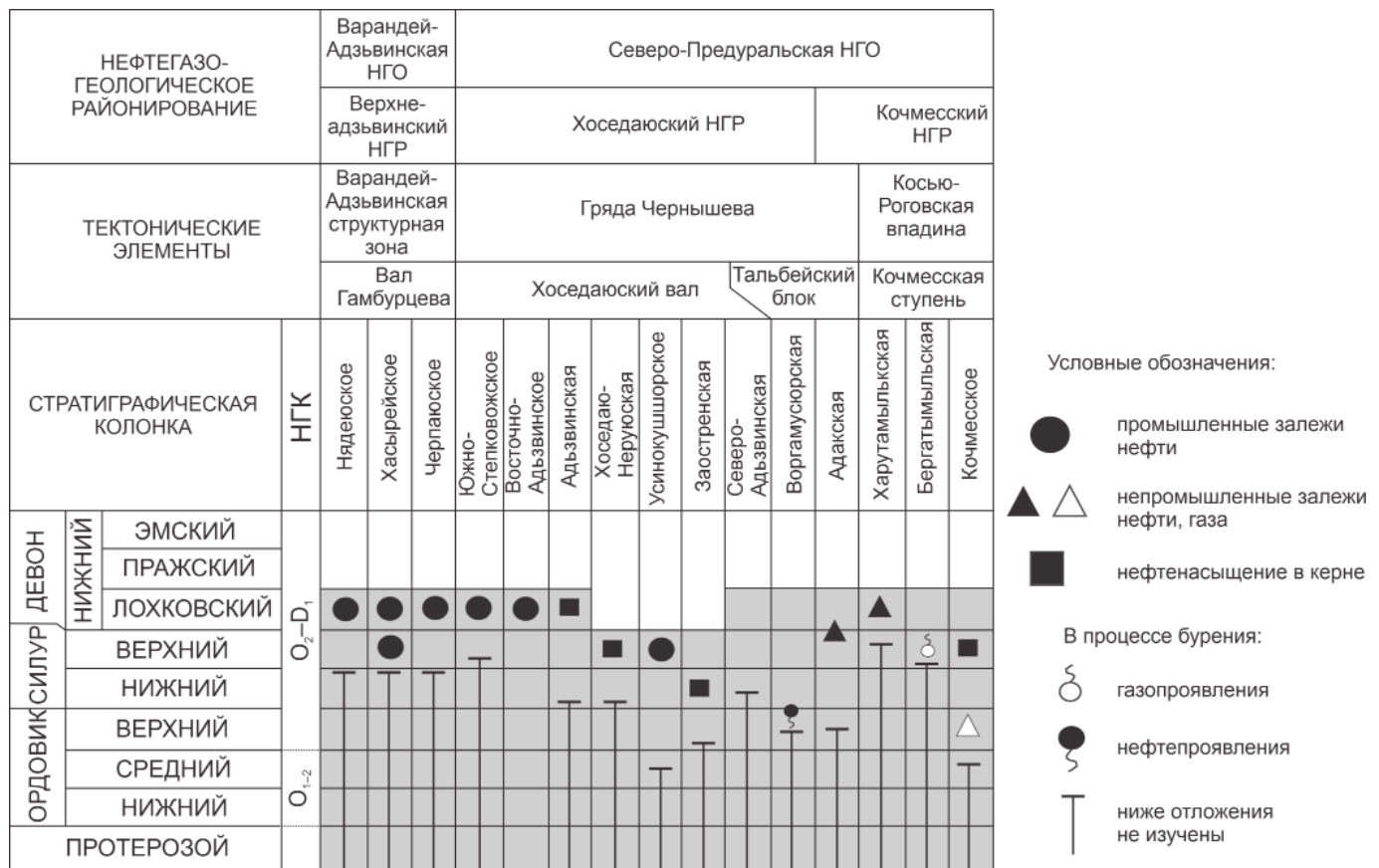


Рис. 2. Схема нефтегазоносности ордовикско-нижнедевонских отложений гряды Чернышева и прилегающих территорий (по [2] с изменениями)

Fig. 2. Scheme of oil and gas content of Ordovician-Lower Devonian deposits on the Chernyshev Swell and adjacent territories (according to [2] with changes)

месторождения коллекторами являются доломиты с трещинно-каверново-поровым типом пустотного пространства. Пористость, по данным ГИС, составляет 7.1–12.7 % (табл. 1). Эффективная нефтенасыщенная мощность коллекторов 10.6 м.

Наиболее детально породы-коллекторы в нижнедевонских отложениях изучены по скважинам Адакская-2 и Харутамыльская-1 (табл. 1). Продуктивные отложения в скважине Адакская-2 сложены доломитами и известняками, кавернозными и трещиноватыми. Пористость по керну изменяется от 0.3 до 5.6 % с преобладанием значений в диапазоне 0.5–1.5 % (рис. 3). Проницаемость изменяется от $<0.01 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ до $45.44 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ с преобладанием значений до $1.0 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ (рис. 3). Коллекторы относятся к трем классам: I – поровые и каверново-поровые, II – трещинно-каверново-поровые и III – каверново-трещинные, трещинные [2].

В скважине Харутамыльская-1 получены схожие характеристики коллекторов (табл. 1). Они представлены доломитами и доломитизированными известняками, кавернозными и трещиноватыми. Пористость, определенная по керну, изменяется в пределах 0.1–9.3 % с преобладанием в интервале значений 0.5–1.5 % (рис. 3). Проницаемость составляет от $0.014 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ до $115.42 \times 10^{-15} \text{ м}^2$. Доминируют низкие значения до $1.0 \times 10^{-15} \text{ м}^2$, реже в диапазоне $1–10 \times 10^{-15} \text{ м}^2$ (рис. 3). Преобладают трещинно-каверново-поровые и каверново-трещинные, трещинные коллекторы.

Совокупность имеющихся данных определений пористости и проницаемости для нижнедевонских от-

ложений характеризует их как низкоемкие и низкопроницаемые коллекторы. Улучшение фильтрационно-емкостных свойств нижнедевонских коллекторов предполагается в приразломных зонах, где отложения подвергались интенсивному растрескиванию и выщелачиванию [9, 17].

Породы-коллекторы в нижнедевонских отложениях разреза руч. Дэршор

Основной информацией по оценке коллекторских толщ нижнего девона являются материалы поисково-оценочного бурения, хотя на гряде Чернышева известны выходы нижнедевонских отложений в естественном залегании, изучение которых позволило бы получить дополнительную геологическую информацию. В этой связи нами был изучен наиболее представительный разрез нижнего девона, расположенный на руч. Дэршор в среднем течении р. Адзвы на севере гряды Чернышева (рис. 1, а).

В этом разрезе пористо-кавернозные породы-коллекторы установлены в доломитовой пачке (пачка II) овинпармского горизонта (рис. 4, а, б). Они представлены доломитами, мелко- и среднезернистыми, биогермными (баундстоуны) с ветвистыми колониями строматопорат, реже табулят и существенным содержанием микрочернистого карбоната, микробиальных комков и ступков (рис. 4, с). Формирование этих отложений связано с небольшими биогермами и биостромами в зоне «изолированной» мелкой сублиторали. Приобретение свойств коллекторов связано с интенсивным развитием постседиментационных про-

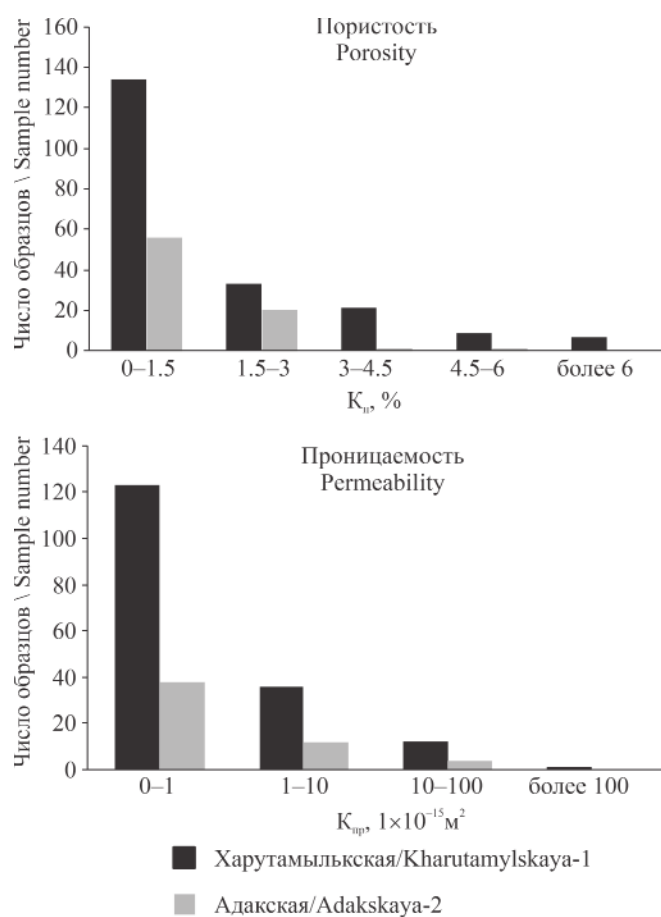


Рис. 3. Графики распределения пористости и проницаемости (составлено по материалам ООО «Газпром ВНИИГАЗ» в г. Ухта)

Fig. 3. Diagrams of porosity and permeability distribution (based on the materials of Gazprom VNIIGAZ LLC, Ukhta Branch office)

цессов выщелачивания колоний строматопор и табулят в зоне интенсивной трещиноватости пород разреза. Пустотность породы сформирована кавернами и порами по органическим остаткам, межкристаллическими порами и трещинами выщелачивания (рис. 4, d–g). По соотношению типов пустот они относятся к трещинно-каверновым (трещинно-каверново-поровым) коллекторам. Определение фильтрационно-емкостных свойств пород показало: пористость – 2.06 %, проницаемость – $0.041 \times 10^{-15} \text{ м}^2$.

Схожие породы и фациальные условия их образования описываются на прилегающем к гряде Чернышева восточном борту Хорейверской впадины [5]. Авторы выделяют здесь в сублитеральном комплексе фацию карбонатных отмелей, с которой связывают основную часть коллекторов овинпармского горизонта. Ими установлено, что с породами карбонатных отмелей связаны наиболее высокоёмкие коллекторы с пористостью 5–15.3 % (в среднем 10 %) и проницаемостью до 1Д [5].

Изучение керна скважин Адакская-2 и Харутамыльскская-1 послужило основой для модели, предполагающей широкое развитие в районе гряды Чернышева в нижнедевонское время микробиально-водорослевых биогермных построек и связанных с ними фаций [3]. Согласно этой модели, биогермы имели небольшие размеры (максимум 1.5–2 км по ширине и 2–3 км по простиранию) и формировали полосовидные зоны па-

раллельно краю карбонатной платформы. Исследования коллекторских свойств разнофациальных отложений показало, что наибольшая эффективная толщина коллекторов связана с массивами биогермов и их тыловых частей. Однако наилучшими фильтрационно-емкостными характеристиками (средние значения K_p – 4.4 %, $K_{пр}$ – $16.7 \times 10^{-15} \text{ м}^2$) обладают отложения, отнесенные к фациальной зоне обломочных шлейфов биогермов [3].

Нефтегазоматеринские породы

В качестве потенциальных нефтегенерирующих толщ выделены глинисто-карбонатные отложения преимущественно в разрезе овинпармского горизонта. Средние концентрации $C_{орг}$ составляют 0.28–0.52 % в карбонатных породах и 1.08–1.88 % в мергелях и аргиллитах. По данным пиролиза Rock-Eval, значения генерационного потенциала ($S_1 + S_2$) и водородного индекса (HI) наиболее обогащенных ОВ пород составляют соответственно 2.18–8.65 мг УВ/г породы и 153–432 мг УВ/г $C_{орг}$ [2]. По совокупности геохимических параметров нефтегазоматеринские породы овинпармского горизонта относятся к категории низко- и среднепродуктивных.

В изученном разрезе на руч. Дэршор к нефтегазоматеринским отложениям могут относиться породы глинисто-карбонатной пачки (3 пачка) овинпармского горизонта. Она сложена известняками с прослоями мергелей и глинистых известняков. Содержание $C_{орг}$ составляет 0.2–0.4 % в известняках и 1.1–1.5 % в глинисто-карбонатных разностях пород. В породах этой пачки также присутствуют битумо- и нефтепроявления в виде заполнения битумом пустот по плоскостям отдельности, трещинам и стилолитовым швам (рис. 5, a–c), включений битумов в кальцитовых гнездах (рис. 5, d) и нефтеподобных жидких включений (рис. 5, e).

Кроме нижнедевонских нефтегазоматеринские породы установлены также в верхнесилурийских отложениях [2, 6]. Поэтому нельзя исключать генерацию УВ породами верхнего силура и их вертикальную миграцию в нижнедевонские коллекторы.

Перспективы поисков залежей УВ в нижнедевонских отложениях

Проведение поисково-разведочных работ на выявление залежей УВ в карбонатных отложениях среднеордовикско-нижнедевонского нефтегазоносного комплекса связываются с локальными объектами как на самой гряде Чернышева, так и на прилегающих к ней надвиговых зонах (рис. 6, a).

В Хоседаюской антиклинальной зоне перспективы поисков связываются с поднадвиговой (автохтон и паравтохтон) частью разреза. По результатам переобработки и переинтерпретации геолого-геофизических материалов в качестве перспективных локальных объектов рассматриваются Адзвьянская (рис. 6, b) и Северо-Адзвьянская приразломные структуры [4]. По проведенной оценке ресурсов этой зоны с нижнедевонскими отложениями связывается основной прирост запасов нефти: извлекаемые ресурсы по категории D_0 составляют около 12.9 млн т [8].

В южной части гряды Чернышева (Яньюский блок) объектом для постановки поисково-разведочных работ рекомендуется структура Яньюская-II (рис. 6, d). Оценка прогнозных извлекаемых ресурсов нефти (категории D_{1л}) структуры по отложениям среднеордо-

викско-нижнедевонского комплекса составляет 4.5 млн т [1]. В качестве перспективных поисковых объектов также предлагаются подготовленные Западно-Сарьюгинская (ресурсный потенциал D₀ — 4.58 млн т) и Западно-Еджидьюская (ресурсный потенциал D₀ —

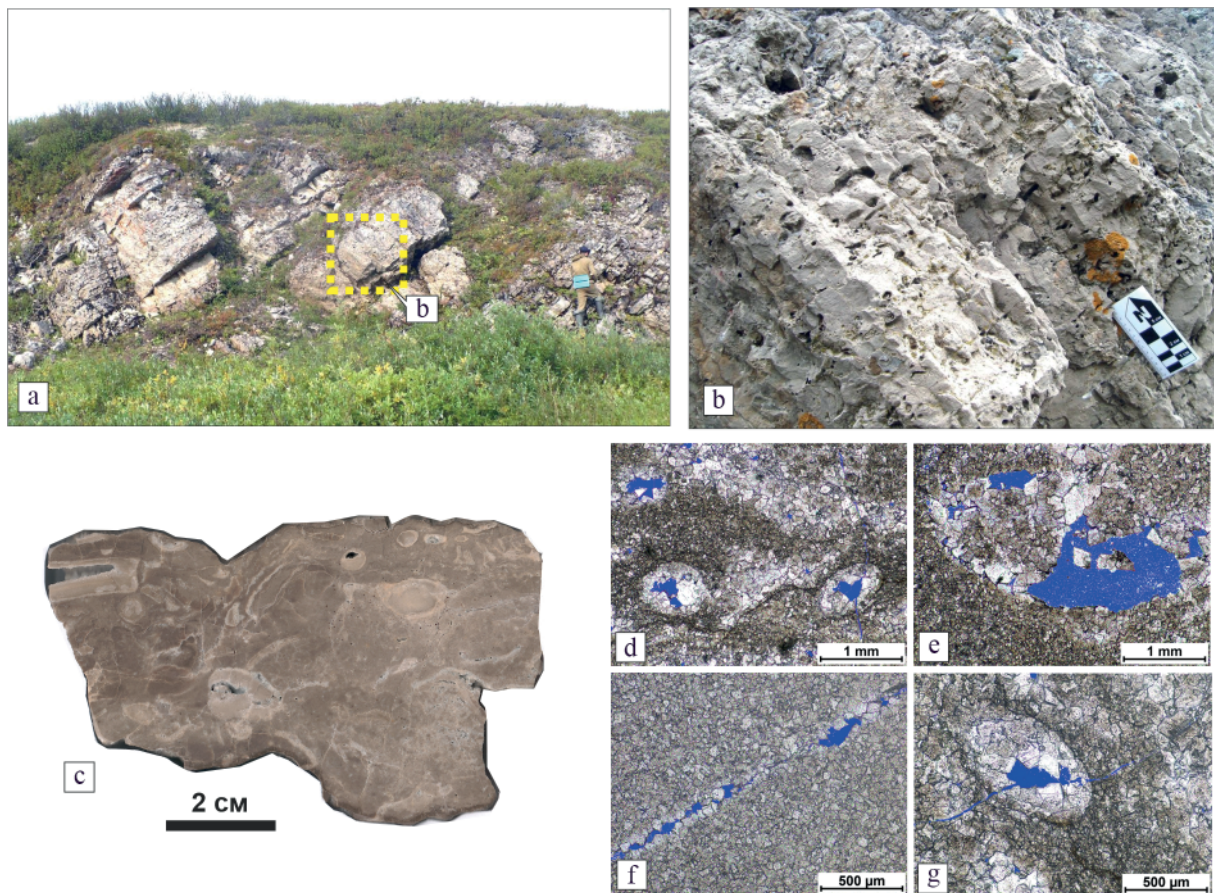


Рис. 4. Породы-коллекторы в овинпармских отложениях нижнего девона на руч. Дэршор: а — фото естественных выходов овинпармских отложений; б — фото слоя пористо-кавернозных пород; с — доломит биогермный (баундстоун); д–г — микрофотографии шлифов, демонстрирующие пустотное пространство (синей заливкой показаны пустоты): д, е, г — поры и каверны по органическим остаткам, ф — трещины выщелачивания

Fig. 4. Reservoir rocks in the Ovinparma Formation (Lower Devonian) on the Dershor creek: а — photo of the Ovinparma Formation outcrop; б — photo of a layer of pore-cavernous rocks; с — biogermic dolomite (boundstone); д–г — thin section microphotographs (voids are shown in blue)

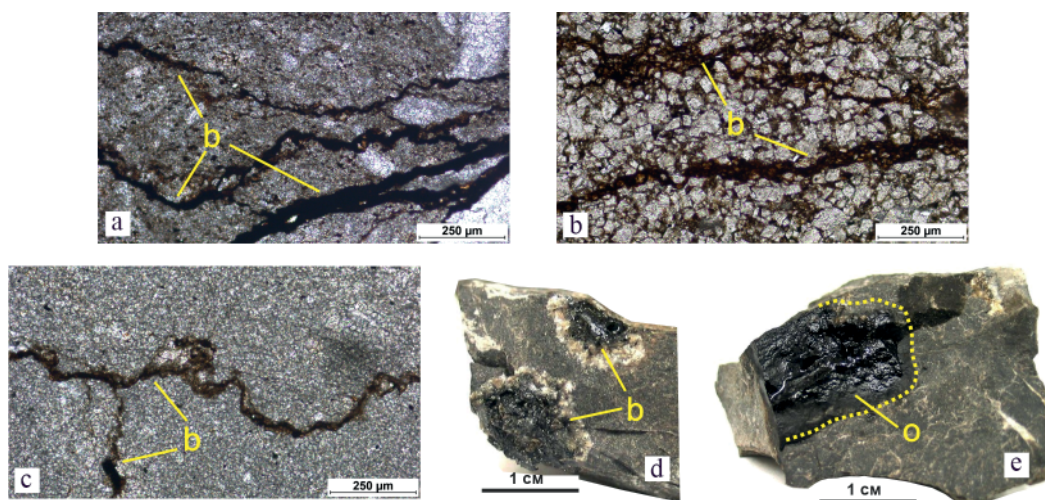


Рис. 5. Битумо- (а–д) и нефтепроявления (е) в овинпармских отложениях нижнего девона на руч. Дэршор: б — битум; о — пора с нефтью

Fig. 5. Bitumen (а–д) and oil occurrences (е) in the Ovinparma Formation (Lower Devonian) on the Dershor creek: б — bitumen; о — cavern with oil

Заключение

Установленная нефтеносность нижнедевонских отложений и благоприятное соотношение нефтематеринских пород, коллекторов и флюидоупоров в природном резервуаре, а также доступные для бурения глубины продуктивных горизонтов (3.5–4 км) позволяют рассматривать их как перспективный поисковый объект для выявления залежей УВ.

Породы-коллекторы представлены преимущественно доломитами с трещинно-каверново-поровым и каверново-трещинным типом пустотного пространства. Фильтрационно-емкостные свойства пород характеризуют их как низкоемкие и низкопроницаемые коллекторы: основной диапазон значений (по керну) составляет 0.5–1.5 % для пористости и до 1.0×10^{-15} м² для проницаемости. Улучшение коллекторских свойств предполагается в зонах разломов, где карбонатные породы подвергались растрескиванию и выщелачиванию.

Проведение поисковых работ на выявление залежей УВ в нижнедевонских отложениях связывают с локальными структурами как на самой гряде Чернышева, так и в прилегающих к ней надвиговых зонах. В северной части гряды для опознания рекомендуются Адзвинская и Северо-Адзвинская приразломные структуры. В южной половине гряды для постановки поисковых работ предлагается структура Яньюская-II, а также поднадвиговое Поварницкое поднятие. Таким образом, наличие фонда подготовленных поисковых локальных объектов, а также высокая доля неразведанной части ресурсов позволяют высоко оценивать вероятность обнаружения новых залежей УВ в природных резервуарах нижнего девона.

Авторы благодарны С. В. Сенину (ООО «ТП НИЦ») за возможность проведения петрофизических исследований образцов пород.

Литература

1. Богданов М. М., Лукова С. А. Зоны нефтегазонакопления и новые направления поисков месторождений углеводородов в нижних горизонтах осадочного чехла гряды Чернышева // Геология нефти и газа. 2016. № 1. С. 31–44.
2. Данилов В. Н. Гряда Чернышева: геологическое строение и нефтегазоносность. СПб.: Реноме, 2017. 288 с.
3. Данилов В. Н., Иванов В. В., Гудельман А. А., Журавлев А. В., Вишератина Н. П., Огданец Л. В., Уткина О. Л. Перспективы нефтегазоносности центральной части поднятия Чернышева по результатам геологоразведочных работ на Адакской площади // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т. 6. № 2. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/21_2011.pdf
4. Желудова М. С. Перспективы нефтегазоносности поднадвиговой части разреза северной части Хоседаюской антиклинальной зоны гряды Чернышева // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XVII Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: Геопринт, 2019. Т. 3. С. 41–42.
5. Жемчугова В. А., Маслова Е. Е. «Биогермные постройки» нижнего девона восточного борта Хорейверской впадины // Геология рифов: Материалы Всерос. литолог. совещания, посвящ. 130-летию со дня рождения В. А. Варсанофьевой. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. С. 51–53.
6. Котик И. С., Даныщикова И. И., Котик О. С., Валяева О. В., Можегова С. В., Соколова Л. В. Литолого-геохимическая характеристика силурийских отложений Тальбейского блока гряды Чернышева // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 11. С. 15–22.
7. Куранов А. В. Невостребованные нефтегазовые объекты Тимано-Печорской провинции, их углеводородный потенциал и перспективы вовлечения в освоение // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2015. Т. 10. № 1. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/8_2015.pdf
8. Куранов А. В., Кутлинский А. А., Желудова М. С., Матвеева С. Ю., Зегер Н. А. Результаты оценки начальных суммарных ресурсов углеводородного сырья Республики Коми // Горный журнал. 2013. № 7. С. 57–61.
9. Мартынов А. В. Емкостной потенциал силурийско-нижнедевонской карбонатной формации поднятия Чернышева // Рассохинские чтения: материалы межрегионального семинара. Ухта: УГТУ, 2010. С. 98–103.
10. Мартынов А. В., Жарков А. М., Николаева А. М. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности южной части гряды Чернышева // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2021. Т. 16. № 1. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2021/2_2021.html
11. Петрова Ю. Э., Прохоров В. Л., Багаева М. А., Умрилов Е. Л., Коршунов А. А., Алексеева И. Б., Яковлева Л. А., Карпова И. В. Оценка состояния сырьевой базы углеводородов Северо-Западного федерального округа и проблемы ее воспроизводства // Геология нефти и газа. 2020. № 5. С. 7–25. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-5-7-25
12. Прищепина О. М., Богацкий В. И., Макаревич В. Н., Чумакова О. В., Никонов Н. И., Куранов А. В., Богданов М. М. Новые представления о тектоническом и нефтегазогеологическом районировании Тимано-Печорской нефтегазональной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2011. Т. 6. № 4. С. 1–34. URL: http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf
13. Соборнов К. О., Данилов В. Н. Строение и перспективы нефтегазоносности гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн) // Геология нефти и газа. 2014. № 5. С. 11–18.
14. Соборнов К. О. Ресурсный потенциал гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн) в контексте новых данных о строении и продуктивности соленосных надвиговых поясов // Георесурсы. 2022. Т. 24. № 1. С. 36–50.
15. Соборнов К. О., Коротков И. П., Яковлев Д. В., Куликов В. А., Кудрявцев К. Ю., Колесник В. Ф. Раздавленные соляные диапиры гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн): комплексное изучение и влияние на нефтегазоносный потенциал // Геология нефти и газа. 2021. № 1. С. 73–88. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-1-73-88
16. Сотникова А. Г., Лукова С. А. Перспективы нефтегазоносности объектов складчато-надвигового генезиса северного сегмента Предуралья Краевого прогиба // Геология нефти и газа. 2021. № 1. С. 89–102.
17. Теплов Е. Л., Костыгова П. К., Ларионова З. В., Беда Ю. И., Довжикова Е. Г., Куранова Т. И., Никонов Н. И., Петренко Е. Л., Шабанова Г. А. Природные резервуары нефтегазоносных комплексов Тимано-Печорской провинции. СПб., 2011. 286 с.
18. Тимонин Н. И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 240 с.
19. Юдин В. В. Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. Екатеринбург: Наука, 1994. 284 с.



20. Юрьева З. П. Положение залежей нефти в разрезах нижнедевонских отложений (Тимано-Печорская провинция) // Геология нефти и газа. 2015. № 3. С. 3—13.

References

1. Bogdanov M. M., Lukova S. A. *Zony neftegazonakopleniya i novye napravleniya poiskov mestorozhdenij uglevodorodov v nizhnih gorizontah osadochnogo chekhla gryady Chernysheva* (Oil and gas accumulation areas and new directions of hydrocarbon exploration in the lower horizons of sedimentary cover of the Chernyshov Ridge). *Geology of oil and gas*, 2016, No. 1, pp. 31—44.
2. Danilov V. N. *Gryada Chernysheva: geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost'* (The Chernyshev ridge: geological structure and petroleum potential). St. Petersburg: Renome, 2017, 288 p.
3. Danilov V. N., Ivanov V. V., Gudelman A. A., Zhuravlev A. V., Visheratina N. P., Ogdanec L. V., Utkina O. L. *Perspektivy neftegazonosnosti central'noj chasti podnyatiya Chernysheva po rezul'tatam geologorazvedochnyh rabot na Adaksoj ploschadi* (Adak area — main results of organic matter and hydrocarbon fluids'study). *Oil and gas geology, Theory and practice*, 2011, V.6, No. 2. http://www.ngtp.ru/rub/4/21_2011.pdf
4. Zheludova M. S. *Perspektivy neftegazonosnosti podnadvigovoj chasti razreza severnoj chasti Hosedayuskoj antiklinal'noj zony gryady Chernysheva* (Perspectives of oil and gas potential of the thrust part of the section of the northern part of the Khosedayu anticline zone of the Chernyshev Ridge). *Geology and mineral resources of the European Northeast of Russia, Materials of the XVII Geological Congress of the Komi Republic*, Syktyvkar: Geoprint, 2019, V. 3, pp. 41—42.
5. Zhemchugova V. A., Maslova E. E. «Biogermnye postrojki» nizhnego devona vostochnogo borta Horejverskoj vpadiny (Lower Devonian «bioherm buildups» on the eastern edge of the Khoreyver depression). *Geology of reefs: proceedings of the All-Russian Lithological Meeting dedicated to the 130th anniversary of the birth of Vera Alexandrovna Varsanofyeva*, Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2020, pp. 51—53.
6. Kotik I. S., Dan'shchikova I. I., Kotik O. S., Valyaeva O. V., Mozhegova S. V., Sokolova L. V. *Litologo-geohimicheskaya harakteristika silurijskih otlozhenij Tal'bejskogo bloka gryady Chernysheva* (Lithological and geochemical characteristics of Silurian deposits in the Talbey block of the Chernyshev ridge). *Vestnik of IG Komi SC UB RAS*, 2016, No. 11, pp. 15—22.
7. Kuranov A. V. *Nevostrebovannye neftegazovye obyekty Timano-Pechorskoj provincii, ih uglevodorodnyj potencial i perspektivy vovlecheniya v osvoenie* (Unclaimed oil and gas objects in the Timan-Pechora petroleum province: potential and possibilities of involving in development). Ext. thesis of Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Ukhhta: TP SRC, 2015, 261 p.
8. Kuranov A. V., Kutlinskij A. A., Zheludova M. S., Matveeva S. Yu., Zeger N. A. *Rezultaty ocenki nachal'nyh summarnyh resursov uglevodorodnogo syr'ya Respubliki Komi* (Results of evaluation of initial total hydrocarbon resources of the Komi Republic). *Mining Journal*, 2013, No. 7, pp. 57—61.
9. Martynov A. V. *Emkostnoj potencial silurijsko-nizhnedevonskoj karbonatnoj formacii podnyatiya Chernysheva* (The capacitive potential of the Silurian-Lower Devonian carbonate formation of the Chernyshev Ridge). *Rassokhinsky readings: materials of the interregional seminar*, Ukhhta: USTU, 2010, pp. 98—103
10. Martynov A. V., Zharkov A. M., Nikolaeva A. M. *Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti yuzhnoj chasti gryady Chernysheva* (Geological model and petroleum perspectives of the southern part of the Chernyshov ridge). *Oil and gas geology. Theory and practice*, 2021, V. 16, No. 1. http://www.ngtp.ru/rub/2021/2_2021.html DOI:10.17353/2070-5379/2_2021
11. Martynov A. V., Zharkov A. M., Nikolaeva A. M. *Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti yuzhnoj chasti gryady Chernysheva* (Assessment of the state of the hydrocarbon raw material base of the North-Western Federal District and the problems of its reproduction). *Geology of oil and gas*, 2020, No. 5, pp. 7—25. DOI: 10.31087/0016-7894-2020-5-7-25
12. Prishchepa O. M., Bogackij V. I., Makarevich V. N., Chumakova O. V., Nikonov N. I., Kuranov A. V., Bogdanov M. M. *Novye predstavleniya o tektonicheskom i neftegazogeologicheskom rajonirovanii Timano-Pechorskoj neftegazonosnoj provincii* (The Timan-Pechora oil bearing province — new tectonical insight). *Oil and gas geology, Theory and Practice*, 2011, V.6, No. 4, pp. 1—34. http://www.ngtp.ru/rub/4/40_2011.pdf
13. Sobornov K. O., Danilov V. N. *Stroenie i perspektivy neftegazonosnosti gryady Chernysheva (Timano-Pechorskij bassejn)* (Structure and petroleum potential of the Chernyshev swell (Timan Pechora basin)). *Geology of oil and gas*, 2014, No. 5, pp. 11—18.
14. Sobornov K. O. *Resursnyj potencial gryady Chernysheva (Timano-Pechorskij bassejn) v kontekste novyh dannyh o stroenii i produktivnosti solenosnyh nadvigovyh pojasov* (Resource potential of the Chernyshev swell (the Timan-Pechora basin) in the context of the structure and petroleum habitat of the salt bearing thrust belts). *Georesources*, 2022, V. 24, No. 1, pp. 36—50.
15. Sobornov K. O., Korotkov I. P., Yakovlev D. V., Kulikov V. A., Kudryavcev K. Yu., Kolesnik V. F. *Razdavlennye solyanye diapiry gryady Chernysheva (Timano-Pechorskij bassejn): kompleksnoe izuchenie i vliyanie na neftegazonosnyj potencial* (Squeezed diapirs of the Chernyshev Swell (Timan-Pechora basin): integrated study and petroleum habitat). *Geology of oil and gas*, 2021, No. 1, pp. 73—88. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-1-73-88.
16. Sotnikova A. G., Lukova S. A. *Perspektivy neftegazonosnosti obyektov skladchato-nadvigovogo genezisa severnogo segmenta Predural'skogo kraevogo progiba* (Objects of fold-and-thrust genesis: petroleum potential of Urals Foredeep northern segment). *Geology of oil and gas*, 2021, No. 1, pp. 89—102.
17. Teplov E. L., Kostygova P. K., Larionova Z. V., Beda Yu. I., Dovzhikova E. G., Kuranova T. I., Nikonov N. I., Petrenko E. L., Shabanova G. A. *Prirodnye rezervuary neftegazonosnyh kompleksov Timano-Pechorskoj provincii* (Natural reservoirs of oil and gas complexes of the Timan-Pechora province). St. Petersburg: Renome, 2011, 286 p.
18. Timonin N. I. *Pechorskaya plita: istoriya geologicheskogo razvitiya v fanerozoje* (Pechora plate: the history of geological development in the Phanerozoic). Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 1998, 240 p.
19. Yudin V. V. *Orogenez severa Urala i Paj-Hoya* (Orogeny of the north of the Urals and Pay-Khoy). Yekaterinburg: Nauka, 1994, 284 p.
20. Yur'eva Z. P. *Polozhenie zalezhej nefiti v razrezah nizhnedevonskih otlozhenij (Timano-Pechorskaya provinciya)* (Position of oil pools in the sections of the Lower Devonian deposits (Timan-Pechora province)). *Geology of oil and gas*, 2015, No. 3, pp. 3—13.

Поступила в редакцию / Received 14.11.2022



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 552.122:552.323.1 (234.852)

DOI: 10.19110/geov.2022.12.3

Строение, петрография и петрогеохимия кислых пород экструзивно-субвулканического тела южной части хребта Енганепэ (Полярный Урал)

Т. А. Вовчина

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
ta_kaneva@mail.ru

Приводятся результаты изучения текстурно-структурных особенностей кислых пород экструзивно-субвулканического тела лядгейского комплекса (λV_2ld) между ручьями Правый и Левый Изьявож южной части хребта Енганепэ. Установлено, что экструзивно-субвулканическое образование обладает неоднородным строением, обусловленным зональным расположением разновидностей пород: массивных, флюидалных и сферолоидных риолитов, кластолав риолитового и дацитового состава. Выраженность в рельефе, признаки выдавливания вязкой лавы, текстуры течения в породах, последовательная смена с запада на восток флюидалных разновидностей массивными и затем сферолоидными, присутствие кластолав риолитового и дацитового состава позволяют отнести изучаемый объект к экструзивному генетическому типу.

Ключевые слова: экструзивно-субвулканическое тело, риолит, кластолава, хребет Енганепэ.

Structure, petrography and petrogeochemistry of acid rocks of extrusive-subvolcanic body of the southern part of the Enganepe Ridge (Polar Urals)

T. A. Vovchina

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The results of the study of textural and structural features of acidic volcanites of the extrusive-subvolcanic body of the Lyadghey Complex (λV_2ld) between the Pravy Izyavozh and the Levy Izyavozh creeks of the southern part of the Enganepe Ridge are reported. We found that the extrusive-subvolcanic formation had an inhomogeneous structure due to the zonal arrangement of rock varieties: massive, fluid and spheruloid rhyolites, clusters of rhyolite and dacite composition. Prominence in relief, signs of extrusion of viscous lava, flow textures, successive change from west to east of fluid varieties by massive and then spheroid, the presence of clastolaves of rhyolite and dacitic compositions allow classifying the studied object as an extrusive genetic type.

Keywords: extrusive-subvolcanic body, rhyolite, clastolava, Enganepe Ridge.

Введение

Экструзивные тела формируются преимущественно в завершающие этапы вулканизма. Если магма вязкая и температура ее невысока, то расплав медленно выжимается и выдавливается на поверхность, происходит экструзия магмы и образуются специфические постройки — экструзивные (вулканические) купола [2].

Вулканические купола по условиям образования, форме и размерам весьма разнообразны, начиная от едва заметных выпуклостей рельефа до пиков, измеряемых сотнями метров. Большинство классификаций основано на их строении и форме [2]. Выделяют грибообразные и веерообразные (воронкообразные) купола, которые, в свою очередь, подразделяются по ти-

пу строения: простой симметричный, простой асимметричный, асимметричный усложненный, сложный симметричный и сложный асимметричный.

Экструзии обычно обладают неоднородным строением, которое обусловлено зональным расположением разновидностей пород, флюидалностью, полосчатостью, пористостью, степенью кристалличности, отдельностью и трещиноватостью.

В южной части хребта Енганепэ обнажаются образования кислого состава, которые относят к экструзивно-субвулканическому лядгейскому комплексу (λV_2ld) поздневендского возраста [7]. Нами было детально изучено зональное строение одного из достаточно крупных экструзивных тел между ручьями Правый

Для цитирования: Вовчина Т.А. Строение, петрография и петрогеохимия кислых пород экструзивно-субвулканического тела южной части хребта Енганепэ (Полярный Урал) // Вестник геонаук. 2022. 12(336). С. 20–28. DOI: 10.19110/geov.2022.12.3

For citation: Vovchina T.A. Structure, petrography and petrogeochemistry of acid rock extrusive-subvolcanic body of the southern part of the Enganepe Ridge (Polar Urals). Vestnik of Geosciences, 2022, 12(336), pp. 20–28, doi: 10.19110/geov.2022.12.3

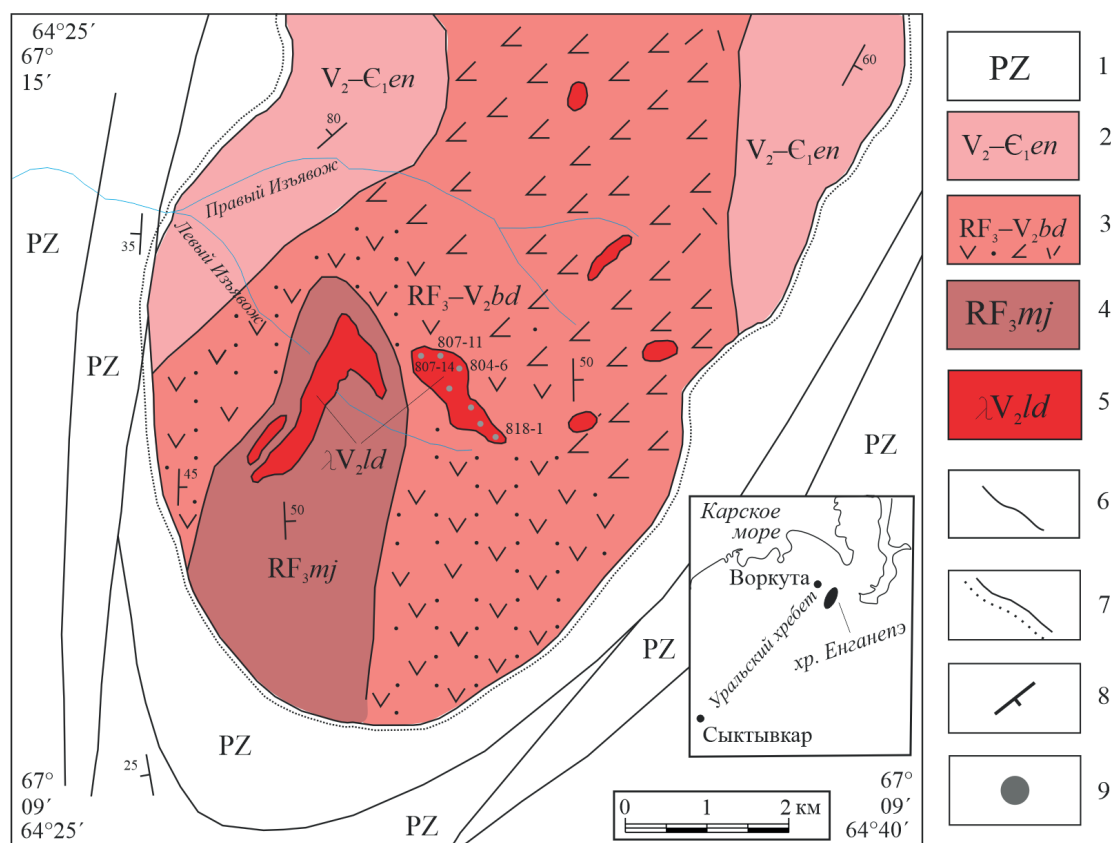


Рис. 1. Схема геологического строения южной части хребта Енганепэ, Полярный Урал. Составлена по материалам ГДП-200 ЗАО «ГТК МИРЕКО» [8]

Условные обозначения: 1 — палеозойские отложения; 2 — енганепэ́йская свита (V_2-C_1en): флишоидное переслаивание апоглинистых и апоалевролитовых сланцев, полимиктовых песчаников, линзы песчаных известняков, туфопесчаники; 3 — бедамельская серия нерасчлененная (RF_3-V_2bd): базальты, андезибазальты, андезиты, дациты, риолиты и их кластолавы и туфы; 4 — манюкуяхинская свита (RF_3mj): метаалевропесчаники, метаалевролиты, углеродисто-кремнисто-глинистые сланцы, прослои известняков; 5 — лядгейский комплекс риолитовый (λV_2ld); 6–7 — границы стратиграфических подразделений: 6 — согласные, 7 — несогласные; 8 — наклонное залегание, 9 — точки отбора проб

Fig. 1. Schematic geological structure of the southern part of the Enganepe Ridge, Polar Urals, compiled on the basis of materials of additional geological study, scale 1:200 000, GGC MIREKO Company [8]

Legend: 1 — Paleozoic sediments; 2 — Enganepe Formation (V_2-C_1en): flyschoid interlayer of apoglinic and apoaleurolite shales, polymictic sandstones, lenses of sandy limestones, tuff sandstones; 3 — Bedamel series undifferentiated (RF_3-V_2bd): basalts, andesibasalts, andesites, dacites, rhyolites and their clastolaves and tuffs; 4 — Manyukuyakha Formation (RF_3mj): metaaleurolites, carbonaceous-siliceous-clay shales, limestone interlayers; 5 — Lyadghey rhyolite complex (λV_2ld); 6–7 — geological boundaries: 6 — conformable, 7 — unconformable; 8 — inclined bedding; 9 — sample points

и Левый Изъявож с целью выделить генетический тип строения и текстурно-структурные характеристики кислых пород.

Геологическое строение района

Хребет Енганепэ расположен на юго-западном склоне Полярного Урала, в бассейне р. Лёк-Елец, в 50 км к юго-востоку от Воркуты. Он представляет собой брахиантиклиналь северо-восточного простираения протяженностью около 60 км и шириной около 20 км. В ядре антиклинали вскрыты докембрийские осадочные, вулканогенно-осадочные и вулканические стратифицированные комплексы манюкуяхинской свиты (RF_3mj), бедамельской серии (RF_3-V_2bd) и енганепэ́йской свиты (V_2-C_1en). Крылья антиклинали сложены породами палеозойского возраста. Породы рифей-вендского (доуралиды) и нижнепалеозойского (уралиды) структурных этажей разделены угловым, стратиграфическим и азимутальным несогласиями. Породы

енганепэ́йской свиты и бедамельской серии со структурным несогласием перекрыты палеозойскими толщами, разрез которых начинается с нижнеордовикской манитаньрдской серии (C_3-O_1mn), содержащей продукты разрушения вулканических пород этих свит и одновозрастных гранитоидов [4].

Результаты геохронологических исследований туфов верхней части бедамельской серии (554.7 ± 3.3 млн лет) и туфов нижней части енганепэ́йской свиты (558.7 ± 3.9 и 552.0 ± 3.6 млн лет) в пределах хребта Енганепэ показали, что они формировались в конце венда [5].

Среди магматических горных пород, развитых в южной части хребта Енганепэ, выделяется множество мелких и крупных поздневендских экструзивно-субвулканических образований лядгейского комплекса (λV_2ld), которые локализованы в верхах бедамельской серии и комагматичны кислым покровным образованиям. Абсолютный возраст риолитов лядгейского комплекса определен по единичным цирконам U-Pb-

методом на ионном микрозонде SHRIMP-II в ЦИИ ВСЕГЕИ в интервале 555–547 млн лет и отвечает основанию верхнего венда [7].

Аналитические методы

Минеральный состав и текстурно-структурные особенности пород изучались в прозрачных шлифах на исследовательском микроскопе OLYMPUS BX51. Концентрации петрогенных элементов, представленных в виде оксидов, определялись методом классического химического анализа, содержание других микроэлементов — методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) на аппарате Agilent 7700x (Agilent Technologies США, аналитик Г. В. Игнатев) в ЦКП «Геонаука» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Петрографическая характеристика пород

Экструзивно-субвулканическое образование лядгейского комплекса (λV_2ld) между ручьями Правый и Левый Изъявож сложено вулканогенными породами кислого состава — массивными, флюидальными и сферолоидными риолитами, а также кластолавами риолитового и дацитового состава. Породами обрамления

(вмещающими) являются щелочные базальты, андезиты и их туфы бедамельской серии (RF_3-V_2bd).

Массивные риолиты — это породы светло-серого цвета с зеленоватым оттенком и темно-серого до угольного цвета, с раковистым сколом, с единичными вкрапленниками калиевого полевого шпата и неправильными изометричными зернами кварца (рис. 2, а). Породы характеризуются массивной текстурой и редкопорфировой структурой (рис. 2, b). Основная масса имеет микрофельзитовую структуру. Акцессорные минералы (циркон) единичны.

Флюидальные риолиты светло-серо-зеленоватого цвета с чередованием белых и серых полос, размером 1–2 мм на макроуровне (рис. 2, c). Породы обладают линзовидно-полосчатой текстурой и редкопорфировой структурой (рис. 2, d). Такая неоднородность строения связана с высокой вязкостью кислой лавы. Структура основной массы фельзитовая с послойными участками гребенчатой и сферолитовой структур. Главную часть основной массы породы составляет фельзитовый слабополяризующийся кварц-полевошпатовый материал. Вторым элементом структуры являются линзовидные, более раскристаллизованные участки, имеющие зональное строение. Внешняя оторочка таких линзочек имеет гребенчатую структуру,

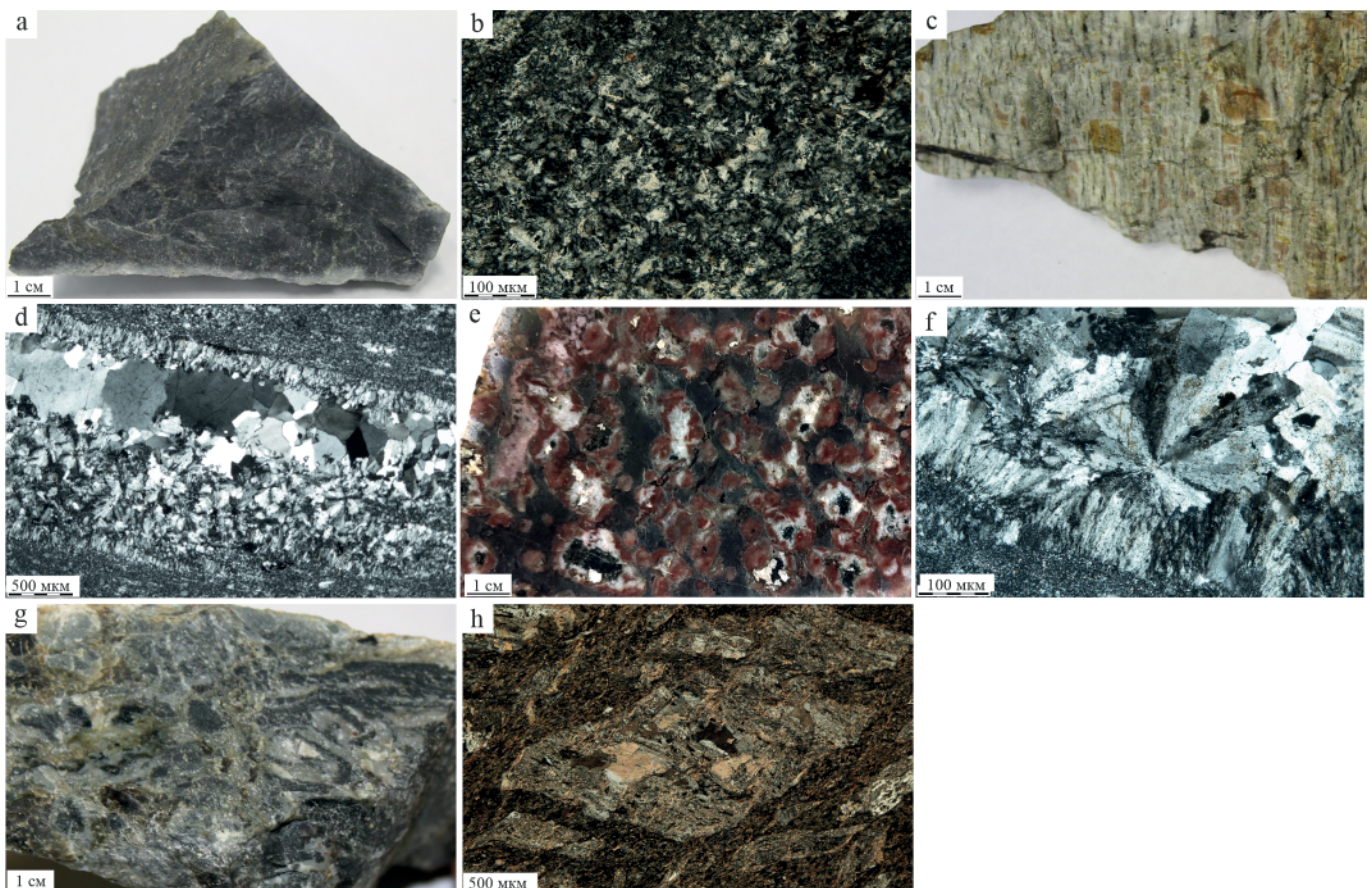


Рис. 2. Разновидности пород экструзивного тела и их микрофотографии (фото с анализатором): а — массивный риолит; б — метасферолитовая структура основной массы; с — флюидальный риолит; д — фельзитовая основная масса с послойными участками гребенчатой и сферолитовой структур; е — сферолоидный риолит; ф — сферолитовая структура риолитов; г — кластолава дацитового состава; h — пластично-деформированные обломки, направленные по текстуре течения

Fig. 2. Varieties of rocks of the extrusive body and their micrographs (photo with analyzer): а — massive rhyolite; б — meta-spherulite structure of the bulk; с — fluid rhyolite; д — felsite bulk with layered sections of combed and spherulite structures; е — spheruloid rhyolite; ф — spheruloid structure of rhyolites; г — dacitic clastolava; h — plastically deformed fragments directed along the texture of the flow



характеризующуюся перпендикулярным расположением волокнистых агрегатов полевого шпата и кварца относительно границ линзы. Внутренние части участков линз обладают сферолитовой структурой. Сферолиты имеют размеры 0.1–0.2 мм и характеризуются радиально-волокнистым строением и отчетливым крестообразным угасанием волокон. Центральная часть линз сложена ксеноморфными зернами кварца размером до 1 мм.

Сферолоидные риолиты имеют темно-серую окраску с овально-вытянутыми сферолоидами белого и красновато-бордового цвета (рис. 2, е). Текстура этих разностей флюидальная, а структура сферолитовая (рис. 2, ф). В микрофельзитовой кварц-полевошпатовой основной массе заключены сферолоиды радиально-лучистого строения. Они распределены по одному или группами из нескольких индивидов. Размеры сферолоидов меняются от 0.6 до 10 мм. Они вытянуты по направлению течения. Внутренняя часть их сложена, как и основная масса, микрозернистым кварц-полевошпатовым агрегатом. Оболочка сферолоидов представлена неправильными зернами кварца размером 0.3–0.5 мм.

Кластолава дацитового состава на макроуровне имеет темно-серую окраску (рис. 2, г) и флюидальную текстуру, обусловленную обломками дацитов ромбоэдральной формы, ориентированных в одном направлении (рис. 2, h). В породе отмечаются обломки (до 60 %) псаммито-псефитовой размерности (до 1.4 см). Они имеют порфиновую структуру, представленную вкрапленниками сосюритизированного плагиоклаза размером до 1.2 мм, погруженными в серицитизированную основную массу. Обломки дацита, в свою очередь, обладают флюидальной текстурой, подчеркиваемой ориентированным расположением вкрапленников плагиоклаза. Матрикс (до 40 %) представлен кварц-полевошпатовым материалом. Порода подвержена серицитизации. Чешуйки серицита и тончайшая рудная пыль направлены по флюидальности, подчеркивая следы течения вязкой лавы.

Кластолава риолитового состава на макроуровне — серовато-бордового цвета, с обломками стекловатой структуры неправильной формы черного цвета, ориентированными по флюидальной текстуре. В породе отмечаются обломки (до 30 %) псаммитовой размерности (0.1–1.6 мм), представленные нераскристаллизованным и раскристаллизованным стеклом. На фоне кварц-полевошпатового матрикса выделяются линзовидной формы участки, слагающие шлировидные, в виде цепочки, скопления длиной 3–4 мм и выполненные агрегатом ксеноморфных зерен кварца размером до 0.4 мм. В кластолаве присутствуют «струйки» серицита по течению. В шлифе наблюдается захваченный крупный ксенолит сферолоидного риолита.

Петро- и геохимические характеристики

Для изучения петро- и геохимических особенностей экструзивно-субвулканического тела был задействован ряд диаграмм и индикаторных соотношений.

Кислые породы лядгейского комплекса образуют непрерывную серию от дацитов до риолитов (рис. 3, а) и являются калиево-натриевыми (табл. 1). На TAS-диаграмме (рис. 3, а) большая часть составов локали-

Таблица 1. Содержание петрогенных компонентов (мас. %) в риолитах лядгейского комплекса

Table 1. Content of petrogenic components (wt. %) in the rhyolites of Lyadghey Complex

Компонент Component	807-14	807-11	818-1	804-1	804-6
SiO ₂	69.77	76.88	80.07	78.73	67.50
TiO ₂	0.47	0.13	0.12	0.15	0.20
Al ₂ O ₃	13.35	10.46	10.14	11.71	16.87
Fe ₂ O ₃ сумма Fe ₂ O ₃ sum	3.64	3.28	2.06	1.47	3.60
MnO	0.06	0.07	0.14	0.04	0.00
MgO	1.95	0.38	0.38	0.62	3.22
CaO	2.14	0.18	0.19	0.38	0.26
Na ₂ O	3.19	2.80	2.46	3.93	3.50
K ₂ O	2.28	5.59	4.30	2.98	2.83
P ₂ O ₅	0.21	0.23	0.14	0.10	0.17
ППП POI	2.94	–	–	–	1.86
H ₂ O ⁻	0.19	0.19	0.22	0.21	0.21
CO ₂	1.09	1.09	0.10	0.10	0.10
Сумма Sum	101.28	101.28	100.32	100.42	100.32
Na ₂ O+K ₂ O	3.15	0.23	0.14	0.10	2.03
Na ₂ O/K ₂ O	1.40	0.50	0.57	1.32	1.24
al [']	2.39	2.86	4.16	5.60	2.47

зуются в области серии нормальной щелочности и лишь один состав (обр. 807–11) попал в область субщелочной серии. По содержанию K₂O породы преимущественно умеренно калиевые, одна точка состава (обр. 807–11) попала в область высококалиевых. Кислые породы лядгейского комплекса имеют низкие содержания титана [1], насыщены глиноземом (Al/(Ca+Na+K) = 1.02–1.82) (рис. 3, b).

В кислых вулканитах отмечается вариативное содержание редких земель от 108.08 до 449.60 г/т (табл. 2). На диаграмме распределения РЗЭ (рис. 4) можно выделить спектр распределения с формой, близкой к горизонтальной, с очень слабым отрицательным наклоном: породы немного обогащены легкими редкими землями относительно тяжелых. Величина La_N/Yb_N, являющаяся показателем этого обогащения, варьирует от 2.98 до 5.00. В спектрах распределения РЗЭ наблюдается хорошо проявленный Eu минимум (Eu_N/Eu_N^{*} = 0.21–0.35). В образце 804-6 в целом при сохранении типа спектра содержание всех РЗЭ выше, чем в остальных.

Кислые породы лядгейского комплекса имеют близкие мультиэлементные спектры распределения элементов-примесей (рис. 5). Для них характерно обогащение крупноионными литофильными элементами (K, Rb, Ba, Th) и слегка пониженными содержаниями высоkozарядных элементов (P, Ti, Y) и РЗЭ (Sm, Yb). В пробах отмечается пониженное содержание Ti. Подобное

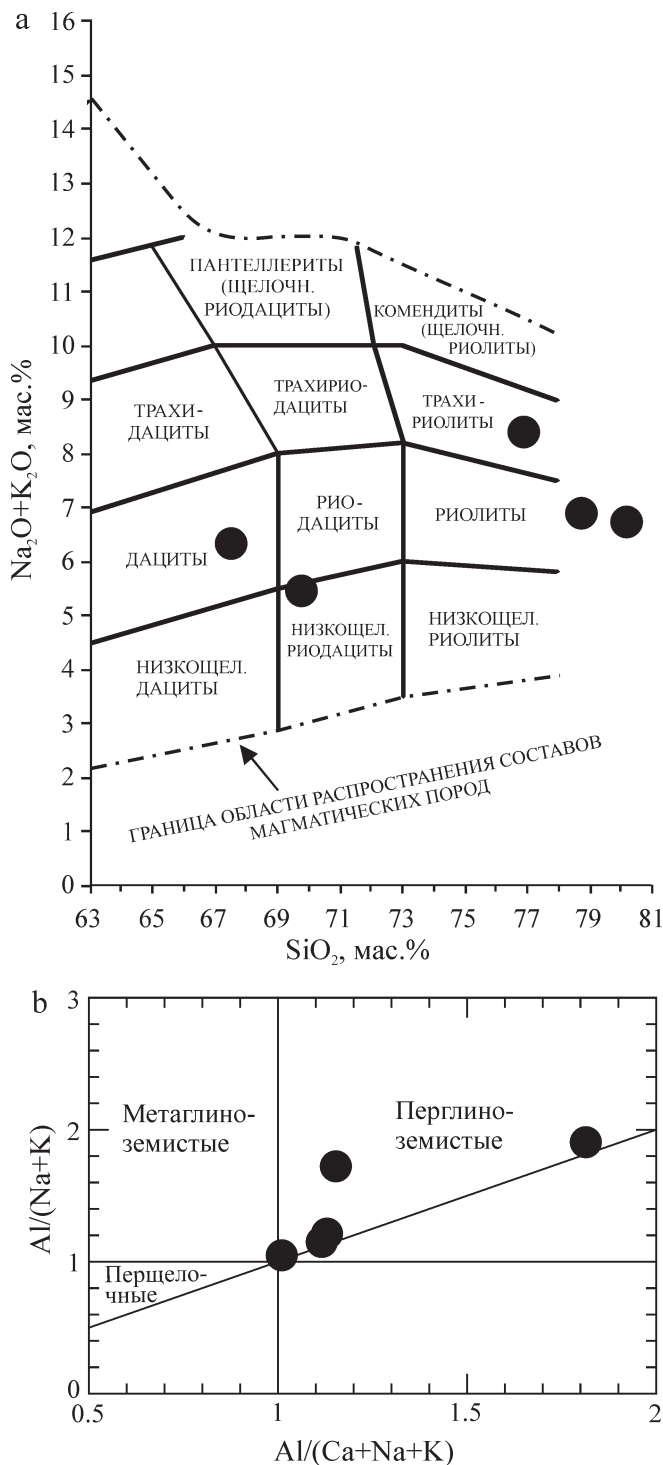


Рис. 3. Классификационные диаграммы для риолитов лядгейского комплекса: а – $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$ (TAS) [3]; б – $Al/(Na+K)-Al/(Ca+Na+K)$ [9]

Fig. 3. Classification diagram for rhyolites of Lyadghey Complex: а – $(Na_2O+K_2O)-SiO_2$ (TAS) [3]; б – $Al/(Na+K)-Al/(Ca+Na+K)$ [9]

распределение микроэлементов свидетельствует о формировании пород в условиях зрелой островной дуги [7].

На диаграммах Дж. Пирса (рис. 6), применяемых для реконструкции геодинамических обстановок образования гранитоидов, фигуративные точки составов кислых пород по соотношению Nb–Y, Y–Ta, Yb+Ta–Rb–Yb и Nb+Y–Rb попадают в область внутриплитных гранитов (обр. 804-6, 807-14) и островодужных обра-

Таблица 2. Содержание редких элементов (г/т) в риолитах лядгейского комплекса

Table 2. Content trace elements (ppm) in the rhyolites of Lyadghey Complex

Элемент Element	804-6	807-11	807-14
V	7.00	8.10	42.00
Cr	12.00	23.00	39.00
Co	1.30	1.00	6.80
Ni	6.00	10.00	21.00
Zn	220.00	42.00	96.00
Ga	27.00	21.00	20.00
La	82.00	23.00	23.00
Ce	160.00	32.00	44.00
Pr	21.00	5.90	6.80
Nd	89.00	23.00	28.00
Sm	20.00	5.30	7.60
Eu	1.40	0.61	0.60
Gd	21.00	5.20	8.40
Tb	3.30	0.79	1.40
Dy	19.00	4.40	8.90
Ho	4.10	0.93	1.90
Er	13.00	2.90	5.60
Tm	1.90	0.44	0.82
Lu	1.90	0.51	0.79
Sr	45.00	11.00	47.00
Rb	92.00	94.00	59.00
Ba	290.00	540.00	160.00
Th	17.00	7.70	8.70
Ta	1.80	1.10	1.10
Nb	27.00	19.00	16.00
Ce	160.00	32.00	44.00
Zr	390.00	240.00	240.00
Hf	13.00	8.30	8.10
Sm	20.00	5.30	7.60
Y	94.00	21.00	44.00
Yb	12.00	3.10	5.20
Σ PЗЭ	449.60	108.08	143.01
$(La/Yb)_{norm}$	4.61	5.00	2.98
Eu/Eu_{norm}	0.21	0.35	0.23

зований (обр. 807-11). Это можно объяснить так: когда раскрывающийся бассейн накладывается на древние островодужные породы, риолиты обнаруживают свойства островных дуг (унаследование состава источника), а если растяжение происходит на удалении от дуги на континенте, происходит смещение риолитов в поле внутриплитных. Подобное смещение также может быть связано с процессами фракционной кристаллизации. Островодужные кислые породы могут смещаться в поля внутриплитных из-за аккумуляции железомagneзиальных и акцессорных фаз [6].

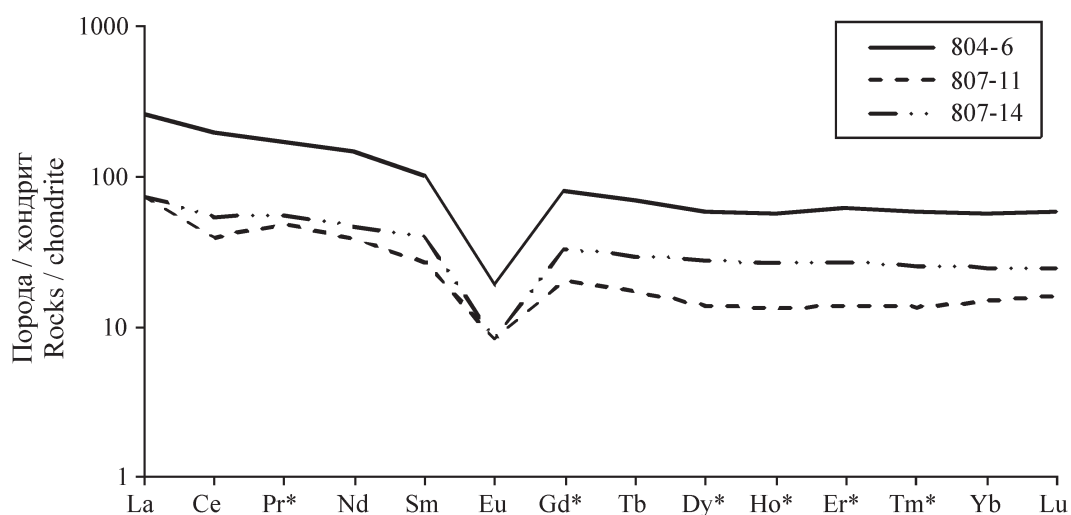


Рис. 4. Графики распределения РЗЭ, нормированных к составу хондрита, для риолитов лядгейского комплекса
 Fig. 4. Graphs of the distribution of REE normalized to the composition of chondrite for rhyolites of Lyadghey Complex

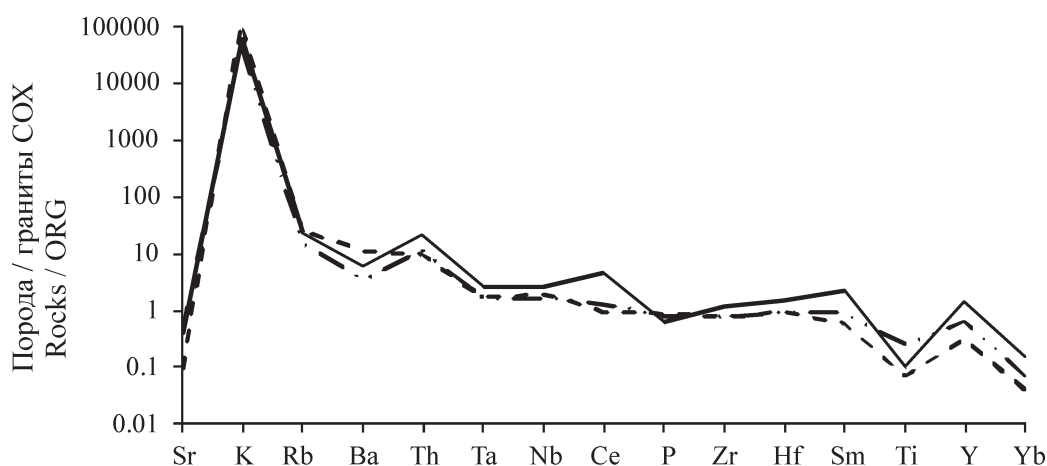


Рис. 5. Спектры распределения элементов-примесей для риолитов лядгейского комплекса. Условные обозначения на рис. 4
 Fig. 5. Distribution of trace elements for rhyolites of Lyadghey Complex. Legend in Fig. 4

Строение экструзивно-субвулканического тела

Экструзивно-субвулканическое тело простирается в северо-западном направлении. Форма тела в плане преимущественно неправильная или близка к овальной: длина составляет 425 м, ширина 130–225 м (к югу сужается до 50 м), а высота обнаженной над поверхностью земли части составляет около 35 м (рис. 7, а). Вмещающие породы выходят на поверхность только на западном и северо-восточном склонах тела и представлены вулканитами среднего состава и их туфами бедамельской серии (RF_3-V_2bd) (рис. 7, а).

Экструзивно-субвулканическое тело лядгейского комплекса обладает неоднородным строением, обусловленным зональным расположением разновидностей пород (рис. 7, а).

Центральную часть экструзивного тела слагают флюидалные разности. Внешне флюидалность пород выражена тонкой полосчатой неоднородностью, которая проявляется в разной степени кристаллизации и возникает при высокой вязкости кислой лавы.

Выделяются риолиты серо-зеленого цвета с полосами серовато-белого цвета толщиной 0.1–0.2 см, темно-зеленовато-серого цвета с полосами серовато-белого цвета толщиной 0.2–0.3 см и серовато-зеленого цвета с розовато-белыми полосами толщиной до 0.2 см (рис. 7, а). Флюидалность погружается на северо-восток (Аз пд 80°) под углом 46° и, вероятно, соответствует направлению движения лавы. В продуктах кислого вулканизма участки лав с флюидално-полосчатыми текстурами обычно развиты в нижних частях экструзивных построек.

К востоку флюидалные разности замещаются однородными светло и темно-серыми массивными риолитами.

Риолиты массивного облика сменяются кластолавами риолитового и дацитового составов, коренные выходы которых сохранились в южной и северо-восточной частях постройки соответственно (рис. 7, а). Вероятно, в этом месте происходило расползание лавы и более быстрое ее охлаждение.

В юго-восточной части экструзивного тела обнажаются риолиты со сферолоидной структурой. Породы

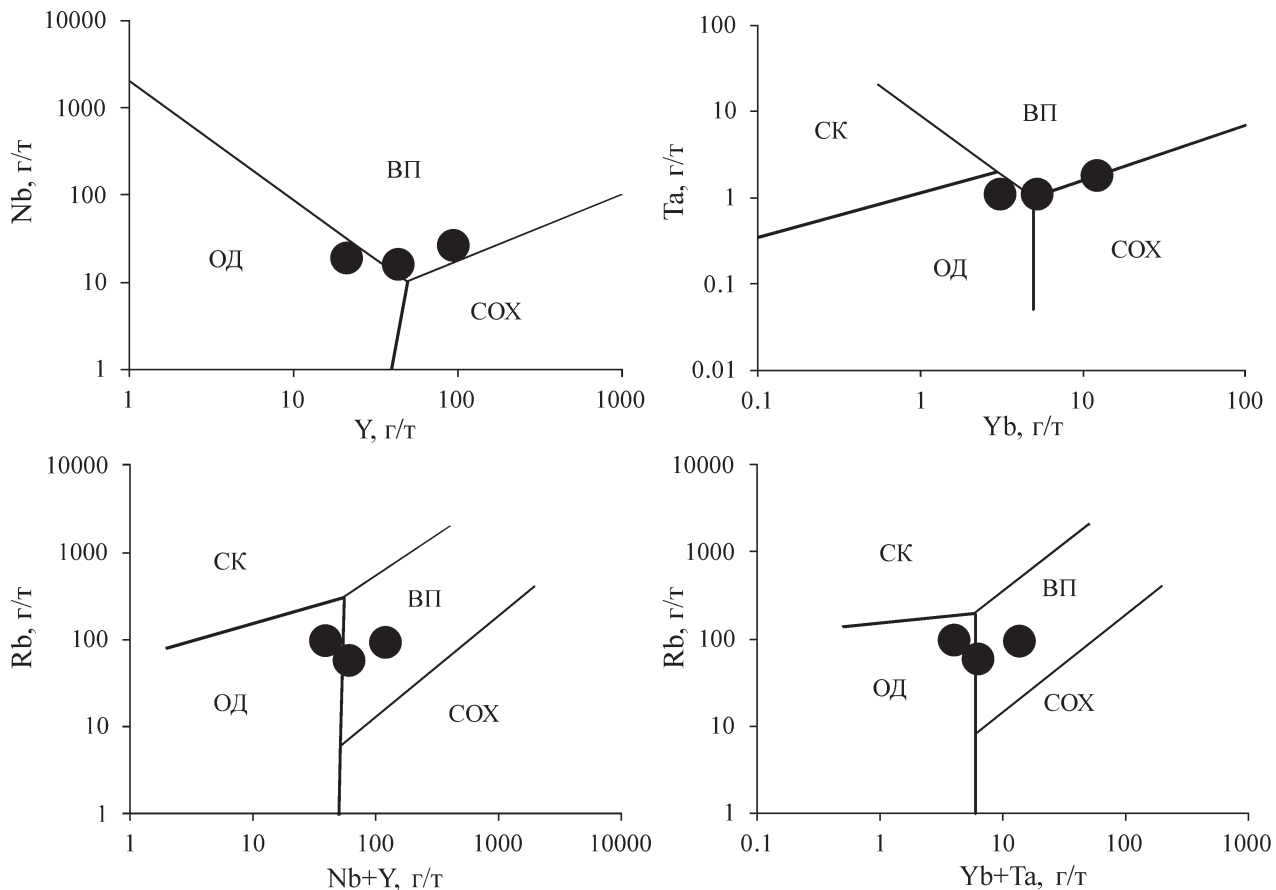


Рис. 6. Диаграммы Дж. Пирса для риолитов лядгейского комплекса [10]. Поля на диаграмме: СК — синколлизийные граниты, ВП — внутриплитные граниты, ОД — островные дуги, COX — срединно-океанические хребты

Fig. 6. J.A. Pierce diagrams for the rhyolites of Lyadghey Complex [10]. Fields on the diagram: СК — syn-collisional granites, ВП — intraplate granites, ОД — island-arc granites, COX — granites of mid-ocean ridges

имеют темно-серый цвет основной массы, в которой заключены округлые и нередко изометричные сферолиты белого и сургучно-бордового цвета размером от 0.6 до 10 мм (рис. 7, а). Их возникновение в кислых лавах чаще связывают с ликвацией — распадением расплава на две несмешивающиеся жидкости, одна из которых в виде капель большего или меньшего размера остывает и кристаллизуется внутри другой.

Вулканические купола по условиям образования, форме и размерам весьма разнообразны. По классификации Е. Ф. Малеева [2] экструзивное тело между ручьями Правый и Левый Изъявж до его эрозии предположительно можно отнести к грибообразному куполу с простым асимметричным строением (рис. 7, б). Возможно, вмещающие породы бедамельской серии в момент выдавливания лавы кислого состава залегали наклонно, что обусловило асимметрию строения экструзивного купола. Простые грибообразные купола сложены вязкой лавой и обладают флюидалностью.

Выводы

Экструзивно-субвулканическое тело лядгейского комплекса (λV_2 ld) между ручьями Правый и Левый Изъявж обладает неоднородным строением, обусловленным зональным расположением разновидностей пород. Установлено, что центральную часть тела составляют флюидалные риолиты, которые к востоку замещаются однородными массивными разностями.

Риолиты массивного облика сменяются кластолавами риолитового и дацитового состава, выходы которых сохранились лишь в южной и северо-восточной частях постройки соответственно. Юго-восточная часть экструзивного тела сложена риолитами со сферолоидной структурой. В кислых разностях присутствуют признаки течения. Вмещающие породы обнажаются только на западном и северо-восточном склоне тела и представлены андезитами и их туфами бедамельской серии (RF_3-V_2bd). Эти признаки позволяют отнести экструзивно-субвулканическое тело лядгейского комплекса к экструзивному генетическому типу.

Для кислых пород лядгейского комплекса характерно обогащение крупноионными литофильными элементами (K, Rb, Ba, Th) и слегка пониженными содержаниями высокозарядных элементов (P, Ti, Y) и РЗЭ (Sm, Yb). Подобное распределение микроэлементов свидетельствует о формировании пород в надсубдукционной островодужной обстановке.

Изученное экструзивно-субвулканическое тело лядгейского комплекса между ручьями руч. Правый и Левый Изъявж до его эрозии по классификации Е. Ф. Малеева предположительно можно отнести к грибообразному куполу с простым асимметричным строением. Возможно, вмещающие породы бедамельской серии в момент выдавливания лавы кислого состава залегали наклонно, что обусловило асимметрию строения экструзивного купола.

Работа выполнена в рамках темы НИР «Глубинное строение, геодинамическая эволюция, взаимодействие

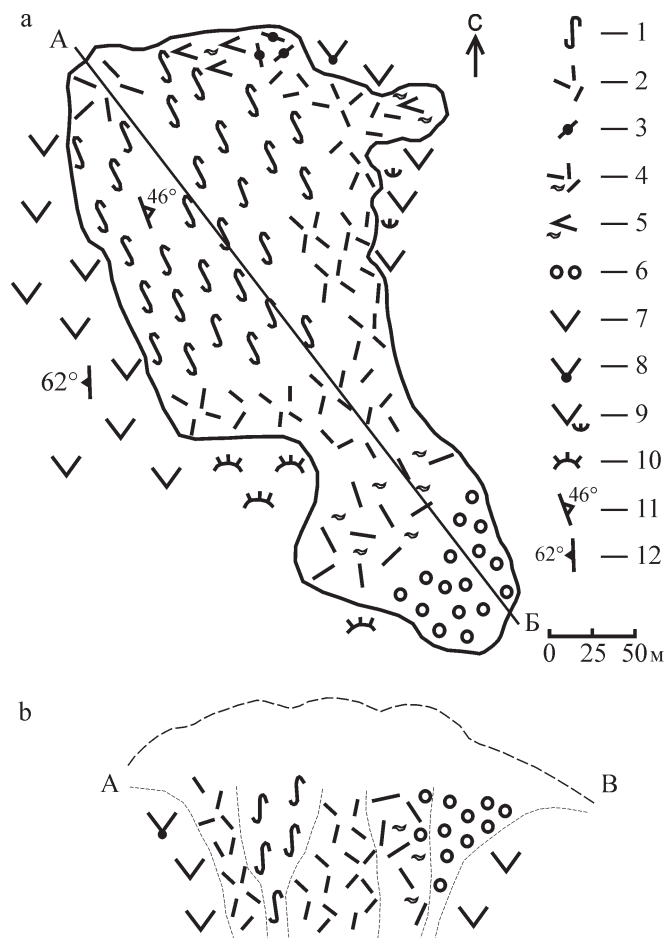


Рис. 7. Схематическая геологическая карта (а) и разрез АВ (вне масштаба) с предполагаемой первоначальной моделью купола (б) экструзивно-субвулканического тела между ручьями Правый и Левый Изъявож южной части хребта Енганепэ. Условные обозначения: 1 — флюидалные риолиты; 2 — массивные риолиты; 3 — трахириолиты; 4 — кластолава риолитового состава; 5 — кластолава дацитового состава; 6 — сферолоидные риолиты; 7 — андезиты; 8 — туф трахиандезитового состава; 9 — туф андезитового состава; 10 — зачерненные участки; элементы залегания: 11 — плоскостных структур течения, 12 — сланцеватости пород

Fig. 7. Schematic geological map (a) and section AB (out of scale) with the proposed initial model of the dome (b) of the extrusive-subvolcanic body between the Pravy Izyavozh and the Levy Izyavozh creeks in the southern part of the Enganepe Ridge. Legend: 1 — fluid rhyolites; 2 — massive rhyolites; 3 — trachyrhyolites; 4 — clastolava of rhyolite composition; 5 — clastolava of dacite composition; 6 — spheruloid rhyolites; 7 — andesites; 8 — tuff of trachyandesite composition; 9 — tuff of andesite composition; 10 — blackened areas; elements of occurrence: 11 — planar flow structures, 12 — shale rocks

геосфер, магматизм, метаморфизм и изотопная геохронология Тимано-Североуральского литосферного сегмента» ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Литература

1. Вовчина Т. А. Петрогеохимическая характеристика кислых вулканитов экструзивного тела южной части хребта Енганепэ (Полярный Урал) // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 31-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2022. С. 20–23.

2. Малеев Е. Ф. Вулканиты. М.: Недра, 1980. 240 с.

3. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.

4. Соболева А. А., Куликова К. В. Докембрийские палеоостроводужные комплексы в составе протоуралид-тиманид Полярного Урала // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XV Геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2009. Т. II. С. 326–327.

5. Соболева А. А., Удоратина О. В., Кузнецов Н. Б., Миллер Е. Л., Гроув М. Возраст покровной фации наиболее поздних вулканитов доуралид Полярного Урала по данным U-Pb-датирования цирконов // От минералогии до геохимии: Сб. науч. тр., посвящ. 130-летию со дня рождения акад. А. Е. Ферсмана. Береговое (Крым), 2013. С. 192–194.

6. Туркина О. М. Лекции по геохимии магматического и метаморфического процессов. Новосибирск: РИЦ НГУ, 2014 г. 118 с.

7. Шишкин М. А., Малых И. М., Матуков Д. И., Сергеев С. А. Риолитовые комплексы западного склона Полярного Урала // Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока России: Материалы XIV Геологического съезда Республики Коми. Сыктывкар: Геопринт, 2004. Т. II. С. 148–150.

8. Шишкин М. А., Малых И. М., Малых О. Н., Попов П. Е. Государственная геологическая карта Российской Федерации. 2-е изд. Полярно-Уральская серия, масштаб 1:200 000. М.: МИРЕКО. 2013 г.

9. Maniar P. D., Piccoli P. M. Tectonic Discrimination of Granitoids. Geological Society of America Bulletin, 101, 1989. P. 635–643.

10. Pearce, J. A., Harris, N. B. W., and Tindle, A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks // Journal of Petrology, 1984. V. 25. P. 956–983.

References

1. Vovchina T. A. *Petrogeohimicheskaya karakteristika kislykh vulkanitov ekstruzivnogo tela yuzhnoj chasti hrebta Enganepe (Polyarnyj Ural)* (Petrogeochemical characteristics of acidic volcanites of the extrusive body of the southern part of the Enganepe Ridge (Polar Urals)). Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment. Proceedings of conference. Syktyvkar: Geoprint, 2022, pp. 20–23.

2. Maleev E. F. *Vulkanity* (Volcanites). Moscow: Nedra, 1980, 240 pp.

3. *Petrograficheskij kodeks Rossii. Magmaticheskie, metamorficheskie, metasomaticheskie, impaktnye obrazovaniya* (Petrographic Code of Russia. Igneous, metamorphic, metasomatic, impact formations). St. Petersburg: VSEGEI, 2008, 200 p.

4. Soboleva A. A., Kulikova K. V. *Dokembrijskie paleoostrovoduzhnye komplekсы v sostave protouralid-timanid Polyarnogo Urala* (Precambrian paleostructure complexes in the Protouralid-Timanid composition of the Polar Urals). Geology and mineral resources of European North-east of Russia. Proceedings of conference. V. 2, Syktyvkar: IG Komi SC UB RAS, 2009, pp. 326–327.

5. Soboleva A. A., Udoratina O. V., Kuznecov N. B., Miller E. L., Grouv M. *Vozrast pokrovnoj facji naibolee pozdnykh vulkanitov douralid Polyarnogo Urala po dannym U-Pb datirovaniya cirkonov*



(Age of the cover facies of the most recent volcanites of the douralids of the Polar Urals according to U-Pb dating of zircons). *Ot mineralogii do geohimii* (From mineralogy to geochemistry): collection of articles, 2013, pp. 192–194.

6. Turkina O.M. *Lekcii po geohimii magmaticheskogo i metamorficheskogo processov* (Lectures on geochemistry of magmatic and metamorphic processes). RIC NSU, Novosibirsk, 2014, 118 pp.

7. Shishkin M. A., Malyh I. M., Matukov D. I., Sergeev S. A. *Riolitovye komplekсы zapadnogo sklona Polyarnogo Urala* (Rhyolite complexes of the western slope of the Polar Urals). Geology and mineral resources of European North-east of Russia.

Proceedings of conference. V.2, Syktyvkar: Geoprint, 2004, pp.148–150.

8. Shishkin M. A., Malyh I. M., Malyh O. N., Popov P. E. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii* (State Geological Map of the Russian Federation). Second edition. Polar Ural series. Scale 1:200 000. M.: MIREKO, 2013.

9. Maniar P. D., Piccoli P. M. Tectonic Discrimination of Granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101, 1989, pp. 635–643.

10. Pearce, J. A., Harris, N. B. W., and Tindle, A. G. Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 1984, V. 25, pp. 956–983.

Поступила в редакцию / Received 07.11.2022



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 551.734.2/734.3

DOI: 10.19110/geov.2022.12.4

Стратиграфический объем тоупугольегартской толщи (нижний-средний девон, Полярный Урал)

А. Н. Плотницын¹, И. Д. Соболев², Н. А. Матвеева¹, Р. М. Иванова³, И. В. Викентьев²

¹Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар;
anplotitzyn@rambler.ru, natka110733@rambler.ru

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии минералогии и геохимии РАН, Москва
sobolev_id@mail.ru, ilyavikentev@rambler.ru

³Институт геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого УрО РАН, Екатеринбург
geoivanur@mail.ru

Уточнен возраст карбонатных и обломочных вулканомиктовых пород тоупугольегартской толщи (D₁₋₂tg) Войкарской зоны Полярного Урала, которые образовались на заключительном этапе развития Полярноуральской островной дуги. Проведен анализ стратиграфического распространения органических остатков, в основу которого легли ревизия опубликованных ранее данных и новые сборы авторов (водоросли, табулятоморфные кораллы). Стратиграфический объем тоупугольегартской толщи расширен до карпинско-лангурского горизонтов эмского и эйфельского ярусов девона включительно. Отмечено сходство строения, литологического состава и палеонтологических комплексов карбонатных образований тоупугольегартской толщи и верхней части малоуральской свиты (Войкарская зона Полярного Урала), а также терригенно-вулканогенной толщи (восточный склон Среднего Урала). Образование этих отложений происходило в позднеэмско-ранней эйфельское время, вероятно во время одного осадочно-вулканогенного цикла в пределах единой протяженной островодужной системы. Предполагается сходный характер эволюции Полярноуральской и Тагильской островных дуг на заключительном этапе их формирования.

Ключевые слова: табулятоморфные кораллы, известковые водоросли, биостратиграфия, островная дуга, тоупугольегартская толща, эмский ярус, эйфельский ярус, девон, Полярный Урал.

Stratigraphic range of the Toupugol'egart Formation (Lower-Middle Devonian, Polar Urals)

A. N. Plotitsyn¹, I. D. Sobolev², N. A. Matveeva¹, R. M. Ivanova³, I. V. Vikentyev²

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

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy, and Geochemistry RAS, Moscow, Russia

³A. N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry UB RAS, Ekaterinburg, Russia

We refined the age of carbonate and clastic volcanomictic rocks of the Toupugol'egart Formation (D₁₋₂tg) of the Voikar Belt of the Polar Urals, which formed at the final stage of the Polar Ural Island arc development. The analysis of the stratigraphic distribution of fossils of the Toupugol'egart Formation was based on a revision of previously published data and new collections of the authors (algae, tabulatormorphic corals). The stratigraphic range of the Toupugol'egart Formation was extended up to the Karpinsky-Langur regional stages of the Emsian-Eifelian of the Devonian. The similarities of the structure, lithological composition and paleontological associations of carbonate sequences of the Toupugol'egart Formation and the upper part of the Malyj Ural Formation (Voikar Belt of the Polar Urals), as well as the Terrigenous-Volcanogenic Formation (eastern slope of the Middle Urals) were noted. The accumulation of these deposits took place in the Late Emsian-Early Eifelian, probably during joint sedimentary-volcanogenic cycle within a single extended island-arc system. We assumed a similar evolution of the Polar Ural and Tagil island arcs at the final stage of their formation.

Keywords: tabulatormorphic corals, calcareous algae, biostratigraphy, island arc, Toupugol'egart Formation, Emsian, Eifelian, Devonian, Polar Urals.

Введение

На Полярном Урале, в Войкарской зоне, к востоку от офиолитов Войкаро-Сыньинского и Райизского массивов распространены раннесреднепалеозойские осадочно-вулканогенные и плутонические островодуж-

ные образования (рис. 1). Возраст стратифицированных островодужных образований Полярного Урала основан преимущественно на геологических и биостратиграфических данных, а изотопно-геохронологические определения возраста крайне редки [21].

Для цитирования: Плотницын А. Н., Соболев И. Д., Матвеева Н. А., Иванова Р. М., Викентьев И. В. Стратиграфический объем тоупугольегартской толщи (нижний-средний девон, Полярный Урал) // Вестник геонаук. 2022. 12(336). С. 29–37. DOI: 10.19110/geov.2022.12.4.

For citation: Plotitsyn A. N., Sobolev I. D., Matveeva N. A., Ivanova R. M., Vikentyev I. V. Stratigraphic range of the Toupugol'egart Formation (Lower-Middle Devonian, Polar Urals). Vestnik of Geosciences, 2022, 12(336), pp. 29–37, doi: 10.19110/geov.2022.12.4.

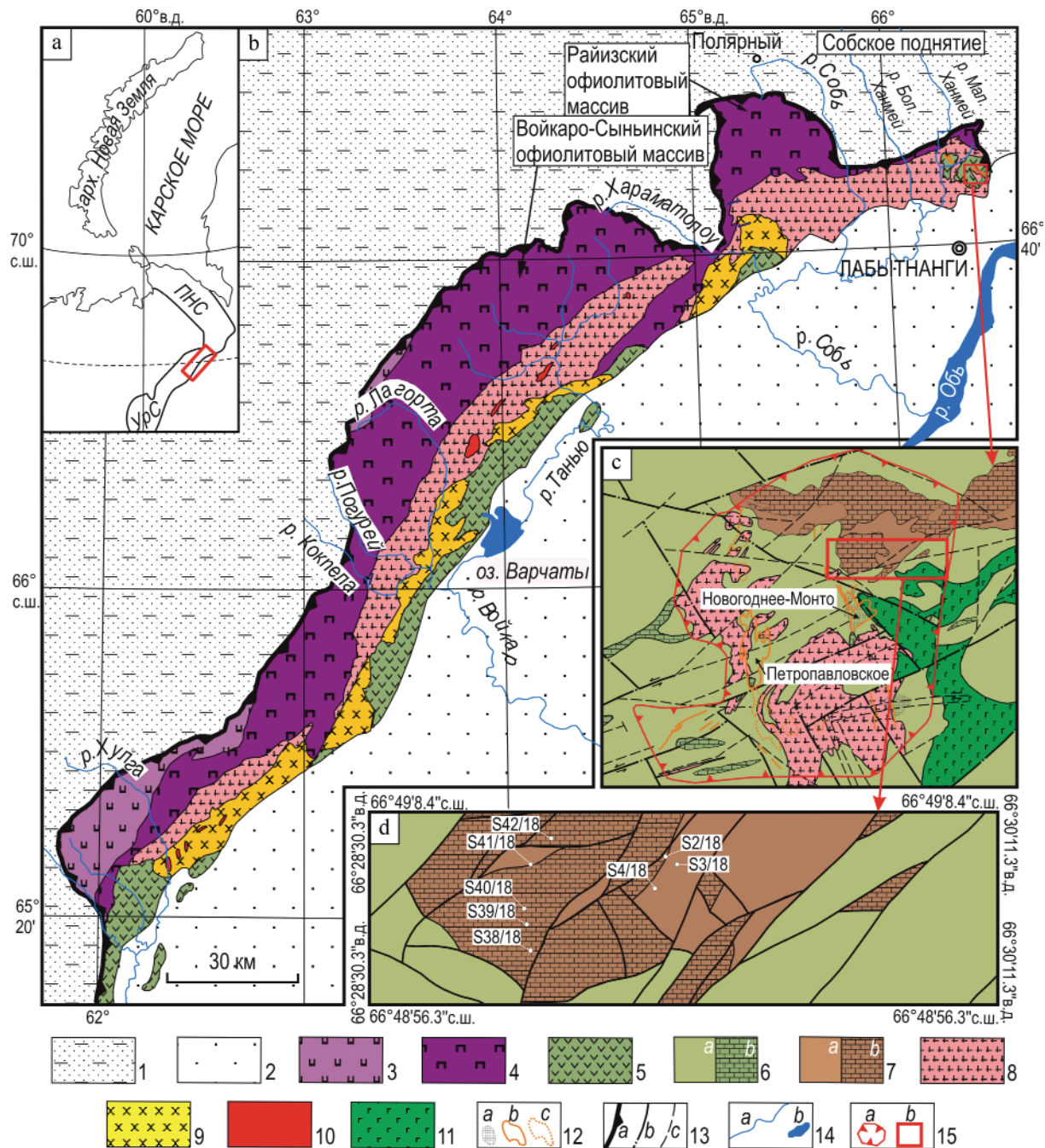


Рис. 1. Позиция изучаемых объектов на географической и разномасштабных геологических схемах: а — географическая схема северной части Урала и Пай-Хоя: УрС — Уральское складчато-надвиговое сооружение, ПНС — Пайхойско-Новоземельское складчато-надвиговое сооружение, прямоугольником показано расположение Войкарской зоны; б — геологическая карта Войкарской зоны Полярного Урала по данным [13, 33] с изменениями и дополнениями; в — геологическая карта Тоупугол-Ханмейшорского рудного узла по данным [16] с изменениями и дополнениями; д — геологическая карта северного фланга месторождения Новогоднее-Монто по данным А. П. Прямоносова (2004 г.) с изменениями и дополнениями.

1 — позднедокембрийские и палеозойские образования Западно-Уральской мегазоны; 2 — мезозойско-кайнозойский чехол Западно-Сибирской плиты; 3–11 — образования Войкарской зоны: 3 — докембрийские метабазиты и гипербазиты, 4 — ордовикские метаморфизованные гипербазиты и габброиды, 5 — позднеордовикско-среднедевонские вулканогенные и вулканогенно-осадочные породы нерасчлененные, 6 — силурийские породы тоупугольской толщи (а — преимущественно вулканогенные, б — карбонатные), 7 — нижнесреднедевонские породы тоупугольегартской толщи (а — терригенно-вулканогенные, б — карбонатные), 8 — позднесилурийско-среднедевонские габброиды, диоритоиды и гранитоиды собского комплекса, 9 — раннесреднедевонские габброиды, диориты и монцититоиды конгорского комплекса, 10 — среднепозднедевонские гранитоиды янаслорского комплекса, 11 — раннекаменноугольные образования мусюрского комплекса; 12 — скарновые (а) и метасоматические (б) породы золоторудных месторождений Петропавловское и Новогоднее-Монто; 13 — разломы (а — Главный Уральский надвиг; б, в — прочие достоверные (б) и предполагаемые (в)); 14 — реки (а) и озера (б); 15 — Тоупугол-Ханмейшорский рудный узел (а), изученный район (б)

Fig. 1. The position of the studied objects on the geographical and multi-scale geological schemes: а — geographical scheme of the Northern part of the Urals and Pay-Khoy: УрС — Ural fold-thrust structure; ПНС — Pay-Khoy-Novaya Zemlya fold-thrust structure, the rectangle shows the location of the Voikar Belt; б — geological map of the Voikar Belt of the Polar Urals accord-



ing to [13, 33] with author's changes and additions; c — geological map of the Toupuhol-Khanmeishor ore cluster according to [16], with authors' changes and additions; d — geological map of the northern flank of the Novogodnee-Monto deposit, according to A. P. Pryamonosov (2004), with authors' changes and additions.

1 — Late Precambrian and Paleozoic formations of the West Ural Megazone; 2 — Mesozoic-Cenozoic cover of the West Siberian Plate; 3–11 — geological complexes of the Voikar Belt: 3 — Precambrian metabasites and ultramafic rocks, 4 — Ordovician metamorphosed ultramafites and gabbroids, 5 — Late Ordovician–Middle Devonian volcanic and volcanic-sedimentary rocks, undivided, 6 — Silurian rocks of the Toupuhol'egart Formation (a — predominantly volcanogenic, b — carbonate ones), 7 — Lower-Middle Devonian rocks of the Toupuhol'egart Formation (a — terrigenous-volcanogenic, b — carbonate ones), 8 — Late Silurian-Middle Devonian gabbroids, dioritoids and granitoids of the Sob' Complex, 9 — Early-Middle Devonian gabbroids, diorites and monzonitoids of the Kongor Complex, 10 — Middle-Late Devonian granitoids of the Yanaslor Complex, 11 — Early Carboniferous formations of the Musyur Complex; 12 — skarn (a) and metasomatic (b) rocks of the Petropavlovsk and Novogodnee-Monto gold deposits; 13 — faults (a — Main Ural thrust, b, c — other reliable (b) and assumed (c)); 14 — rivers (a) and lakes (b); 15 — Toupuhol-Khanmeishor ore cluster (a), studied region (b)

Осадочные породы нижнесреднепалеозойских стратон датированы на основании редких находок конодонтов, кораллов, радиолярий, криноидей, брахиопод, строматопоридей, водорослей и фораминифер [13, 20, 33 и др.], многие из которых диагностированы в открытой номенклатуре или под вопросом. Проблемы датирования осадочных образований местных стратиграфических подразделений Войкарской зоны связаны со сложным тектоническим строением этого района, а также с заметной (хотя и неравномерной) степенью вторичных преобразований пород, что негативно сказывается на сохранности ископаемых органических остатков. Общая индифферентность палеонтологических комплексов и зачастую широкое стратиграфическое распространение большинства таксонов также значительно снижает точность биостратиграфического метода. Для уточнения стратиграфической основы региона авторами была проведена ревизия ранее опубликованных материалов и получены новые палеонтологические данные для карбонатных и обломочных вулканомиктовых пород тоупугольгартской толщи (D1–2tg).

Объект, материалы и методы исследования

Объектом настоящего исследования является комплекс нижнесреднедевонских пород, картируемых в составе тоупугольгартской толщи и опробованных авторами (рис. 1, с, d) в канавах, расчистках и карьере строительного камня северного фланга месторождения Новогоднее-Монто (Ямало-Ненецкий автономный округ). Учитывая сложное тектоническое строение региона и разрозненность отдельных маломощных выходов [16], изучение полного и непрерывного разреза толщи в пределах района не представляется возможным. Изученный комплекс слагает вулканотектоническую депрессию в кровле островодужного раннесреднедевонского Собского батолита [7, 16, 26].

В основу исследования положены новые авторские материалы и опубликованные ранее стратиграфические данные [20]. С целью получения микропалеонтологических материалов карбонатные разности пород подвергнуты кислотной обработке в 7–10 % растворе уксусной кислоты по стандартной методике. Химической дезинтеграции подвергнуто 11 проб массой от 1 до 5 кг (оказались непоказательными). Для уточнения литологического состава и микроскопического изучения органических остатков изготовлен 21 шлиф из карбонатных и терригенно-вулканогенных пород тоупугольгартской толщи. Микроскопическое изучение и фотографирование шлифов производилось с использованием поляризационных микроскопов

«Ломо Полам Р-211М», «Ломо Полам Л-213М», Nikon Eclipse LV100ND.

Стратиграфия

Тоупугольгартская толща впервые выделена при проведении групповой геологической съемки и геологического доизучения масштаба 1:50 000 на Сось-Ханмейской площади (неопубликованный отчет А. П. Прямоносова и др., 1994). Карбонатно-терригенные отложения толщи вскрыты неглубокими горными выработками и скважинами в районе горы Тоупугол, а также в местных карьерах строительного камня [12, 13]. По данным А. П. Прямоносова с соавторами [20], тоупугольгартская толща подразделяется на нижнюю карбонатную пачку эмского возраста и верхнюю терригенную пачку эмско-эйфельского возраста. Нижняя пачка со стратиграфическим несогласием перекрывает вулканогенно-осадочные образования тоупугольской толщи (S_{1-2tp}) [12, 13]. Общая мощность толщи 80–295 м [13].

Нижняя карбонатная пачка в основании (40–50 м) представлена массивными битуминозными серыми до темно-серых биоморфными известняками, которые, согласно данным [12, 13, 20], иногда по латерали замещаются белыми слоистыми перекристаллизованными известняками (в том числе песчанистыми) с редкими маломощными (до 1 м) прослоями известково-глинистых алевропесчаников. Перекристаллизованные, умеренно метаморфизованные разности карбонатных пород представлены белыми или светло-серыми мраморовидными известняками и мраморами. Выше (50–170 м) залегают белые и розоватые биоморфные известняки, включающие линзы известняковых брекчий и конглобрекчий [13].

Нижняя пачка ранее сопоставлялась с карпинским горизонтом эмского яруса на основании находок фораминифер *Uralinella antiqua* L. Petrova; строматопоридей *Stromatopora praelonga* Bogoyav., *Clathrodictyella pulchra* Bogoyav., *Stellopora barba* Bogoyav., *Clathrocoilonabeona* Yavor.; табулятоморфных кораллов и кораллов ругоз *Favosites cf. regularissimus* Yanet, *Heliophyllum cf. antiquum* (Soshkina), *Grypophyllum striatum* (Soshkina); брахиопод *Ivdelinia cf. ivdelensis* Khod.; криноидей *Cupressocrinites cf. kavvensis* Milic.; водорослей *Lancicula alta* Maslov, *Litanaia mira* Maslov и др. [20].

Фораминиферы *Uralinella antiqua* известны преимущественно из отложений карпинского горизонта, реже из тальгийского горизонта эмса-эйфеля субрегиональной стратиграфической схемы девонских отложений Восточного Урала [19]. Строматопоридеи

Clathrodictyella pulchra и *Stellopora barba* указаны в отложениях эйфельского яруса Восточного склона Урала, вид *Stromatopora praelonga* характерен для карпинского горизонта эмского яруса [6]. *Clathrocoilona abeona* распространен в верхах эмса — низах эйфеля (конодонтовые зоны *patulus* – *partitus* и низы *costatus*, см. [2]) [5] вплоть до живета [4]. Табулятоморфные кораллы *Favosites regularissimus* широко распространены в эмском ярусе нижнего девона [40]. Ругозы *Heliophyllum antiquum* и *Grypophyllum striatum* (Soshkina) отмечаются в двух стратиграфических интервалах — среднедевонском (в объеме эйфельского яруса) и в среднедевонско-среднедевонском (до эйфельского яруса включительно) соответственно [3, 10, 31]. Криноидеи *Cypressocrinites kakvensis* характерны для эйфельского яруса [28]. По данным Г. А. Петрова с соавторами [39], этот вид встречен в карпинском горизонте Среднего Урала, что не исключает возможности распространения этого таксона в эмсе. Брахиоподы *Ivdelinia ivdelensis* (Khodalevich) распространены в верхнем эмсе — нижнем эйфеле [30]. Вид зеленых водорослей *Lancicula alta* Maslov впервые был описан из крековских слоев лоховского яруса Кузбасса [34]. Известен в отложениях лоховского-эйфельского ярусов Южного, Среднего, Северного и Полярного Урала, Пай-Хоя, Вайгача, а также в разрезах нижнего девона Греции и пражском ярусе севера Франции [32, 38]. Таксон *Litanaia mira* впервые описан из отложений нижнего девона (крековские известняки) Кузбасса [17]. Также распространен в нижнем эмсе западного склона Северного, Среднего и Южного Урала [36, 38].

Микроскопическое изучение нового материала позволило определить в образцах S39/18, S40/18 и S42/18 многочисленные остатки сифоновых водорослей *Lancicula alta* Maslov и *Patrunovia novosemelica* Shuysky в продольных, поперечных и косых сечениях (рис. 2). Вид *Patrunovia novosemelica* впервые описан в пражских отложениях острова Вальнева Новой Земли [36] и имеет распространение от нижнего до низов среднего девона на юге Новой Земли [35].

Верхняя терригенная пачка представлена тонко-горизонтально-слоистыми глинисто-алевритовыми сланцами с многочисленными скелетными остатками радиолярий и спикул губок. Слоистость в таких отложениях обусловлена ориентированно-полосчатым характером распределения глинистого и органического вещества, а также ритмичным/градиционным характером распределения кластического материала. Разрез толщи венчается слоистыми сероцветными песчаниками; местами развиты пачки ритмично переслаивающихся пестроцветных и сероцветных полимиктовых песчаников, алевролитов, алевропесчаников, конгломератов и гравелитов, в которых присутствуют обломки органогенных известняков, андезитов, базальтов и их туфов [13].

Верхняя пачка тоупугольегартской толщи ранее сопоставлялась с тальтийским горизонтом эмского и эйфельского ярусов. Возрастная привязка была произведена в соответствии с находками радиолярий *Entactinia poculigera* Sadrislamov, *Ent. buribaica* Sadrislamov, *Ent. aff. shuralensis* Sadrislamov, *Ent. aff. angustipora* Sadrislamov и конодонтов *Polygnathus* ex gr. *costatus* Klapper, *Pol. willii*(?) Bardashev [12, 20]. Согласно заключению Б. М. Садрисламова, комплекс радиолярий характерен для тальтийского горизонта (неопубликованный отчет А. П. Прямоносова и др., 1994). К сожалению, все вышеуказанные виды не валидны в связи с тем, что не были описаны и опубликованы автором в открытой печати. Группа радиолярий под родовым названием *Entactinia* имеет стратиграфическое распространение от самых низов девона до триаса [1]. Представители конодонтов группы *Polygnathus costatus* широко известны в интервале от верхов эмса (конодонтовая зона *patulus*) до верхней части эйфеля (конодонтовая зона *australis*), а *Polygnathus willii* известен в отложениях эйфельского яруса (конодонтовые зоны *partitus* – *costatus*) [2]. При этом конодонты определены в открытой номенклатуре (*Polygnathus* ex gr. *costatus* и *Pol. willii*(?)) [20].

В туфотерригенных отложениях (тонко- и мелко-обломочные туфопесчаники, образец S41/18), к. г.-м. н.

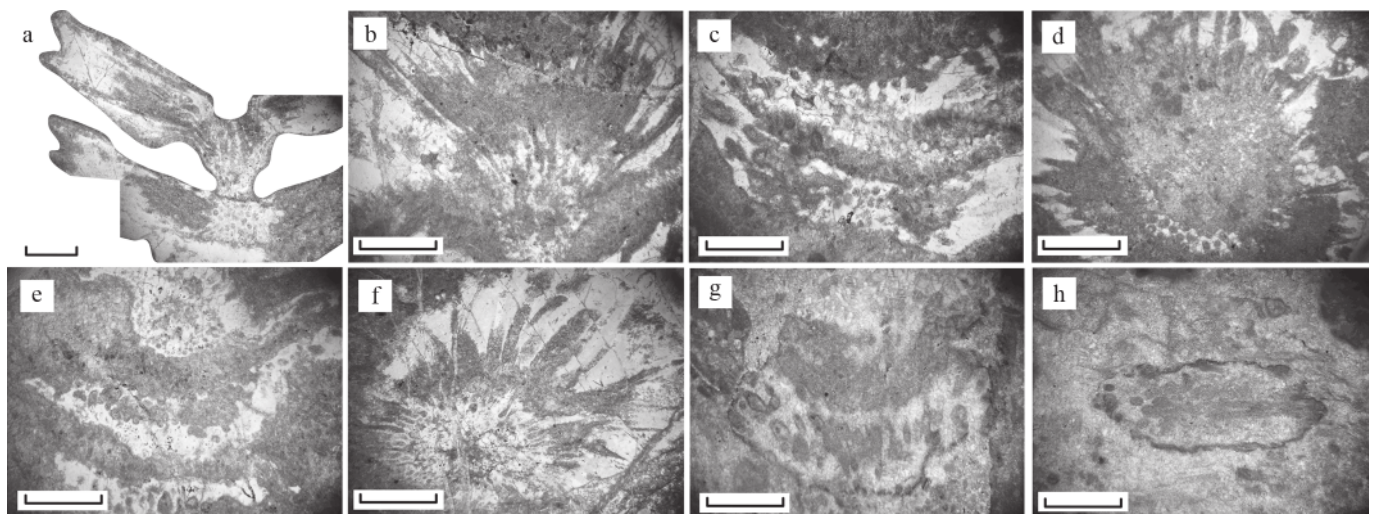


Рис. 2. Водоросли из карбонатных пород нижней пачки тоупугольегартской толщи (Войкарская зона, восточный склон Полярного Урала) (определения Р. М. Ивановой и Н. А. Матвеевой). а–с — *Lancicula alta* Maslov, обр. S40/18; d–h — *Patrunovia novosemelica* Shuysky (d–f — обр. S40/18, g, h — обр. S42/18). Размер масштабной линейки — 1 мм

Fig. 2. Algae from the carbonate member of Toupugol'egart Formation (Voykar Belt, eastern slope of the Polar Urals) (diagnosed by R. M. Ivanova and N. A. Matveeva). а–с — *Lancicula alta* Maslov, sample no. S40/18; d–h — *Patrunovia novosemelica* Shuysky (d–f — sample S40/18; g, h — sample S42/18). The scale bar is 1 mm

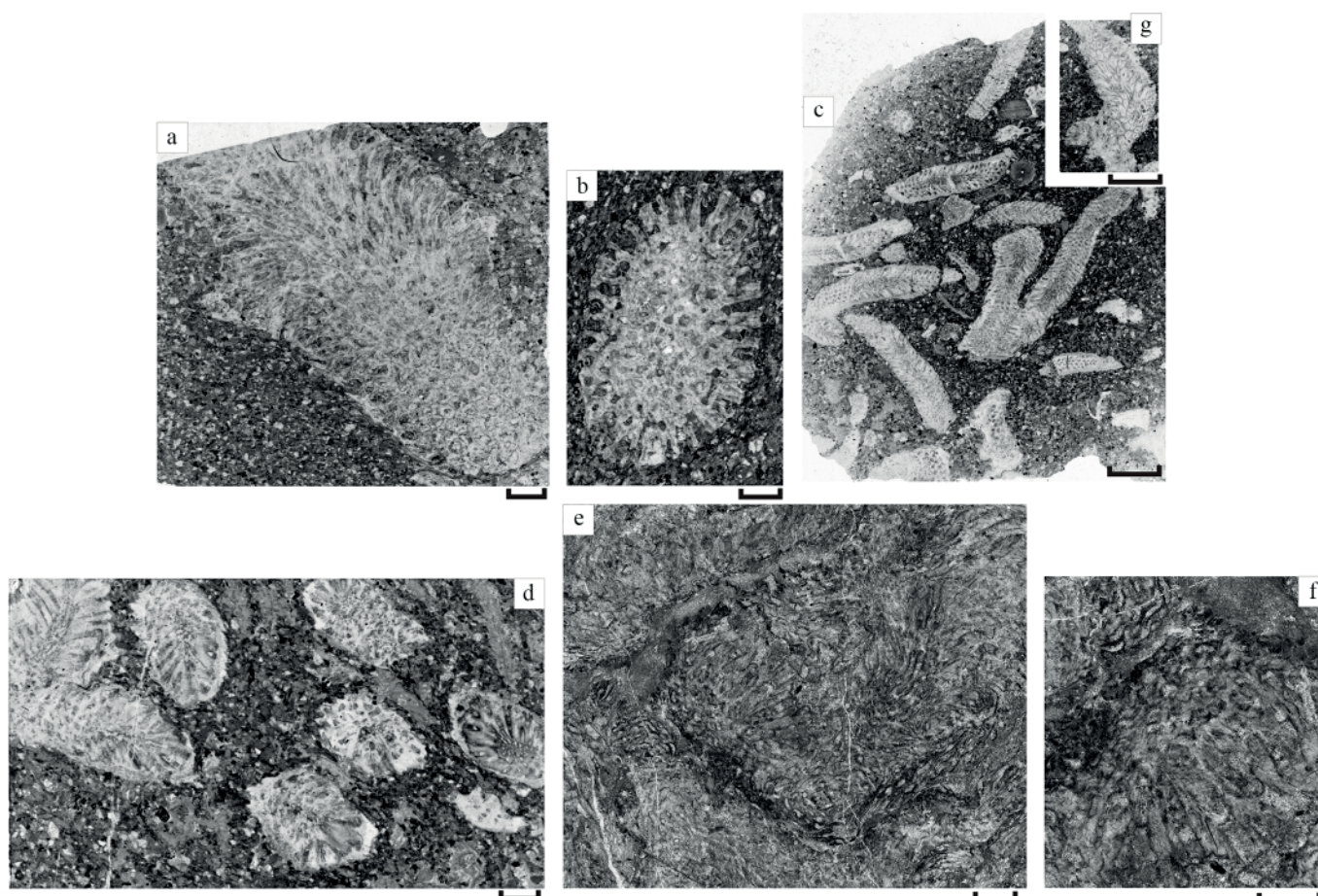


Рис. 3. Табулятоморфные кораллы из терригенной пачки (образцы № S41-18) тоупугольегартской толщи (Войкарская зона, восточный склон Полярного Урала) (определения В. Ю. Лукина и Ю. В. Заики). a, b — *Gracilopora paula* Yanet; c, d — *Gracilopora mala* Yanet; e, f — *Placocoenites gradatus* (Lecompte); g — *Striatopora* sp. Размер масштабной линейки — a, b, d — 2 мм, c, g — 4 мм, e, f — 1 мм

Fig. 3. Tabulatormorphic corals from the terrigenous member (samples S41-18) of the Toupugol'egart Formation (Voikar Belt, eastern slope of the Polar Urals) (diagnosed by Yu. Lukin and Yu.V. Zaika). a, b — *Gracilopora paula* Yanet; c, d — *Gracilopora mala* Yanet. e, f — *Placocoenites gradatus* (Lecompte); g — *Striatopora* sp. The length of the scale bar — a, b, d — 2 mm, c, f — 4 mm, e, f — 1 mm

В. Ю. Лукиным (ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар) и авторами диагностированы табуляты видов *Gracilopora paula* Yanet, *Gracilopora mala* Yanet, *Placocoenites gradatus* (Lecompte) и *Striatopora* sp. (рис. 3). Представители рода *Gracilopora* были описаны Ф. Е. Янет [37] в отложениях вижайского и тошемского горизонтов пражского яруса нижнего девона на восточном склоне Среднего и Северного Урала. На севере западного склона Урала и на Тимане вид *Gracilopora paula* встречается в верхней части эмского яруса [15]. Вид *Gracilopora mala* известен в карбонатных отложениях верхнесиякских слюев нижнего девона (пражский ярус куламатского горизонта, приблизительно сопоставимого с вижайским горизонтом субрегиональной стратиграфической схемы девонских отложений Восточного Урала) на западном склоне Южного Урала [29] и в верхах нижнего девона на восточном склоне Северного и Среднего Урала [11]. Вид *Placocoenites gradatus* (Lecompte) широко распространён от Западной Европы (эйфельский и, возможно, нижняя часть живетского ярусов Бельгии) до Кузбасса (верхняя часть эмского — эйфельский ярусы) и Омолонского массива (предположительно эмский ярус) [8, 9]. На Восточном склоне Среднего Урала этот вид указывался Ф. Е. Янет [37] в отложениях живетского яруса. Род *Striatopora* обладает широким стратиграфическим и ге-

ографическим распространением, встречается от нижнего силура до среднего девона, единичные виды — предположительно в верхнем палеозое [27]. Найденный образец по своим морфологическим особенностям принадлежит к группе видов *Striatopora* с тонкими ветвями полипняков, часто встречающихся в нижнем девоне многих северных регионов Азии [8, 11].

Обсуждение и выводы

Сложное тектоническое строение района работ (рис. 1), отсутствие протяженных естественных выходов и плохая сохранность органических остатков не позволяют провести достоверную датировку и расчленение тоупугольегартской толщи, а также проследить и подтвердить характер взаимоотношений терригенных и карбонатных отложений. Комплексы органических остатков из карбонатной пачки (рис. 4) толщи демонстрируют некоторое расхождение в интервалах стратиграфического распространения отдельно взятых таксонов. По всей видимости, время формирования карбонатной пачки не ограничивалось карпинским временем эмского века, как это считалось ранее [20]. Сонахождение в комплексе строматопоридей *Clathrodictyella pulchra*, *Stellopora barba*, *Clathrocoilona*



Авторы благодарят за консультации по стратиграфическому распространению различных групп фауны д. г.-м. н. М. С. Афанасьеву (радиолярии), д. г.-м. н. Т. М. Безносову (брахиоподы), к. г.-м. н. А. В. Журавлева (конодонты, общие вопросы стратиграфии), А. В. Ерофеевского (брахиоподы). Авторы искренне признательны к. г.-м. н. [В. Ю. Лукину] и к. г.-м. н. Ю. В. Заике за диагностику табулятоморфных кораллов.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-05-70041 («Ресурсы Арктики») — полевые работы. Биостратиграфические исследования выполнены в рамках тем НИР ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (№№ 122040600008-5 и 12204060013-9) и ИГТ УрО РАН (№ АААА-А18-118052590025-8), а геодинамические построения — темы НИР ИГЕМ РАН (№ 12104150 0233-0).

Литература

1. Афанасьева М. С. Атлас радиолярий девона Северной Евразии (Тр. ПИН РАН. Т. 297). М.: РАН, 2020. 284 с.
2. Барсков И. С., Воронцова Т. Н., Кононова Л. И., Кузьмин А. В. Определитель конодонтов девона и нижнего карбона. М.: Изд-во МГУ, 1991. 184 с.
3. Беспрозванных Н. И. Кораллы Rugosa среднедевонских отложений Колывань-Томской складчатой зоны (Обь-Зайсанская складчатая область) // Силурийские девонские кораллы азиатской части СССР. М.: Наука, 1964. С. 50–79.
4. Богоявленская О. В. Девонские строматопораты (морфология, систематика, стратиграфическое и палеогеографическое распространение) // Литосфера. 2007. № 1. С. 109–122.
5. Богоявленская О. В., Лихачева Е. В. Строматопораты и девонская стратиграфия // Известия Уральского государственного горного университета. Серия Геология и геофизика. 2002. Вып. 15. С. 26–28.
6. Богоявленская О. В., Хромых В. Г. Указатель родов и видов строматопорат. М.: Наука, 1985. 103 с.
7. Викентьев И. В., Мансуров Р. Х., Иванов Ю. Н. и др. Золотопорфировое Петропавловское месторождение (Полярный Урал): геологическая позиция, минералогия и условия образования // Геология рудных месторождений. 2017. Т. 59. № 6. С. 501–541. DOI: 10.7868/S001677701706003X
8. Дубатов В. Н. Позднесилурийские и девонские табуляты, гелиолитиды и хететиды Кузнецкого бассейна. М.: АН СССР, 1963. 194 с.
9. Дубатов В. Н. Стратиграфическое значение девонских табулят Сибири и Дальнего Востока // Геология и геофизика. 1971. № 8. С. 104–109.
10. Дубатов В. Н., Спасский Н. Я. Девонские четырехлучевые кораллы Советского Союза (распространение и стратиграфическое значение) // Стратиграфический и географический обзор девонских кораллов СССР. М.: Наука, 1964. С. 67–112.
11. Дубатов В. Н., Чехович В. Д., Янет Ф. Е. Табуляты пограничных слоев силура и девона Алтае-Саянской горной области и Урала // Кораллы пограничных слоев силура и девона Алтае-Саянской горной области и Урала. М.: Наука, 1968. С. 5–109.
12. Душин В. А., Сердюкова О. П., Малюгин А. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200000. Издание второе. Серия Полярно-Уральская. Лист Q-42-VII, VIII (Обской). Объясн. записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 384 с.
13. Зылева Л. И., Коновалов А. Л., Казак А. П. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1000000 (3-е поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист Q-42 – Салехард. Объясн. записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2014. 396 с.
14. Коровко А. В., Смирнов В. Н. Восточнобобровская вулканогенно-осадочная толща: состав, возраст, условия образования // Труды Института геологии и геохимии им. академика А. Н. Заварицкого. Ежегодник-2002. Екатеринбург, 2003. Вып. 150. С. 100–102.
15. Лукин В. Ю. Стратиграфическое распространение табулят в верхнесилурийских и девонских отложениях Тимано-Североуральского региона и их корреляционное значение // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: материалы 16-й научной конференции / Институт геологии Коми НЦ УрО РАН. 2007. С. 103–107.
16. Мансуров Р. Х. Строение минерализованных зон Петропавловского золото-порфирового месторождения (Полярный Урал) // Вестник Пермского университета. 2016. Т. 4. № 33. С. 49–69.
17. Маслов В. П. Ископаемые известковые водоросли СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 301 с.
18. Петров Г. А., Жиганов А. А., Стефановский В. В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Уральская. Лист O-41 — Екатеринбург. Объясн. записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2011. 492 с.
19. Петрова Л. Г. Фораминиферы среднего девона восточного склона Урала // Палеозой Западно-Сибирской низменности и ее горного обрамления. Новосибирск: Наука, 1981. С. 81–101.
20. Прямоносцев А. П., Бороздина Г. Н., Прямоносцева М. А. Тоупугольегартская толща и варчатинская свита Войкарской СФЗ на Полярном Урале // Уральский геологический журнал. 2009. Вып. 69. № 3. С. 52–55.
21. Ремизов Д. Н., Григорьев С. И., Ремизова С. Т. Войкарская островодужная система Полярного Урала // Магматизм и метаморфизм в истории Земли: Материалы XI Всерос. петрограф. совещ. / Ред. В. А. Коротеев. Екатеринбург: Институт геологии и геохимии УрО РАН, 2010. С. 172–173.
22. Ремизов Д. Н., Шишкин М. А., Григорьев С. И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000. Изд. 2-е. Серия Полярно-Уральская. Листы Q-41-XXI, XXII (Евыргорт). Объясн. записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2015. 228 с.
23. Ремизов Д. Н., Шишкин М. А., Григорьев С. И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200 000 (цифровое издание). Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XVII (р. Танью). Объясн. записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2014. 199 с.
24. Ремизов Д. Н., Шишкин М. А., Григорьев С. И. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:200000 (второе издание, цифровое). Серия Полярно-Уральская. Лист Q-41-XVI (г. Хордьюс). Объясн. записка. СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2014. 256 с.
25. Ремизова С. Т., Ремизов Д. Н. Геодинамическая позиция раннедевонских водорослевых биогермов // Рифы и карбонатные псефитолиты (Материалы всерос. литол. совещ.). Сыктывкар: Геопринт, 2010. С. 148–149.
26. Соболев И. Д., Соболева А. А., Удортатина О. В., и др. Девонский островодужный магматизм Войкарской зоны Полярного Урала // Геотектоника. 2018. № 5. С. 39–74. DOI: 10.1134/S0016853X18050065



27. Соколов Б. С. Подкласс Tabulata — табуляты. Подкласс Heliolitida — гелиолитиды // Основы палеонтологии. Губки, археоциаты, кишечнополостные, черви. М.: АН СССР, 1962. С. 192–225.

28. Стукалина Г. А. Криноидеи палеозоя. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2000. 283 с.

29. Тяжева А. П., Жаворонкова Р. А., Гарифуллина А. А. Кораллы и брахиоподы нижнего девона западного склона Южного Урала. М.: Наука, 1976. 226 с.

30. Ходалевиц А. Н. Нижнедевонские и эйфельские брахиоподы Свердловской области // Труды Свердловского горного института. Вып. 18. М.: Гостеоиздат, 1951. 169 с.

31. Цыганко В. С. Девонские ругозы севера Урала. Л.: Наука, 1981. 220 с.

32. Чувашов Б. И., Лучинина В. А., Шуйский В. П. и др. Ископаемые известковые водоросли (морфология, систематика, методы изучения). Новосибирск: Наука, 1987. 225 с.

33. Шишкин М. А., Астапов А. П., Кабатов и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (3-е поколение). Серия Уральская. Лист Q-41 (Воркута). Объясн. записка. СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. 541 с.

34. Шуйский В. П. Известковые рифообразующие водоросли нижнего девона Урала. М.: Наука, 1973. 155 с.

35. Шуйский В. П., Патрунов Д. К. Известковые водоросли нижнего и среднего девона юга Новой Земли. М.: Наука, 1991. 80 с.

36. Шуйский В. П., Ширшова Д. И. Новые водоросли и организмы неясного систематического положения из палеозойских отложений Урала и Новой Земли // Известковые водоросли, строматолиты. Новосибирск: Наука, 1988. С. 25–43.

37. Янет В. Ф. Подкласс Tabulata // Кишечнополостные и брахиоподы живетских отложений восточного склона Урала. М.: Недра, 1972. С. 48–98.

38. Chuvashov B. I., Shuysky V. P., Ivanova R. M. Stratigraphical and facies complexes of the Paleozoic calcareous algae of the Urals // Studies on Fossil Benthic Algae / F. Barattolo et al. (eds.). Boll. Soc. Paleontol. Ital. Spec. Vol. 1. Mucci, Modena, 1993. P. 93–119.

39. Petrov G. A., Nasedkina V. A., Amon E. O. New Data on the Age and Conditions of Formation of Detrital Serpentinities on the Eastern Slope of the Middle Urals // Doklady Earth Sciences. 2009. V. 427A. №. 6. P. 929–933.

40. Pohler S. M. L. Paleoecology, biostratigraphy and paleogeography of Favositidae (Tabulata) from the Emsian to Middle Devonian Tamworth Group (New South Wales, Australia) // Senckenbergiana lethaea. 2001. V. 81. № 1. P. 91–109.

References

1. Afanasieva M. S. *Atlas radiolyary devona Severnoy Evrasii* (Atlas of Devonian Radiolaria of Northern Russia). Moscow: RAS, 2020, 284 pp.

2. Barskov I. S., Voroncova T. N., Kononova L. I., Kuz'min A. V. *Opredelitel' konodontov devona i nizhnego karbona* (Keys to the Devonian and Lower Carboniferous conodonts). Moscow, MSU, 1991, 184 pp.

3. Besprozvannyh N. I. *Korally Rugosa srednedevonskih otlozhenij Kolyvan'-Tomskoj skladchatoj zony (Ob'-Zajsanskaya skladchataya oblast')* (Corals of Rugosa of Middle Devonian sediments of the Kolyvan-Tomsk folded zone (Ob-Zaisan folded region)). *Silurijskie devonskie korally Aziatskoj chasti SSSR* (Silurian Devonian corals of Asian part of the USSR). Moscow: Nauka, 1964, pp. 50–79.

4. Bogoyavlenskaya O. V. *Devonskie stromatoporaty (morfoloziya, sistematika, stratigraficheskoe i paleogeograficheskoe rasprostranenie)* (Devonian Stromatoporata (morphology, systematic, stratigraphic and paleogeographic spreading)). *Lithosphere (Russia)*, 2007, No. 1, pp. 109–122.

5. Bogoyavlenskaya O. V., Lihacheva E. V. *Stromatoporaty i devonskaya stratigrafiya* (Stromatoporates and Devonian stratigraphy). *Izvestiya Ural'skogo gosudarstvennogo gornogo universiteta. Seriya Geologiya i geofizika* (Proceedings of Ural State Mining University. Geology and geophysics), 2002, V. 15, pp. 26–28.

6. Bogoyavlenskaya O. V., Hromyh V. G. *Ukazatel' rodov i vidov stromatoporat* (Index of the genera and species of stromatoporates). Moscow: Nauka, 1985, 103 pp.

7. Vikentyev I. V., Mansurov R. Kh., Ivanova Yu. N. et al. Porphyry-Style Petropavlovskoe Gold Deposit, the Polar Urals: Geological Position, Mineralogy, and Formation Conditions. *Geology of Ore Deposits*, 2017, V. 59, No. 6, pp. 482–520. DOI: 10.1134/S1075701517060058.

8. Dubatolov V. N. *Pozdnesilurijskie i devonskie tabulyaty, geliolitidy i hetetidy Kuzneckogo bassejna* (Late Silurian and Devonian tabulates, helioliths and chatetids of the Kuznetsk basin). Moscow: AS USSR, 1963, 194 pp.

9. Dubatolov V. N. *Stratigraficheskoe znachenie devonskih tabulyat Sibiri i Dal'nego Vostoka* (Stratigraphic significance of the Devonian tabulates of Siberia and the USSR Far East). *Geology and geophysics*, 1971, No. 8, pp. 104–109.

10. Dubatolov V. N., Spasskij N. Ya. *Devonskie chetyrekh-luchevye korally Sovetskogo Soyuza (rasprostranenie n stratigraficheskoe znachenie)* (Devonian four-beam corals of the Soviet Union (distribution and stratigraphic significance)). *Stratigraficheskij i geograficheskij obzor devonskih korallov SSSR* (stratigraphic and geographical review of Devonian corals of the USSR). Moscow: Nauka, 1964, pp. 67–112.

11. Dubatolov V. N., Chekhovich V. D., Yanet F. E. *Tabulyaty pogranichnykh sloev silura i devona Altae-Sayanskoj gornoj oblasti i Urala* (Tabulatomorphic corals of the Silurian-Devonian boundary interval of the Altai-Sayan Mountain region and the Urals). *Korally pogranichnykh sloev silura i devona Altae-Sayanskoj gornoj oblasti i Urala* (Corals of Silurian-Devonian boundary in Altai-Sayan Mountain region and the Urals). Moscow: Nauka, 1968, pp. 5–109.

12. Dushin V. A., Serdyukova O. P., Malyugin A. A. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1: 200000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Uralskaya. List Q-42-VII, VIII (Obskoj). Obyasnitelnaya zapiska* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200000 (2nd generation). Polar Urals series. Sheet Q-42-VII, VIII (Ob'). Explanatory letter). Saint Petersburg: VSEGEI, 2014, 384 pp.

13. Zilyova L. I., Kononov A. L., Kazak A. P. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1: 1000000 (3-e pokolenie). Seriya Zapadno-Sibirskaya. List Q-42 – Salekhard. Ob. zapiska* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1000000 (3rd generation). West Siberian series. Sheet Q-42 (Salekhard). Explanatory letter). Saint Petersburg: VSEGEI, 2014, 396 pp.

14. Korovko A. V., Smirnov V. N. *Vostochnobobrovskaya vulkanogenno-osadochnaya tolshcha: sostav, vozrast, usloviya obrazovaniya* (Vostochnaya Bobrovka volcanogenic-sedimentary formation: composition, age, conditions of formation). Proceedings of Zavaritsky Institute of geology and geochemistry. Year book-2002, 2003, V. 150, pp. 100–102.

15. Lukin V. Yu. *Stratigraficheskoe rasprostranenie tabulyat v verhnesilurijskih i devonskih otlozheniyah Timano-Severoural'skogo regiona i ih korrelyacionnoe znachenie* (Stratigraphic



ranges and correlation significance of tabulatomorphic corals in the Upper Silurian and Devonian of the Timan-North Ural region). Structure, substance, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment. Proceedings of the conference of the Institute of geology Komi SC UB RAS, 2007, pp. 103–107.

16. Mansurov R. Kh. Structure of Mineralized Zones of the Petropavlovskoe Gold-Porphry Deposit (Polar Urals). Bulletin of Perm University. Geology, 2016, V. 33, No. 4, pp. 49–69.

17. Maslov V. P. *Iskopaemye izvestkovye vodorosli SSSR* (Fossil calcareous algae of the USSR). Moscow: AS USSR, 1956, 301 pp.

18. Petrov G. A., Zhiganov A. A., Stefanovsky V. V. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (tret'e pokolenie). Seriya Ural'skaya. List O-41 — Ekaterinburg. Ob'yasnitel'naya zapiska.* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third generation). Ural series. Sheet O-41 - Yekaterinburg. Explanatory letter). Saint Petersburg: VSEGEI Map Factory, 2011, 492 pp.

19. Petrova L. G. *Foraminifery srednego devona vostochnogo sklona Urala* (Foraminifers of the Middle Devonian on the eastern slope of the Urals). *Paleozoj Zapadno-Sibirskoj nizmennosti i ee gornogo obramleniya* (Paleozoic West-Siberian depression and its mountain margins). Novosibirsk, Nauka, 1981, pp. 81–101.

20. Pryamonosov A. P., Borozdina G. N., Pryamonosova M. A. *Toupugol'egartskaya tolshcha i varchatinskaya svita Vojkarskoj SFZ na Polyarnom Urale* (Toupugol'egart and Varchaty formations of the Voikar SFZ in the Polar Urals). Uralian Geological Journal, 2009, V. 69, No. 3, pp. 52–55.

21. Remizov D. N., Grigoryev S. I., Remizova S. T. *Vojkarskaya ostrovoduzhnaya sistema Polyarnogo Urala* (Voikar island arc system of the Polar Urals). *Magmatizm i metamorfizm v istorii Zemli* (Magmatism and metamorphism in Earth history). Proceedings of XI All-Russian petrographic meeting. Ed. V.A. Koroteev. Yekaterinburg: Institute of geology and geochemistry UB RAS, 2010, pp. 172–173.

22. Remizov D. N., Shishkin M. A., Grigor'ev S. I. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj federacii. Masshtab 1:200 000. Izdanie vtoroe. Seriya Polyarno-Ural'skaya. Listy Q-41-XXI, XXII (Evrygort). Obyasnitel'naya zapiska* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 200000 (2nd generation). Polar Urals series. Sheet Q-41-XXI, XXII (Evrygort). Explanatory letter). Saint Petersburg: VSEGEI, 2015, 228 pp.

23. Remizov D. N., Shishkin M. A., Grigor'ev S. I. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200000 (cifrovoe izdanie). Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-41-XVII (r. Tan'yu). Obyasnitel'naya zapiska.* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000 (digital edition). Polar Urals series. Sheet Q-41-XVII (r. Tan'yu). Explanatory letter). Saint Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2014, 199 pp.

24. Remizov D. N., Shishkin M. A., Grigor'ev S. I. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:200000 (vtoroe izdanie, cifrovoe). Seriya Polyarno-Ural'skaya. List Q-41-XVI (g. Hord'yus). Ob'yasnitel'naya zapiska.* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1:200000 (2-nd edition). Polar Urals series. Sheet Q-41-XVI (g. Hord'yus). Explanatory letter). Saint Petersburg: VSEGEI, 2014, 256 pp.

25. Remizova S. T., Remizova D. N. *Geodinamicheskaya pozitsiya rannedevonskih vodoroslevykh biogermov* (Geodynamic position of the Early Devonian algal bioherms). Reefs and carbonate psephytolites. Proceedings of the All-Russian Lithological Conference. Syktyvkar: Geoprint, 2010, pp. 148–149.

26. Sobolev I. D., Soboleva A. A., Udoratina O. V. et al. Devonian Island-Arc Magmatism of the Voikar Zone in the

Polar Urals. *Geotectonics*, 2018, V. 52, No. 5, pp. 531–563. DOI: 10.1134/S0016852118050060.

27. Sokolov B. S. *Podklass Tabulata — tabulyaty. Podklass Heliolitida — geliolitidy* (Subclass Tabulata - Tabulatomorphic corals. Subclass Heliolitida — heliolitides). *Osnovy paleontologii. Gubki, arheociaty, kischechnopolostnye, chervi* (Basic paleontology. Sponges, archaeocyates, coelenterates, worms). Moscow: AS USSR, 1962, pp. 192–225.

28. Stukalina C. A. Paleozoic crinoids. Saint Petersburg: VSEGEI-Press, 2000, 283 pp.

29. Tyazheva A. P., Zhavoronkova R. A., Garifullina A. A. *Korally i brahiopody nizhnego devona zapadnogo sklona Yuzhnogo Urala* (Corals and brachiopods of the Lower Devonian of the western slope of the Southern Urals). Moscow: Nauka, 1976, 226 pp.

30. Hodalevich A. N. *Nizhnedevonskie i eifel'skie brahiopody Sverdlovskoj oblasti* (Lower Devonian and Eiffelian brachiopods of the Sverdlovsk region). Proceedings of Sverdlovsk Mining Institute (vol. 18). Moscow: Gosgeolizdat, 1951, 169 pp.

31. Tsyganko V. S. *Devonskie rugozy severa Urala* (Devonian Rugosa of the northern Urals). Leningrad: Nauka, 1981, 220 pp.

32. Chuvashov B. I., Luchinina V. A., Shujskij V. P. et al. *Iskopaemye izvestkovye vodorosli (morfologiya, sistematika, metody izucheniya)* (Fossil calcareous algae (morphology, taxonomy, methods of study)). Novosibirsk: Nauka, 1987, 225 pp.

33. Shishkin M. A., Astapov A. P., Kabatov N. V. et al. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1:1000000 (3-e pokolenie). Seriya Ural'skaya. List Q-41 (Vorkuta). Ob. zapiska* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1000000 (3rd generation). Ural series. Sheet Q-41 (Vorkuta). Explanatory letter). Saint Petersburg: VSEGEI, 2007, 541 pp.

34. Shujskij V. P. *Izvestkovye rifoobrazuyushchie vodorosli nizhnego devona Urala* (Calcareous reef-forming algae of the Lower Devonian of the Urals). Moscow: Nauka, 1973, 155 pp.

35. Shujskij V. P., Patrunov D. K. *Izvestkovye vodorosli nizhnego i srednego devona yuga Novoj Zemli* (Calcareous algae of the Lower and Middle Devonian in the south of the Novaya Zemlya). Moscow: Nauka, 1991, 80 pp.

36. Shujskij V. P., Shirshova D. I. *Novye vodorosli i organizmy neyasnogo sistematicheskogo polozheniya iz paleozojskih otlozhenij Urala i Novoj Zemli* (New algae and organisms of unclear systematic position from Paleozoic sediments of the Urals and Novaya Zemlya). *Izvestkovye vodorosli, stromatolity* (Calcareous algae, stromatolites). Novosibirsk: Nauka, 1988, pp. 25–43.

37. Yanet V. F. *Podklass Tabulata* (Subclass Tabulata). *Kischechnopolostnye i brahiopody zhivetskih otlozhenij vostochnogo sklona Urala* (Coelenterates and brachiopods from the Givetian deposits of the eastern slope of the Urals). Moscow: Nedra, 1972, pp. 48–98.

38. Chuvashov B. I., Shuysky V. P., Ivanova R. M. Stratigraphical and facies complexes of the Paleozoic calcareous algae of the Urals. Studies on Fossil Benthic Algae. F. Barattolo et al. (eds.). Boll. Soc. Paleontol. Ital. Spec., V. 1, Mucci, Modena, 1993, pp. 93–119.

39. Petrov G. A., Nasedkina V. A., Amon E. O. New Data on the Age and Conditions of Formation of Detrital Serpentinities on the Eastern Slope of the Middle Urals. *Doklady Earth Sciences*. 2009, V. 427A, No. 6. pp. 929–933.

40. Pohler S. M. L. Paleogeology, biostratigraphy and paleogeography of Favositidae (Tabulata) from the Emsian to Middle Devonian Tamworth Group (New South Wales, Australia). *Senckenbergiana lethaea*. 2001, V. 81, No. 1, pp. 91–109.

Исследование величины аномалий теплового потока в тылу зон субдукции в зависимости от угла и скорости субдуцирующей плиты

С. В. Гаврилов¹, А. Л. Харитонов²

¹Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта РАН, Москва
gavrilov@ifz.ru

²Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н. В. Пушкова РАН, Москва
ahariton@izmiran.ru

Актуальность материала, изложенного в этой статье, связана с выявлением зависимости величины аномального теплового потока от угла и скорости литосферной субдукции и предположением постоянства эффективной вязкости материала верхней мантии и кондуктивного механизма выноса диссипативного тепла. Метод, на основе которого получено аналитическое решение уравнения переноса диссипативного тепла в мантийном клине над полого субдуцирующей литосферной плитой, позволяет оценить величину аномального теплового потока, выносимого к дневной поверхности из мантийного клина в тылу зон литосферной субдукции. В результате на примере Амурской и Адриатической плит, для которых современными геодезическими методами определена скорость литосферной субдукции (порядка 10 мм в год) и по сейсмическим данным – углы субдукции (25–30 градусов), установлена справедливость полученной зависимости аномального теплового потока от угла и скорости субдукции и оценена ранее не определявшаяся скорость субдукции Черноморской микроплиты под Крымский полуостров (около 3 мм в год). При полученной скорости вещества в мантийном клине у кровли мантии восходящий кондуктивный поток может обеспечить наблюдаемый вынос тепла и углеводородов из мантии к дневной поверхности и формирование месторождений углеводородов.

Ключевые слова: угол, скорость субдукции, тепловой поток, диссипативный нагрев.

Investigation of dependence of the heat flux anomalies in the rear of subduction zones on the angle and velocity of subduction

S. V. Gavrilov¹, A. L. Kharitonov²

¹Schmidt Institute of Earth Physics RAS, Moscow

²Pushkov Institute of Terrestrial Magnetism, Ionosphere and Radio Waves Propagation RAS, Moscow

The relevance of the material presented in this article is related to the identification of the dependence of the anomalous heat flux magnitude on the angle and velocity of lithospheric subduction, and assuming the constancy of the effective viscosity of the upper mantle material and the conductive mechanism of dissipative heat transfer. We analytically solved the equation of dissipative heat transport in a mantle wedge over a flatly subducting lithospheric plate on the basis of the method estimating the anomalous heat flux carried to the day surface from the mantle wedge in the rear of subduction zones. As a result, exemplified by Amur and Adriatic plates, for which the velocity of subduction is determined by modern geodetic methods (approximately 10 mm per year) and the angle of subduction – from seismological data (25–30 degrees), the obtained dependence of the anomalous heat flux on the angle and velocity of lithospheric subduction is proved valid. The previously unmeasured velocity of the Black Sea microplate subduction under the Crimea was estimated of 3 mm per year. With the obtained velocity of matter in the mantle wedge at the roof of the mantle, the upward conductive flow can provide the observed removal of heat and hydrocarbons from the mantle to the day surface and the formation of hydrocarbon deposits.

Keywords: angle, velocity of subduction, heat flux anomalies, dissipative heating.

Введение

Рассматриваемая в данной статье проблема весьма актуальна среди геологов и геофизиков, изучающих проявления аномального кондуктивного теплового потока в конвергентных тектонических зонах. Термическое поле, наблюдаемое в зонах литосферной субдукции и палеосубдукции при различных углах наклона сейсмофокальной зоны, обсуждалось еще в начале 70-х годов прошлого века [10–12, 14, 16–22]. Известно, что в тылу многих зон литосферной субдукции, позади передовой островной вулканической цепи и параллельно глубоководному желобу обычно на-

блюдаются 2D-зоны повышенного теплового потока [9, 10, 13–18, 20, 22]. В этих зонах располагаются центры окраинного раздвигания литосферы (и окраинные бассейны) или формируются грабены, то есть зоны растяжения литосферы [9, 11, 13–17, 18, 21, 22].

Судя по рис. 1, а также опираясь на данные [10], можно сказать, что кондуктивный тепловой поток, соответствующий сгущению изотерм у поверхности Земли, максимален на расстояниях порядка 100–300 км от зоны субдукции. Поскольку субдуцирующие блоки литосферы экранируют тепловой поток из нижележащей мантии, можно предположить, что аномалии те-

Для цитирования: Гаврилов С. В., Харитонов А. Л. Исследование величины аномалий теплового потока в тылу зон субдукции в зависимости от угла и скорости субдуцирующей плиты // Вестник геонаук. 2022. 12(336). С. 38–43. DOI: 10.19110/geov.2022.12.5

For citation: Gavrilov S. V., Kharitonov A. L. Investigation of dependence of the heat flux anomalies in the rear of subduction zones on the angle and velocity of subduction. Vestnik of Geosciences, 2022, 12(336), pp. 38–43, doi: 10.19110/geov.2022.12.5

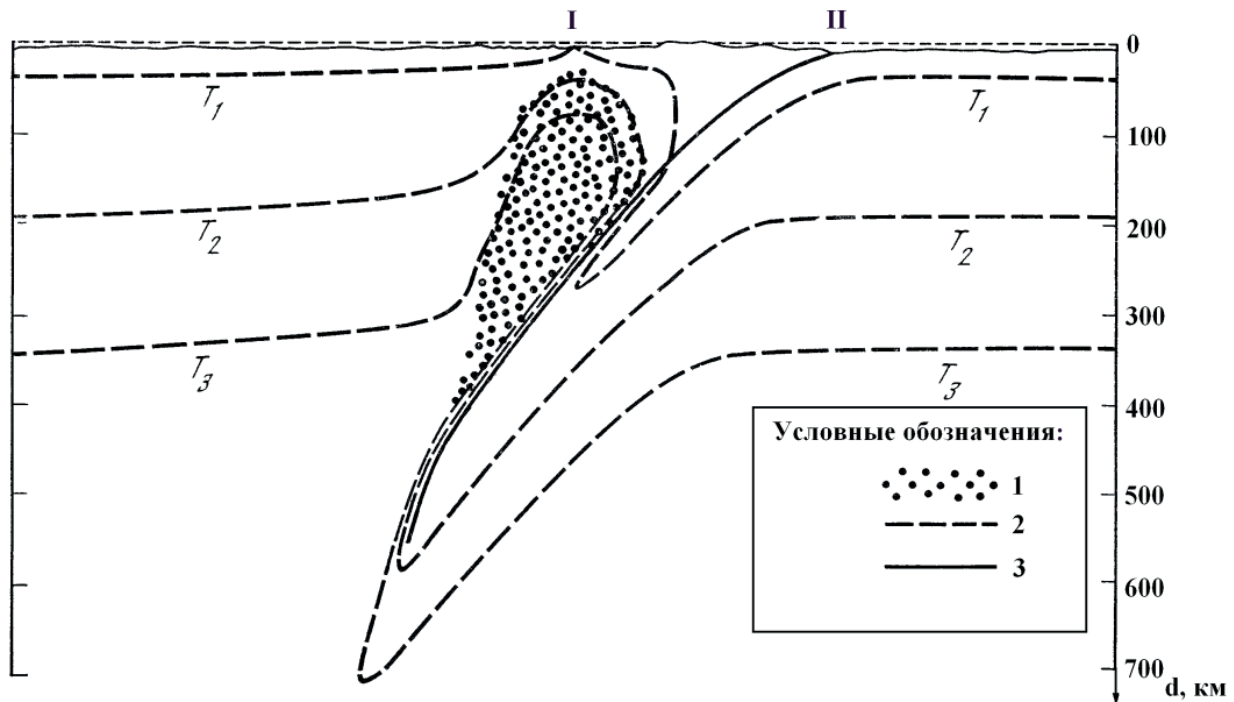


Рис. 1. Схема тектонического строения зоны субдукции литосферной плиты с кондуктивным механизмом выноса диссипативного тепла [7]: I — междууговый бассейн, II — глубоководный желоб.

Условные обозначения: 1 — область зоны аномальных температур в зоне литосферной субдукции; 2 — изображение положения изотерм (T_1 , T_2 , T_3) с кондуктивным механизмом выноса диссипативного тепла в мантийной среде зоны литосферной субдукции; 3 — обозначение зоны Заварицкого – Беньофа

Fig. 1. Scheme of the tectonic structure of the lithospheric plate subduction zone with the conductive mechanism of dissipative heat transfer [7]: I — long-distance pool, II — deep-water trough.

Symbols: 1 — area of the zone of abnormal temperatures in the lithospheric subduction zone; 2 — image of the position of isotherms (T_1 , T_2 , T_3) with a conductive mechanism for dissipative heat removal in the mantle medium of the lithospheric subduction zone; 3 — designation of the Zavaritsky – Benioff zone

плового потока в тылу зон литосферной субдукции формируются в мантийном клине за счет диссипативного тепловыделения в вязком течении, вызываемом в астеносфере пододвигающейся плитой. Чтобы читателям-геологам было понятно, что такое число Рэлея (Ra) [16, 24], используемое в данной статье, приведем его краткое определение. Это безразмерное число, определяющее поведение астеносферы как среды подобной жидкости под воздействием вертикального перепада температуры (ΔT).

$$Ra = (g \times \alpha \times \rho \times \Delta T \times L^3) / (\eta \times \chi), \quad (1)$$

где g — значение ускорения свободного падения в зоне литосферной субдукции; L — характеристический вертикальный размер области мантии в зоне литосферной субдукции; ΔT — разность абсолютных температур (перепад температуры) в вертикальном сечении мантийного субдукционного клина; η — коэффициент динамической вязкости; χ — коэффициент температуропроводности; α — коэффициент теплового расширения мантийной среды; ρ — значение плотности горных пород мантийной среды.

Приведем некоторые пояснения относительно применяемых в этой статье терминов, которые обычно используются в работах, связанных с геодинамическим моделированием движений литосферных плит. Например, приближение бесконечного числа Прандтля и его численное значение, используемое авторами при расчетах в данной модели, имеет вид согласно [16, 24]:

$$Pr = [\eta / (\rho \times \chi)] > 10^{25}. \quad (2)$$

Физический смысл числа Прандтля (Pr), если говорить простыми словами, состоит в приближении, при котором не учитываются силы инерции по сравнению с вязкими силами и силой тяжести (g). Поэтому это приближение часто применяется при моделировании движений в верхней мантии. Число Прандтля — это один из критериев подобия тепловых процессов в жидкостях, который учитывает влияние физических свойств теплоносителя на теплоотдачу.

Физический смысл приближения Буссинеска — это использование реально рассматриваемых физико-химических параметров среды верхней мантии как значений, соответствующих параметрам несжимаемой жидкости [16, 24]. Оно обычно применяется при геодинамическом моделировании процессов в верхней мантии до глубины 700 км. Например, уравнения движения жидкости в приближении Буссинеска — это часто применяемая модель для описания движений в жидкостях, которым уподобляется среда астеносферы. Основная идея приближения Буссинеска состоит в особенности учёта зависимости плотности (ρ) только от абсолютной температуры (T).

В настоящей работе рассмотрены полученные ранее авторами аналитические решения, описывающие термомеханическое состояние среды в приближении однородной вязкой жидкости в мантийном клине над полого субдуцирующей литосферной плитой, и на основе этих решений даны оценки аномального тепло-

вого потока, восходящего из мантийного клина к подошве настиляющей литосферы и далее к дневной поверхности.

Описание аналитической модели

Простая термомеханическая модель мантийного клина между «подошвой» субдуцирующей океанической литосферной плиты, пододвигающейся под континентальную литосферную плиту под углом β со скоростью V , может быть построена как модель вязкого течения в мантийном клине AOB (рис. 2), вынужденного движением полуплоскости OB , моделирующей верхнюю границу субдуцирующей литосферной плиты.

Материал мантийного клина считается однородной несжимаемой жидкостью с постоянным коэффициентом вязкости η . В приближении однородной среды движение вещества в мантийном клине определяется формулами [20], согласно которым компоненты скорости U (горизонтальной) и W (вертикальной) равны (ψ — функция тока):

$$U = V_x = -\frac{\partial \psi}{\partial z} = -\text{Darctg} \frac{x}{z} + \frac{Cx + Dz}{x^2 + z^2} x - B,$$

$$W = V_z = \frac{\partial \psi}{\partial x} = C \text{arctg} \frac{x}{z} + \frac{Cx + Dz}{x^2 + z^2} z + A, \quad (3)$$

где при условиях невозможности проскальзывания на поверхностях OA и OB :

$$C = -V \frac{\beta \sin \beta}{\beta^2 - \sin^2 \beta}, \quad (4a)$$

$$D = V \frac{\beta \cos \beta - \sin \beta}{\beta^2 - \sin^2 \beta}, \quad (4б)$$

$$A = V \frac{\frac{\pi}{2} \beta \sin \beta}{\beta^2 - \sin^2 \beta}, \quad (4в)$$

$$B = V \frac{\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \sin \beta - \frac{\pi}{2} \beta \cos \beta}{\beta^2 - \sin^2 \beta}. \quad (4г)$$

Константы A и B в формулах (3 и 4) выражаются через C и D , а сами величины C и D также определяются через граничные условия невозможности проскальзывания на поверхностях литосферных плит. Необходимо отметить, что обозначения A и B на рис. 2 соответствуют определенным точкам на оси x и оси V (рис. 2), а не константам в формулах 3 и 4. Стационарное уравнение переноса тепла можно представить в следующем виде:

$$V_x \frac{\partial T}{\partial x} + V_z \frac{\partial T}{\partial z} = \chi \Delta T + \frac{1}{\rho c_p} \tau_{ik}^2 / 2\eta, \quad (5)$$

где τ_{ik} — тензор вязких напряжений, η — коэффициент вязкости пород мантийной среды, ρ — плотность пород мантийной среды, c_p — удельная теплоемкость пород мантийной среды при постоянном давлении, χ — коэффициент температуропроводности пород мантийной среды, Δ — оператор Лапласа в координатах x, z , V_x и V_z — компоненты скорости вдоль осей x и z на рис. 2.

Смысл индексов i, k (принимающих обозначения координат x, z) у тензора вязких напряжений (τ_{ik}) — это обозначение силы, действующей на единичный элемент поверхности, где сила направлена по оси i , причем нормаль к элементу поверхности направлена по оси k . Например, τ_{xz} есть вязкая сила, действующая со стороны вязкой жидкости на единичный элемент поверхности в направлении координатной оси z , причем внешняя нормаль к этому элементу поверхности направлена по оси x . Величина τ_{ik}^2 есть сумма квадратов всех компонент тензора вязких напряжений, то есть в случае рассматриваемой в статье модели ее можно представить как:

$$\tau_{ik}^2 = \tau_{xx}^2 + \tau_{zz}^2 + 2\tau_{xz}^2. \quad (6)$$

В (5) не учитывается нагрев за счет радиоактивных источников в коре и предполагается, что тепло генерируется только благодаря вязкому трению в мантийном клине. Тепловой поток радиогенного происхождения может быть добавлен отдельно. Последнее слагаемое в правой части (5) описывает мощность диссипативного тепловыделения в единице объема. Уравнение (5) с учетом (3), (4), (6) приобретает вид:

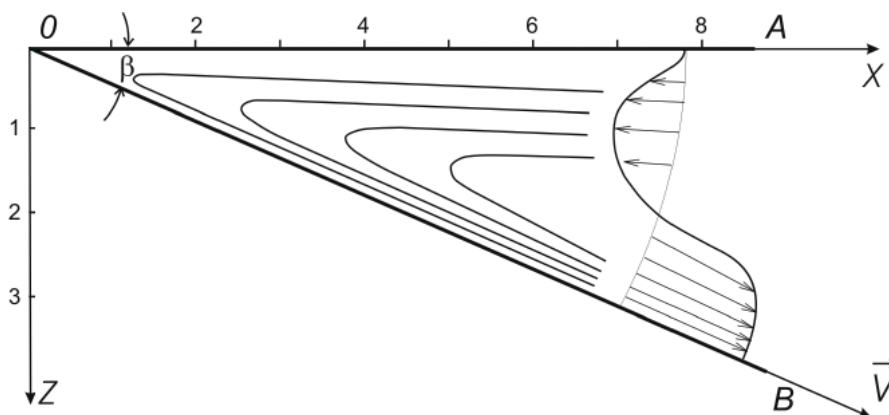


Рис. 2. Схематическое поперечное сечение области субдукции литосферной плиты, происходящей под углом β со скоростью V . Линиями тока показано движение вещества в мантийном клине AOB , вызванное движением субдуцирующей литосферной плиты OB

Fig. 2. Schematic cross-section of a subduction of lithospheric plate region occurring at an angle β with a velocity V . The streamlines show the movement of matter in the AOB mantle wedge caused by the movement of the subducting lithospheric plate OB



$$\begin{aligned} & \left(D \left(\frac{xz}{x^2+z^2} + \operatorname{arctg} \frac{z}{x} \right) - C \frac{z^2}{x^2+z^2} \right) \frac{\partial T}{\partial x} + \\ & + \left(C \left(\frac{xz}{x^2+z^2} - \operatorname{arctg} \frac{z}{x} \right) + D \frac{z^2}{x^2+z^2} \right) \frac{\partial T}{\partial z} = \\ & = \chi \Delta T + \frac{1}{\rho c_p} \frac{4\eta(Cz - Dx)^2}{(x^2+z^2)^2}, \end{aligned} \quad (7)$$

где учитываются значения из (6): $\tau_{xx} = \eta \times (\partial V_x / \partial x)$; $\tau_{zz} = \eta \times (\partial V_z / \partial z)$; $\tau_{xz} = \tau_{zx} = \eta \times [(\partial V_x / \partial z) + (\partial V_z / \partial x)]$.

Уравнение (7) решается при $0 < x < \infty$, $0 < z < x \times \operatorname{tg} \beta$ с граничными условиями для температуры $T = T_m$ при $z = 0$, $z = x \times \operatorname{tg} \beta$, где T_m — температура субсолидуса. Граничные условия $T = T_m$ вдали от глубоководного желоба (т. е. на стороне AB при $x \rightarrow \infty$ на рис. 2) также справедливы, поскольку тепловая энергия, соответствующая температуре, отличной от T_m , на стороне AB , достаточно удаленной от глубоководного желоба, передается литосферным плитам, так как диссипативное тепловыделение при $x \rightarrow \infty$ спадает до нуля. Следует подчеркнуть, что все переменные в уравнениях настоящей статьи размерны, кроме оговоренных особо. Еще раз следует отметить, что константы A и B в формулах (3, 4а–4г), выражаются через C и D и через граничные условия невозможности проскальзывания на поверхностях литосферных плит.

Последнее слагаемое в правой части (7) пропорционально объемной мощности диссипативного тепловыделения и с константами C и D (4) при $\beta < (\pi/4)$ максимально на нижней границе OB мантийного клина. В силу этого температура в мантийном клине достигает максимума $T = T_{\max}(x)$ вблизи субдуцирующей литосферной плиты на расстоянии $\delta(x)$ над ее поверхностью. В [6] получена безразмерная оценка квадрата этого расстояния для полезной субдуцирующей литосферной плиты при $\beta < (\pi/5)$ (то есть $\beta < 36^\circ$):

$$\delta^2 = \frac{2\eta(D - Ct/2)^2}{[D^2 - (D - Ct)^2 \cos^6 \beta] \cdot \left[t - 2t - \frac{x}{\chi} [(C + Dt/2) \operatorname{arctg}(t/2) - Ct/2] \right]} \quad (8)$$

Величина δ измеряется по оси $\zeta = z/x$, причем максимальная температура в вертикальном сечении мантийного клина составляет:

$$T_{\max}(x) = T_m + \frac{2\eta}{\kappa} \delta^2 (D - Ct)^2 \cos^6 \beta, \quad (9)$$

где $t = \operatorname{tg} \beta$, $\kappa = 3.2 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$ — коэффициент теплопроводности мантии [23]. Сравнение с численным решением уравнения (6) показывает, что точность оценок (7) и (8) при $x > 100 \text{ км}$ не хуже 10%. Согласно (8), квадрат безразмерной толщины δ термического пограничного слоя при $\beta = 30, 25$ и 15° составляет:

$$\begin{aligned} \delta^2(x, \beta = \pi/6) &= 1 / [7.27 + 0.0117 \times x(\text{км}) \times V(\text{мм/год})], \\ \delta^2(x, \beta = 25^\circ) &= 1 / [19.30 + 0.0189 \times x(\text{км}) \times V(\text{мм/год})], \\ \delta^2(x, \beta = \pi/12) &= 1 / [117.18 + 0.0348 \times x(\text{км}) \times V(\text{мм/год})], \end{aligned} \quad (10)$$

где $\chi = 0.5 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ [24]. Приведенные в (10) углы субдукции соответствуют подвиганию Амурской литосферной микроплиты под Охотскую [3], Адриатической литосферной микроплиты под Евроазиатскую [2] и Черноморской литосферной микроплиты под Скифскую [4, 5, 17].

Согласно (9) перепад температуры $\Delta T = T_{\max}(x) - T_m$ в вертикальном сечении мантийного клина $[(2 \times (\eta/\kappa) \times \delta^2 \times [D - (C \times t)]^2 \times \cos^6 \beta)]$ пропорционален коэффициенту вязкости, и локальное число Рэлея $Ra = [(g \times \alpha \times \rho \times \Delta T \times (x \times t)^3) / (\eta \times \chi)]$ в приближении однородной среды не зависит от вязкости. С учетом (10) получаем:

$$Ra = 2 \times \alpha \times \rho \times g \times (x \times t)^3 \times \delta^2 \times (D - C \times t)^2 \times \cos^6 \beta / (\kappa \times \chi), \quad (11)$$

где g — ускорение силы тяжести, α — коэффициент теплового расширения, $F(\pi/6) = 7.27$, $G(\pi/6) = 0.0117$ и так далее согласно (10). Отсюда получаем:

$$\begin{aligned} Ra &= 4 \times 10^{-7} \times t^3 \times (D^* - C^* t)^2 \times \cos^6 \beta \times \\ &\times \frac{x^3(\text{км}) \times V^2(\text{мм/год})}{F(\beta) + G(\beta) \times x(\text{км}) \times V(\text{мм/год})}, \end{aligned} \quad (12)$$

где $D^* = (D/V)$, $C^* = (C/V)$ — безразмерные функции β , определяемые из (4а–4г) делением на скорость литосферной субдукции V . Соотношение (12) для числа Рэлея (Ra) получается из (11) при численных значениях, принятых в модели, описываемой в данной статье: $\rho = 3.3 \times 10^3 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, $c_p = 1.2 \times 10^3 \text{ Дж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, $\kappa = 3.2 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, $\alpha = 3 \times 10^{-5} \text{ К}^{-1}$, $\chi = 0.5 \text{ мм}^2 \cdot \text{с}^{-1}$ [24].

Следует отметить, что локальные числа Рэлея (12) при скорости субдукции $V = 10 \text{ мм}$ в год оказываются ниже его критического значения $Ra < 10^5$ при всех расстояниях x , следовательно, в рамках предлагаемой аналитической модели конвекция в мантийном клине не развивается, а перенос тепла оказывается чисто кондуктивным.

Согласно (10), диссипативный тепловой поток из мантийного клина $q_c = (\kappa \times \Delta T) / (x \times t)$ и вертикальный перепад температуры ΔT пропорциональны коэффициенту вязкости η и составляют:

$$\begin{aligned} q_c(\text{мВт} \cdot \text{м}^{-2}) &= 2 \times 10^{-21} \times \eta(\text{Па} \cdot \text{с}) \times \delta^2 \times \\ &\times (D^* - C^* \times t)^2 \times \cos^6 \beta \times V(\text{мм/год})^2 \times t^{-1} \times (x(\text{км}))^{-1}, \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \Delta T(\text{К}) &= 6 \times 10^{-22} \times \eta(\text{Па} \cdot \text{с}) \times \delta^2 \times (D^* - C^* \times t)^2 \times \\ &\times \cos^6 \beta \times V(\text{мм/год})^2, \end{aligned} \quad (14)$$

причем эти величины зависят от теплопроводности мантии только через зависимость (8).

Результаты и обсуждение

Согласно приведенным формулам, модельный тепловой поток q_c при $\beta = 30^\circ$, $V = 10 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$, $x = 250 \text{ км}$, $\eta = 2 \times 10^{23} \text{ Па} \cdot \text{с}$ и прочих параметрах, указанных выше, составляет $q_c = 60 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2}$, что соответствует расположению зоны аномального теплового потока и величине его мантийной составляющей в Охотском море к востоку от острова Сахалин [3]. В этой области происходит субдукция Амурской литосферной микроплиты под Охотскую [3]. Локальное число Рэлея в данной простой модели оказывается ниже критического, то есть конвекция не развивается. Для случая субдукции Адриатической литосферной микроплиты под Евроазиатскую [2], $\beta = 25^\circ$, $V = 10 \text{ мм} \cdot \text{год}^{-1}$, $x = 250 \text{ км}$, $\eta = 2 \cdot 10^{23} \text{ Па} \cdot \text{с}$, находим $q_c = 71 \text{ мВт} \cdot \text{м}^{-2}$, что соответствует условиям в тылу зоны субдукции Адриатической литосферной микроплиты [2] в области нефтегазонос-



ной провинции Паннония и зоны растяжения Вардар. Наконец, при $\beta = 15^\circ$, $V = 3$ мм-год⁻¹, $x = 250$ км, $\eta = 2 \cdot 10^{23}$ Па-с и прочих вышеуказанных параметрах находим $q_c = 20$ мВт-м⁻², что согласно [8] соответствует условиям в тылу Горного Крыма, где наблюдается 2D-зона аномального теплового потока, вытянутая параллельно Южному берегу Крыма [7].

В последнем случае перепад температуры в вертикальном сечении мантийного клина равен $\Delta T \sim 380$ К. Следует отметить, что в неньютоновской модели мантийного клина в зонах субдукции Адриатической [2], Амурской [3] и Черноморской [4, 5, 17] литосферных микроплит происходит конвекция в мантийном клине и зоны аномального теплового потока оказываются более локализованными, а средний коэффициент вязкости ниже [2–5, 17], чем полученный в настоящей работе. Оценка скорости субдукции Черноморской литосферной микроплиты под Крымский полуостров ($V = 3$ мм-год⁻¹) приблизительно в три раза превышает полученную оценку в работе [12].

Выводы

В случае пологой субдукции предложенная простая аналитическая модель выноса диссипативного тепла из мантийного клина к дневной поверхности позволяет объяснить наблюдаемое расположение зоны 2D аномального теплового потока и величину его мантийной составляющей. При средней вязкости $2 \cdot 10^{23}$ Па-с модельные скорости субдукции Амурской и Адриатической плит хорошо согласуются со скоростями субдукции, определенными современными геодезическими наблюдениями. Скорость субдукции Черноморской микроплиты под Крымский полуостров, которая ранее наблюдениями не определялась, в предложенной модели составляет в 3 мм в год. В приближении жидкости с постоянной вязкостью модель позволяет оценить средний коэффициент вязкости материала мантии в $2 \cdot 10^{23}$ Па-с. Значение скорости субдукции Черноморской литосферной микроплиты приблизительно в три раза превышает единственное независимое значение, полученное другими авторами по распределению осадков на дне Черного моря.

Авторы искренне благодарят анонимных рецензентов журнала за большой труд по исправлению недостатков этой статьи.

Литература

1. Гаврилов С. В. Исследование механизма формирования островных дуг и тылового раздвигания литосферы // Геофизические исследования. 2014. Т. 15. № 4. С. 35–43.
2. Гаврилов С. В., Харитонов А. Л. О формировании аномального теплового потока в бассейне Паннония и зоне Вардар при субдукции Адриатической плиты под Евроазиатскую плиту // International Journal of Professional Science. 2021. № 9. С. 27–39. DOI: 10.54092/25421085_2021_9_27
3. Гаврилов С. В., Харитонов А. Л. О субдукции Амурской микроплиты и конвективном механизме выноса диссипативного тепла и углеводородов из мантийного клина в Охотском море к востоку от острова Сахалин // Вестник Академии наук Республики Башкортостан. 2022. Т. 42. № 1(105). С. 5–12. DOI: 10.24412/1728-5283_2022_1_5-12
4. Гаврилов С. В., Харитонов А. Л. Оценка нефтегазовых перспектив Крымского полуострова как результат геодинамического моделирования зоны субдукции Восточно-Черноморской плиты под литосферу Скифской плиты // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Сер. География, Геология. 2021. Т. 7. № 3. С. 279–291. DOI: 10.37279/2413-1717-2021-7-3-279-291
5. Гаврилов С. В., Харитонов А. Л. Геотермодинамическая модель предполагаемой палеозоны литосферной субдукции в районе Черноморской впадины и ее связь с металлогенической зональностью Крыма и Кавказа // Региональная геология и металлогения. 2021. № 87. С. 4–16. DOI: 10.52349/0869-7892-2021-87-04-16
6. Гаврилов С. В., Абботт Д. Х. Термомеханическая модель тепло- и массопереноса в окрестности зоны субдукции // Физика Земли. 1999. № 12. С. 3–12.
7. Карта теплового потока территории СССР и сопредельных районов / Я. Б. Смирнов (ред.). М.: ГУГК, 1980.
8. Г. Ш. Ниметулаева Особенности воздействия природных факторов и их влияние на формирование оползневых процессов Крыма // Культура народов Причерноморья. 2006. № 83. С. 110–113.
9. Сорохтин О. Г., Ушаков С. А. Развитие Земли. Москва: Изд-во Московского университета, 2002. 506 с.
10. Теркотт Д. Л., Шуберт Дж. Геодинамика. М.: Мир, 1985. 732 с.
11. Уэда С. Новый взгляд на Землю. М.: Мир, 1980. 216 с.
12. Ушаков С. А., Галушкин Ю. И., Иванов О. П. Природа складчатости осадков на дне Черного моря в зоне перехода к Крыму и Кавказу // Доклады АН СССР. 1977. Т. 233. № 5. С. 932–935.
13. Хуторской М. Д., Поляк Б. Г. Геотермические модели геодинамических обстановок разного типа // Геотектоника. 2014. № 1. С. 77–96.
14. Хуторской М. Д. Тепловой поток в областях структурно-геологических неоднородностей. М.: Наука, 1982. 77 с.
15. Хуторской М. Д., Абизгильдин И. Х., Падуcich В. И. Тепловой поток Мугоджар — продолжение Южно-Уральской геотермической аномалии // Геотермия сейсмичных и асейсмичных зон. М.: Наука, 1993. 400 с.
16. Chandrasekhar S. Hydrodynamic and hydromagnetic stability. Oxford, Clarendon, 1961. 654 p.
17. Gavrilov S. V., Kharitonov A. L. Distribution of metallogenic zones of the Caucasus region originated as a result of the subduction of the lithosphere of the Tethys paleo-oceanic plate under the East-European paleo-continental plate // Acta Geodynamica et Geomaterialia. 2021. V. 18. № 2(202). pp. 199-208. DOI: 10.13168/AGG.2021/0014
18. House L. S. and Jacob K. H. Thermal stresses in subducting lithosphere can explain double seismic zones // Nature. 1982. V. 295. pp. 587–589.
19. Khutorskoy M. D., Yarmoluk V. V. Heat flow, structure and evolution of the lithosphere of Mongolia // Tectonophysics. 1989. V. 164. pp. 315–322.
20. MacKenzie D. P. Speculations on the consequences and causes of plate motion // Geophys. J. of Roy. Astron. Soc. 1969. V. 18. pp. 1–32.
21. Pollack B. N., Hurter S., Johnson J. R. The New Global Heat Flow Data Compilation. EOS Trans, AGU. 1990. № 71. pp. 1604.
22. Sawkins F. J. Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics // Journ. Geol. 1972. V. 80. No. 4. pp. 377-397.



23. Toksoz M. N., Sleep N. H., Smith A. T. Evolution of the downgoing lithosphere and the mechanisms of deep focus earthquakes // *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 1973. V. 35. pp. 285–310.

24. Zharkov V. N. *Physics of the Earth's Interiors*. Duesseldorf: Lambert Academic Publishing, 2019. 438 p.

References

1. Gavrillov S. V. *Issledovanie mehanizma formirovaniya ostrovnyh dug i tyloвого razdviganiya litosfery* (Investigation of the island arc formation mechanism and the back-arc lithosphere spreading). *Geofizicheskie Issledovaniya* (Geophysical Researches), 2014, V. 15, No. 4, pp. 35–43.

2. Gavrillov S. V., Kharitonov A. L. *O formirovaniy anomal'nogo teplovogo potoka v bassejne Pannonia i v zone Vardar pri subduksii Adriaticeskoy plity pod Evraziyskuyu plitu* (On the formation of abnormal heat flow in the Pannonia basin and the Vardar zone during subduction of the Adriatic plate under the Eurasian plate). *International Journal of Professional Science*, 2021, No. 9, pp. 27–39. DOI: 10.54092/25421085_2021_9_27

3. Gavrillov S. V., Kharitonov A. L. *O subduksii Amurskoy mikroplity i konvektivnom mekhanizme vynosa dissipativnogo tepla i uglevodorodov iz mantiynogo klina v Okhotskom more k vostoku ot ostrova Sakhalin* (On the subduction of the Amur micro plate and the convective mechanism of dissipative heat and hydrocarbons removal from the mantle wedge in the Sea of Okhotsk east of Sakhalin Island). *Bulletin of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan*, 2022, V. 42, No. 1(105), pp. 5–12. DOI: 10.24412/1728-5283_2022_1_5-12

4. Gavrillov S. V., Kharitonov A. L. *Otsenka neftegazovykh perspektiv Krymskogo poluostrova kak rezul'tat geodinamicheskogo modelirovaniya zony subduksii Vostochno-Chernomorskoy plity pod litosferu Skifskoy plity* (Assessment of oil and gas prospects of the Crimean Peninsula as a result of geodynamic modeling of the subduction zone of the East Black Sea plate under the lithosphere of the Scythian plate). *Scientific notes of the V.I. Vernardsky Crimean Federal University. Ser. Geography, Geology*, 2021, V.7, No. 3, pp. 279–291. DOI: 10.37279/2413-1717-2021-7-3-279-291

5. Gavrillov S. V., Kharitonov A. L. *Geotermodynamicheskaya model predpolagaemoy paleozony litosfernoy subduksii v rayone Chernomorskoy vpadiny i ee svyaz s metallogenicheskoy zonal'nostyu Krima i Kavkaza* (Geothermodynamic model of the proposed paleozone of lithospheric subduction in the area of the Black Sea basin and its relationship with the metallogenetic zonality of the Crimea and the Caucasus). *Regional geology and metallogeny*, 2021, No. 87, pp. 4–16. DOI: 10.52349/0869-7892-2021-87-04-16

6. Gavrillov S. V., Abbott D. H. *Termo-mekhanicheskaya model' teplo- i massoperenosa v okrestnosti zony subduksii* (Thermo-mechanical model of heat- and mass-transfer in the vicinity of subduction zone). *Physics of the Earth*, 1999, V. 35, No. 12, pp. 967–976.

7. *Karta teplovogo potoka territorii SSSR i sopredel'nykh regionov* (Heat flow map of the territory of the USSR and adjacent areas). Smirnov Ya. B. (ed.). Moscow: GUGK, 1980.

8. Nimelulayeva G. Sh. *Osobennosti vozdeystviya prirodnykh faktorov i ih vliyanie na formirovanie opolznevykh protsessov Krima* (Peculiarities of the influence of natural factors and their bear-

ing on formation of the land-slide processes in Crimea). *Culture of the near Black Sea people*, 2006, No. 83, pp. 110–113.

9. Sorokhtin O.G., Ushakov S.A. *Razvitie Zemli* (Development of the Earth). Moscow: Publishing House of Moscow University, 2002, 506 p.

10. Turcott D. L., Schubert J. *Geodinamika* (Geodynamics). Moscow: Science, 1985. 732 p.

11. Uyeda S. *Novyy vzglyad na Zemlyu* (The New View of the Earth). San Francisco: W. H. Freeman Company, 1978, 217 p.

12. Ushakov S. A., Galushkin Yu. I., Ivanov O. P. *Priroda skladchatosti osadkov. na dne Chernogo morya v zone perekhoda k Krymu i Kavkazu* (The nature of folding of the sediments at the Black Sea floor in the zone of transition to Crimea and Caucasus). *Reports of the USSR Academy of Sciences*, 1977, V. 233, No. 5, pp. 932–935.

13. Khutorskoy M. D., Polyak B. G. *Geotermicheskie modeli geodinamicheskikh obstanovok raznogo tipa* (Geothermal models of geodynamic environments of different types). *Geotectonics*, 2014, No. 1, pp. 77–96.

14. Khutorskoy M. D. *Teplovoy potok v oblastiakh strukturalno-geologicheskikh neodnorodnostey* (Heat flow in the areas of structural and geological heterogeneities). Moscow: Nauka, 1982, 79 p.

15. Khutorskoy M. D., Abizgil'din I.Kh., Paduchikh V. I. *Teplovoy potok Mugodjar — prodoljenie Yujno-Uralskoy geotermicheskoy anomalii. Geotermya seysmichnikh i aseismichnikh zon* (Thermal flow Mugodjar — continuation of South Ural geothermal anomaly. Geothermy of seismic and aseismic zones). Moscow: Nauka, 1993, 400 p.

16. Chandrasekhar S. *Hydrodynamic and hydromagnetic stability*. Oxford, Clarendon, 1961, 654 p.

17. Gavrillov S. V., Kharitonov A. L. Distribution of metallogenic zones of the Caucasus region originated as a result of the subduction of the lithosphere of the Tethys paleo-oceanic plate under the East-European paleo-continental plate. *Acta Geodinamica et Geomaterialia*, 2021, V. 18, No. 2(202), pp. 199–208. DOI: 10.13168/AGG.2021/0014

18. House L. S. and Jacob K. H. Thermal stresses in subducting lithosphere can explain double seismic zones. *Nature*, 1982, V. 295, pp. 587–589.

19. Khutorskoy M. D., Yarmoluk V. V. Heat flow, structure and evolution of the lithosphere of Mongolia. *Tectonophysics*, 1989, V. 164, pp. 315–322.

20. MacKenzie D. P. Speculations on the consequences and causes of plate motion. *Geophys. J. of Roy., Astron. Soc.*, 1969, V. 18, pp. 1–32.

21. Pollack B. N., Hurter S., Johnson J. R. *The New Global Heat Flow Data Compilation*. EOS Trans, AGU, 1990, No. 71, pp. 1604.

22. Sawkins F. J. Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics. *Journ. Geol.*, 1972, V. 80, No. 4, pp. 377–397.

23. Toksoz M. N., Sleep N. H., Smith A. T. Evolution of the downgoing lithosphere and the mechanisms of deep focus earthquakes. *Geophys. J. R. Astron. Soc.* 1973, V. 35, pp. 285–310.

24. Zharkov V. N. *Physics of the Earth's Interiors*. Duesseldorf: Lambert Academic Publishing, 2019, 438 p.

Поступила в редакцию / Received 07.11.2022



Предварительная минералогическая оценка отходов углеобогащительной фабрики «Кузнецкая»

Т. А. Чикишева^{1, 2, 3}, А. Г. Комарова^{2, 3}, С. А. Прокопьев^{1, 3}, Е. С. Прокопьев^{1, 3}

¹Институт земной коры СО РАН, Иркутск
chikishevatyana@mail.ru, stayse4ka16@mail.ru, sapr100@mail.ru, prokopyeves@mail.ru

²Иркутский государственный университет, Иркутск

³ООО НПК «Спирит», Иркутск

Зачастую при решении производственных задач для общего понимания состава сырья и выбора метода его переработки достаточно провести предварительную оценку методом оптико-минералогического анализа на начальных этапах технологических изысканий, что также поможет определить вектор дальнейших исследований. Материалом первичной минералогической оценки являлась проба отходов центральной обогатительной фабрики «Кузнецкая». При проведении минералогического изучения был использован метод оптико-минералогического анализа. Отходы фабрики отнесены к техногенному минеральному сырью первой группы. Показана необходимость вовлечения отходов угледобычи в повторную комплексную переработку с обязательным проведением минералого-технологической оценки, определяющей методы подготовки сырья к переработке и технологию его обогащения. Сделан вывод, что для первичной концентрации угля из хвостов можно применить гравитационные методы обогащения.

Ключевые слова: минералогия угольных месторождений, оптико-минералогический анализ, техногенные минеральные отходы, отходы угледобычи, комплексная переработка минерального сырья.

Preliminary mineralogical assessment of the Kuznetskaya coal preparation plant wastes

T. A. Chikisheva^{1, 2, 3}, A. G. Komarova^{2, 3}, S. A. Prokopyev^{1, 3}, E. S. Prokopyev^{1, 3}

¹Institute of the Earth Crust SB RAS, *chikishevatyana@mail.ru*

²Irkutsk State University

³LCC Research and production company «Spirit»

A preliminary assessment by the optical-mineralogical analysis can often be sufficient to solve production tasks, to study the raw composition, and to choose a processing method at the initial stages of technological researches. Such an assessment will also help to determine the vector of further studies. The material for the primary mineralogical assessment was a waste sample from the Kuznetskaya Central Processing Plant. We used the method of optical-mineralogical analysis during the mineralogical study. Factory wastes are related to the technogenic mineral raw of the first group. We have shown that it is necessary to involve coal mining wastes in the comprehensive recycling with the obligatory mineralogical and technological assessment to determine methods of preparing raw for processing and technology of its enrichment. Our conclusion is that gravity processing methods can be used for the primary concentration of coal from tailings.

Keywords: *mineralogy of coal deposits, optical-mineralogical analysis, technogenic mineral wastes, coal mining wastes, comprehensive processing of mineral raw materials.*

Введение

По масштабам сырьевой базы угля Россия занимает четвертое место в мире. Значительная часть действующих шахт и разрезов находится в Кузнецком бассейне Кемеровской области — Кузбассе, который обеспечивает более половины отечественной угледобычи — 53 % в 2020 году [8] (рис. 1).

Такие объёмы угледобычи неизбежно влекут за собой формирование огромных масс горнопромышленных отходов, вызывают опасные, а порой и катастрофические изменения в экосистеме и сопровождаются разрушением литологической основы, уничтожением почвенного покрова, растительного и животного мира [2]. По данным Управления Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и кар-

тографии по Кемеровской области — Кузбассу, площадь нарушенных земель оценивается в 174.8 тыс. га, что в 12.5 раза (0.75 % площади) превышает среднероссийские показатели (0.06 %) [11]. Таким образом, проблема комплексной и безотходной переработки угольного сырья и промышленных отходов на сегодняшний день является актуальной задачей, требующей незамедлительного решения, что также соотносится с положениями «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года», утверждённой распоряжением Правительства РФ № 84-р от 25 января 2018 года [9].

В рамках комплексной научно-технической программы полного инновационного цикла «Разработка и

Для цитирования: Чикишева Т. А., Комарова А. Г., Прокопьев С. А., Прокопьев Е. С. Предварительная минералогическая оценка отходов углеобогащительной фабрики «Кузнецкая» // Вестник геонаук. 2022. 12(336). С. 44–48. DOI: 10.19110/geov.2022.12.6

For citation: Chikisheva T. A., Komarova A. G., Prokopyev S. A., Prokopyev E. S. Preliminary mineralogical assessment of the Kuznetskaya coal preparation plant wastes. Vestnik of Geosciences, 2022, 12(336), pp. 44–48, doi: 10.19110/geov.2022.12.6



Рис. 1. Распределение добычи угля между субъектами РФ, млн т [8]

Fig. 1. Distribution of coal production between the constituent entities of the Russian Federation, million tons

внедрение комплекса технологий в областях разведки и добычи твёрдых полезных ископаемых, обеспечения промышленной безопасности, биоремедиации, создания новых продуктов глубокой переработки угольного сырья при последовательном снижении экологической нагрузки на окружающую среду и рисков для жизни населения», утверждённой распоряжением Правительства Российской Федерации № 1144-р от 11 мая 2022 года, между Министерством науки и высшего образования Российской Федерации и Институтом земной коры СО РАН было заключено соглашение на проведение научно-исследовательской работы по теме «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата».

Переработка техногенных отходов является актуальной и масштабной задачей для отечественной промышленности. По сути, речь идет о создании новой отрасли, которая должна будет вовлекать во вторичный передел накопленные за многие годы техногенные отвалы и снизит количество вновь складированных отходов [1, 4, 5, 12, 13]. Помимо решения остро стоящего вопроса снижения негативного воздействия накопленных отходов на окружающую среду, внедрение соответствующих технологий должно повысить конкурентоспособность угольной промышленности и способствовать развитию регионов угледобычи [10].

Для создания технологии комплексной переработки горнопромышленных отходов необходимо тщательное изучение их вещественного состава, особенностей строения минеральных агрегатов и выявление форм нахождения потенциально опасных элементов [3]. Эту задачу невозможно решить без применения современных методов минералогического анализа с позиций двух главных направлений: технологической минералогии и динамично развивающейся в последние годы экологической минералогии, которые тесно связаны между собой. Для глубокой минералогической оценки требуется проведение детальных исследова-

ний с использованием высокоточной приборной базы, которые занимают много времени. Однако для первичной минералогической оценки, осуществления прогнозов и выбора метода предварительной концентрации минерального сырья, основанного на контрастности физических свойств минералов, достаточно использовать метод оптико-минералогического анализа, который проводится в соответствии с нормативно-методическими документами [7].

Цель статьи — показать возможности первичного минералогического анализа отходов угледобычи при оценке вероятности их вовлечения в повторную комплексную переработку.

Краткая геологическая характеристика Кузнецкого угольного бассейна

Кузнецкий угольный бассейн представляет собой угленосную толщу, которая сложена осадочными образованиями чехла платформы. В центральных частях бассейна мощность чехла составляет приблизительно 10 км, по направлению к периферийным частям мощность осадочных пород постепенно уменьшается и выклинивается на окраинах. На территории Кузнецкого бассейна выделяются следующие геолого-генетические комплексы пород:

- четвертичного возраста (Q_{3-4});
- палеогена и неогена (P и N);
- континентальных отложений мезозоя (Mz);
- континентальных угленосных отложений кольчугинской серии (P₂);
- лагунно-континентальных угленосных отложений балахонской серии (C₂₋₃-P_{1b});
- морских отложений (D₁-C_{1t+v});
- магматических горных пород (базальты, долериты, граниты, диабазы).

Угленосные отложения кольчугинской и балахонской серий представлены переслаивающейся толщей

конгломератов, гравелитов, песчаников, алевролитов, аргиллитов, известняков и угольных пластов с линзами глинистых и алевритовых известняков. Обломочные породы состоят преимущественно из кварца, полевых шпатов, эффузивов и кремнистых пород, в единичных зёрнах отмечаются обломки циркона, граната, турмалина и рутила. Цемент глинисто-кремнистый, глинисто-слюдистый или глинисто-карбонатный [6].

Материалы и методы исследования

Материалом первичной минералогической оценки являлась проба отходов центральной обогатительной фабрики «Кузнецкая» (ЦОФ «Кузнецкая») Новокузнецка. На фабрике обогащается угольное сырьё с шахт «Осинниковская», «Есаульская», «Ерунаковская-VIII», «Усковская», разреза и шахт «Распадской», а также шахты «Межегейуголь».

Минеральный состав определён методом оптико-минералогического анализа в соответствии с нормативно-методическими документами научного совета по минералогическим методам исследований (НСОММИ): № 162 «Оптико-минералогический анализ шлиховых и дробленых проб» с применением бинокулярного стереоскопического микроскопа «Микромед МС-2 ZOOM» [7]. Предварительно изучаемый материал классифицировался по классам крупности с помощью набора лабораторных сит и далее был подвергнут гравитационному фракционированию в бромформе (плотность 2.9 г/см³) и разделению тяжёлых фракций магнитом Сочнева.

Результаты и их обсуждение

Гранулометрический и минеральный состав отходов ЦОФ «Кузнецкая». Определение минерального состава исходной пробы выполнялось на классифицированном материале с предварительным гравитационным и магнитным фракционированием.

В целом качественный минеральный состав отходов ЦОФ соотносится с минеральным составом исходных угленосных отложений. Количественные данные содержания минералов и минеральных агрегатов представлены в виде круговой диаграммы (рис. 2).

По данным диаграммы видно, что основную массу пробы (78.08 %) составляют карбонатно-углистые



Рис. 2. Количественный минеральный состав пробы отходов ЦОФ «Кузнецкая»

Fig. 2. Quantitative mineral composition of a waste sample from the Kuznetskaya Processing Plant

агрегаты и обломки пород. Уголь составляет 13.50 % от всей массы пробы. На долю карбонатных минералов приходится 3.51 % и еще 2.33 % — на агрегаты карбонатных минералов с включениями угля. В небольших количествах отмечаются кварц (1.5 %) и прочие минералы: гидроксиды железа (0.17 %), магнетит (0.24 %), сульфиды (пирит, халькопирит — суммарно 0.65 %) и барит (0.01 %). В единичных зёрнах отмечены пироксены, амфиболы, эпидот, клейофан, хлорит и циркон.

Данные минералогического анализа позволяют сделать вывод, что изучаемый материал относят к техногенным минеральным отходам первой группы, т. е. сырьё сходно по своему вещественному составу и свойствам с природным [3]. Потенциально такое сырьё можно вовлечь во вторичную переработку, применяя те же методы обогащения, которые используются на обогатительной фабрике при переработке первичного сырья.

Таблица 1. Результаты гравитационного фракционирования

Table 1. Results of gravity fractionation

Фракция Fraction	Выход, % Yield, %	Качественный минеральный состав Qualitative mineral composition
Легкая (<2.9 г/см ³) Light (<2.9 g/cm ³)	67.42	Карбонаты, уголь, кварц, обломки пород, карбонат-углистые агрегаты Carbonates, coal, quartz, rock fragments, carbonate-coaly aggregates
Тяжёлая (>2.9 г/см ³) Heavy (>2.9 g/cm ³)	32.58	Магнетит, гидроксиды железа, сульфиды, карбонаты, карбонаты с примесью угля, амфиболы, пироксены, эпидот, барит, хлорит, клейофан, циркон, обломки пород Magnetite, iron hydroxides, sulfides, carbonates, carbonates with coal admixture, amphiboles, pyroxenes, epidote, barite, chlorite, cleophane, zircon, rock fragments
Итого / Total	100.00	



Рис. 3. Гистограмма распределения материала пробы по классам крупности

Fig. 3. Histogram of sample material distribution by size classes

Гранулометрическая характеристика исследуемого материала проиллюстрирована на гистограмме, приведённой на рисунке 3. Результаты гравитационного фракционирования представлены в таблице 1.

Результат гранулометрического анализа показал, что проба на 63.64 % представлена материалом крупностью более 2 мм, на диапазон крупности $-2+0.125$ мм приходится 33.88 % материала, выход шламистых классов ($-0.125+0.00$ мм) составил 2.48 %. По данным минералогического анализа, в крупных классах сосредоточены фрагменты углесодержащих обломочных и карбонатных пород и минеральные агрегаты карбонатно-углистого состава с присутствием в них обломочных зёрен кварца. В материале крупностью менее 2 мм наблюдаются как обломки углей, освобождённые от сростаний, так и их агрегаты с породообразующими минералами. Визуально наблюдаемые мономинеральные выделения угля появляются только в крупности менее 0.125 мм.

Основываясь на данных таблицы 1, можно сделать вывод, что для первичной концентрации угля из хвостов ЦОФ можно применить гравитационные методы обогащения. Однако необходимо обратить внимание на присутствие в обогащаемом материале минералов с переменной плотностью — карбонатов, которые могут распределяться как в хвосты обогащения, так и в черновые концентраты. Кроме того, в изучаемом материале есть минеральные агрегаты карбонат-углистого состава, имеющие переменные содержания в них угля и карбонатов и, как следствие, варьирующую плотность. Они могут распределяться в разные продукты обогащения в зависимости от плотности каждого отдельно взятого минерального агрегата, а также повышать зольность конечного продукта за счёт разубоживания угольного концентрата породообразующими минеральными фазами в составе обломков пород и агрегатов. Эти факторы требуют пристального внимания при подборе режимных параметров обогащения хвостов ЦОФ и, возможно, возникнет необходимость создания в технологической схеме промпроводного цикла с перспективой дальнейшего доизвлечения ценного компонента из этих продуктов.

Минералами ферро- и парамагнетиками в данной пробе являются магнетит, гидроксиды железа, пироксены и амфиболы. В изучаемой пробе они не визуализируются в сростаниях с углем и при гравитационном

обогащении не будут распределяться с ним в один продукт, поскольку обладают большей плотностью и, как следствие, контрастностью гравитационных свойств по отношению к углю. При дальнейших исследованиях возможности переработки и утилизации отвальных продуктов первичного обогащения их можно будет извлекать методами магнитной сепарации.

Очевидна также необходимость проведения подготовки такого материала к обогащению с обязательной предварительной дезинтеграцией и грохочением.

Выводы

Отходы ЦОФ «Кузнецка» отнесены к техногенному минеральному сырью первой группы. Показана необходимость вовлечения отходов угледобычи в повторную комплексную переработку с обязательным проведением минералого-технологической оценки, предваряющей разработку технологии их обогащения. Выполнено предварительное прогнозирование распределения минеральных составляющих пробы хвостов ЦОФ по продуктам обогащения. В перспективе с целью повышения комплексности переработки отходов целесообразно провести минералого-технологическую оценку хвостов обогащения отходов угледобычи с целью оценки перспективы их применения в различных отраслях народного хозяйства. Более уверенные и развёрнутые выводы можно будет сделать после проведения детального минералогического изучения с использованием арсенала современных аналитических методов исследований.

Работы выполнены в рамках КНТП Министерства науки и высшего образования РФ № 075-15-2022-1192 «Переработка хвостов угольных обогатительных фабрик с целью получения товарного угольного концентрата».

Литература

- Котова О. Б., Ожогина Е. Г., Шиенг Сан, Размыслов И. Н. Технологическая минералогия как основа комплексного освоения полезных ископаемых. Бокситы Верхне-Щугорского месторождения // Горный журнал. 2021. № 11. С. 21–27.
- Куприянов А. Н., Мананков Ю. А. Закономерности восстановления растительного покрова на отвалах Кузбасса // Сибирский лесной журнал. 2016. № 2. С. 51–58.



3. Ожогина Е. Г., Шадрунова И. В., Чекушина Т. В. Роль минералогических исследований в решении экологических проблем горнопромышленных районов // Горный журнал. 2017. № 11. С. 105–110. DOI: 10.17580/gzh. 2017.11.20

4. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Горнопромышленные отходы: минералогические особенности // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 43–49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49

5. Ожогина Е. Г., Котова О. Б. Технологическая минералогия в решении проблем комплексной переработки минерального сырья // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения — 2021) / СГКГМИ (ГТУ). Владикавказ, 2021. С. 34–38.

6. Ольховатенко В. Е. Инженерная геология угольных месторождений Кузнецкого бассейна. Томск: Изд-во Том. гос.архит.-строит. ун-та, 2014. 150 с.

7. Оптико-минералогический анализ шлиховых и дроблёных проб: Методические рекомендации № 162 / Научный совет по методам минералогических исследований (НСОММИ). М.: ВИМС, 2012. 23 с.

8. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2020 году: государственный доклад / Гл. ред. Е. И. Петров, Д. Д. Тетенькин // Государственные доклады / Минприроды России. URL: mnr.gov.ru (дата обращения: 31.10.2022).

9. Стратегия развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года. URL: y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf (government.ru) (дата обращения: 31.10.2022).

10. Сосновский С. А., Сачков В. И. Комплексная переработка техногенного углесодержащего сырья // Проблемы комплексной и экологически безопасной переработки природного и техногенного минерального сырья (Плаксинские чтения — 2021) / СГКГМИ (ГТУ). Владикавказ, 2021. С. 498–501.

11. Фотина Н. В., Емельяненко В. П., Воробьева Е. Е., Бутова Н. В., Остапова Е. В. Современные биологические методы восстановления и очистки нарушенных угледобычей земель в условиях Кемеровской области — Кузбасса // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 4. С. 869–882. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882

12. Чантурия В. А., Ожогина Е. Г., Шадрунова И. В. Задачи экологической минералогии при освоении недр Земли // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. № 5. С. 193–196.

13. Ozhogina E. G., Kotova O. B. «How technological mineralogy can solve problems of integrated processing of mineral raw», Sustainable Development of Mountain Territories, 2021, №2 (48), pp. 170–179. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-170-178

References

1. Kotova O. B., Ozhogina E. G., Shieng San, Razmyslov I. N. *Tekhnologicheskaya mineralogiya kak osnova kompleksnogo osvoeniya poleznyh iskopaemyh. Boksity Verhne-Schugorskogo mestorozhdeniya* (Technological mineralogy as the basis for the integrated development of minerals. Bauxites of the Verkhne-Schugorsk deposit). Mining Journal, 2021, No. 11, pp. 21–27.

2. Kupriyanov A. N., Manakov Yu. A. *Zakonomernosti vosstanovleniya rastitelnogo pokrova na otvalah Kuzbassa* (Patterns

of restoration of vegetation cover on the dumps of Kuzbass). Siberian Forest Journal, 2016, No.2, pp. 51–58.

3. Ozhogina E. G., Shadrunkova I. V., Chekushina T. V. *Rol mineralogicheskikh issledovaniy v reshenii ekologicheskikh problem gornopromyshlennykh rajonov* (The role of mineralogical research in solving environmental problems in mining areas). Mining Journal, 2017, No. 11, pp. 105–110. DOI: 10.17580/gzh. 2017. 11.20

4. Ozhogina E. G., Kotova O. B., Yakushina O. A. *Gornopromyshlennyye othody: mineralogicheskie osobennosti* (Mining wastes: mineralogical features). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018, No. 6, pp. 43–49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49

5. Ozhogina E. G., Kotova O. B. *Tekhnologicheskaya mineralogiya v reshenii problem kompleksnoy pererabotki mineral'nogo syr'ya* (Technological mineralogy in solving the problems of complex processing of mineral raw materials). Plaksin Readings 2021, SGKGM (GTU), Vladikavkaz, 2021, pp. 34–38.

6. Sosnovskij S. A., Sachkov V. I. *Kompleksnaya pererabotka tekhnogennoy uglezoderzhashchego syr'ya* (Complex processing of technogenic coal-containing raw materials). Plaksin Readings 2021, SGKGM (GTU), Vladikavkaz, 2021, pp. 498–501.

7. Fotina N. V., Emelyanenko V. P., Vorobeva E. E., Buтова N. V., Ostapova E. V. *Sovremennyye biologicheskiye metody vosstanovleniya i ochistki narushennykh ugledobychey zemel' v usloviyakh Kemerovskoy oblasti — Kuzbassa* (Modern biological methods of restoration and cleaning of lands disturbed by coal mining in the conditions of the Kemerovo region — Kuzbass). *Tekhnika i tekhnologiya pishchevyykh proizvodstv* (Technics and technology of food industry), 2021, V.51, No. 4, pp. 869–882. DOI: 10.21603/2074-9414-2021-4-869-882

8. Chanturiya V. A., Ozhogina E. G., Shadrunkova I. V. *Zadachi ekologicheskoy mineralogii pri osvoenii nedr Zemli* (Tasks of ecological mineralogy in the development of the subsoil of the Earth). *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh* (Physical-technical problems of development of mineral resources), 2016, No. 5, pp. 193–196.

9. Ozhogina E. G., Kotova O. B. How technological mineralogy can solve problems of integrated processing of mineral raw, Sustainable Development of Mountain Territories, 2021, No. 2 (48), pp. 170–179. DOI: 10.21177/1998-4502-2021-13-2-170-178

10. Olkhovatenko V. E. (2014) *Inzhenernaya geologiya ugolnykh mestorozhdeniy Kuznetskogo bassejna* (Engineering geology of Kuznetsk basin coal deposits), Tomsk: State Building Institute, 150 p.

11. *O sostoyanii i ispolzovanii mineralno-syrevykh resursov Rossijskoj Federacii v 2020 godu: gosudarstvennyy doklad* (Condition and use of mineral resources of Russia Federation in 2020: State report). Ed. Petrov E.I., Tetenkin D.D. http://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennyye_doklady (access date 31.10.2022).

12. *Strategiya razvitiya promyshlennosti po obrabotke, utilizacii i obvezrevivaniyu othodov proizvodstva i potrebleniya na period do 2030 goda* (Strategy of development of industry for processing, utilization and disposal of wastes till 2030). URL: y8PMkQGZLfbY7jhn6QMruaKoferAowzJ.pdf (government.ru) (access date: 31.10.2022).

13. *Optiko-mineralogicheskij analiz shlihovyykh i droblyonykh prob: Metodicheskiye rekomendacii №162* (Optical-mineralogical analysis of sediment and fractured samples: methodical recommendations No. 162). Scientific Committee for mineralogical study methods, Moscow: VIMS, 2012.

Поступила в редакцию / Received 11.11.2022



Краткое сообщение • Short communication

УДК 549.324.2:549.612(234.83)

DOI: 10.19110/geov.2022.12.7

Включения турмалина в пирите рифейских терригенных отложений Среднего Тимана**Р. И. Шайбеков, С. И. Исаенко, Е. М. Тропников**Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
shaybekov@geo.komisc.ru

Приводятся первые сведения о включениях турмалина в пирите рифейских терригенных отложений Среднего Тимана. Включения преимущественно мелкие (до 100 мкм), относятся к щелочной группе и гидрокси-подгруппе надгруппы турмалина. По химическому составу и КР-спектрам соответствуют шерлу, дравиту, реже встречаются увит и ферувит. Характер взаимоотношений турмалина с пиритом, совершенная коротко- и длиннопризматическая форма кристаллов, низкая степень окатанности позволяет предполагать их образование в момент кристаллизации пиритов.

Ключевые слова: пирит, турмалин, Средний Тиман.

Tourmaline inclusions in pyrite from Riphean terrigenous deposits of the Middle Timan**R. I. Shaybekov, S. I. Isaenko, E. M. Tropnikov**

Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article presents novel information about tourmaline inclusions in pyrite from Riphean terrigenous deposits of the Middle Timan. The inclusions are predominantly small (up to 100 μm), belong to the alkaline group and the hydroxy-subgroup of the tourmaline supergroup. In chemical composition and Raman spectra they correspond to schorl, dravite; uvite and feruvite are less common. The nature of the relationship between tourmaline and pyrite, perfect short and long prismatic shape of the crystals, and the low degree of roundness suggest that they were formed at the time of pyrite crystallization.

Keywords: pyrite, tourmaline, Middle Timan.

Введение

Турмалин — минерал, который повсеместно встречается как в аллювиальных отложениях, так и рифейских терригенных отложениях Среднего Тимана. Первые сведения о турмалине на Тимане приведены в монографии О. С. Кочеткова [7]. Им были выделены пять разновидностей турмалина (шерл, эльбаит?, индиголит, «полихромный», ахроит) для базального палеозоя и п-ва Канин и три разновидности для древних пород (шерл, «полихромный», индиголит). Коренными источниками для них определялись сланцы, кварциты, роговики, граниты и пегматиты Тимана. Кроме того, присутствие турмалина в породах и россыпях Тимана в разное время отмечали многие исследователи этого региона [4, 6, 8–10 и др.]. Большинство диагностированных турмалинов были отнесены к шерлам и дравитам. В аллювиальных отложениях Среднего Тимана турмалин встречается повсеместно, но практически никогда не образует значимых концентраций.

Минералы надгруппы турмалина образуются в широком интервале температур и давлений (РТ) — от низкотемпературных гидротермальных до магмати-

ческих и высокобарных метаморфических — и характеризуются изменчивостью химического состава. Широкий изоморфизм турмалина, в надгруппе которого насчитывается несколько десятков минеральных видов, позволяет ему быть информативным индикатором условий минералообразования и изменений РТ-условий. Обобщенную кристаллохимическую формулу турмалина можно представить в виде: $[XY_3Z_6(T_6O_{18})[BO_3]_3V_3W]$, где X — Na⁺, Ca²⁺, K⁺, □ (вакансия); Y — Li⁺, Mg²⁺, Mn²⁺, Fe^{2+/3+}, Ni²⁺, Al³⁺, Cr³⁺, V³⁺, (Ti⁴⁺); Z — Mg²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, V³⁺, Cr³⁺; T — Si⁴⁺, Al³⁺, (B³⁺); V — OH⁻, O²⁻; W — OH⁻, O²⁻, F⁻ [18–20].

В качестве объекта исследования выбраны турмалины из крупнокристаллического пирита (до 5.5 см), который был найден в 2018 году в хлорит-кварц-серицитовых сланцах среднего рифея (лунвожская свита) в районе верховьев руч. Димтемъяль и детально рассмотрен в более ранней работе [14]. Отложения, в которых обнаружен исследуемый пирит с включениями турмалина, представляют собой чередование мелкозернистых слабоизвестковистых метаалевролитов с их более тонкими слюдястыми (апоглинистыми) разностями и филлитовидными сланцами.

Для цитирования: Шайбеков Р. И., Исаенко С. И., Тропников Е. М. Включения турмалина в пирите рифейских терригенных отложений Среднего Тимана // Вестник геонаук. 2022. 12(336). С. 49–56. DOI: 10.19110/geov.2022.12.7

For citation: Shaybekov R. I., Isaenko S. I., Tropnikov E. M. Tourmaline inclusions in pyrite from Riphean terrigenous deposits of the Middle Timan. Vestnik of Geosciences, 2022, 12(336), pp. 49–56, doi: 10.19110/geov.2022.12.7

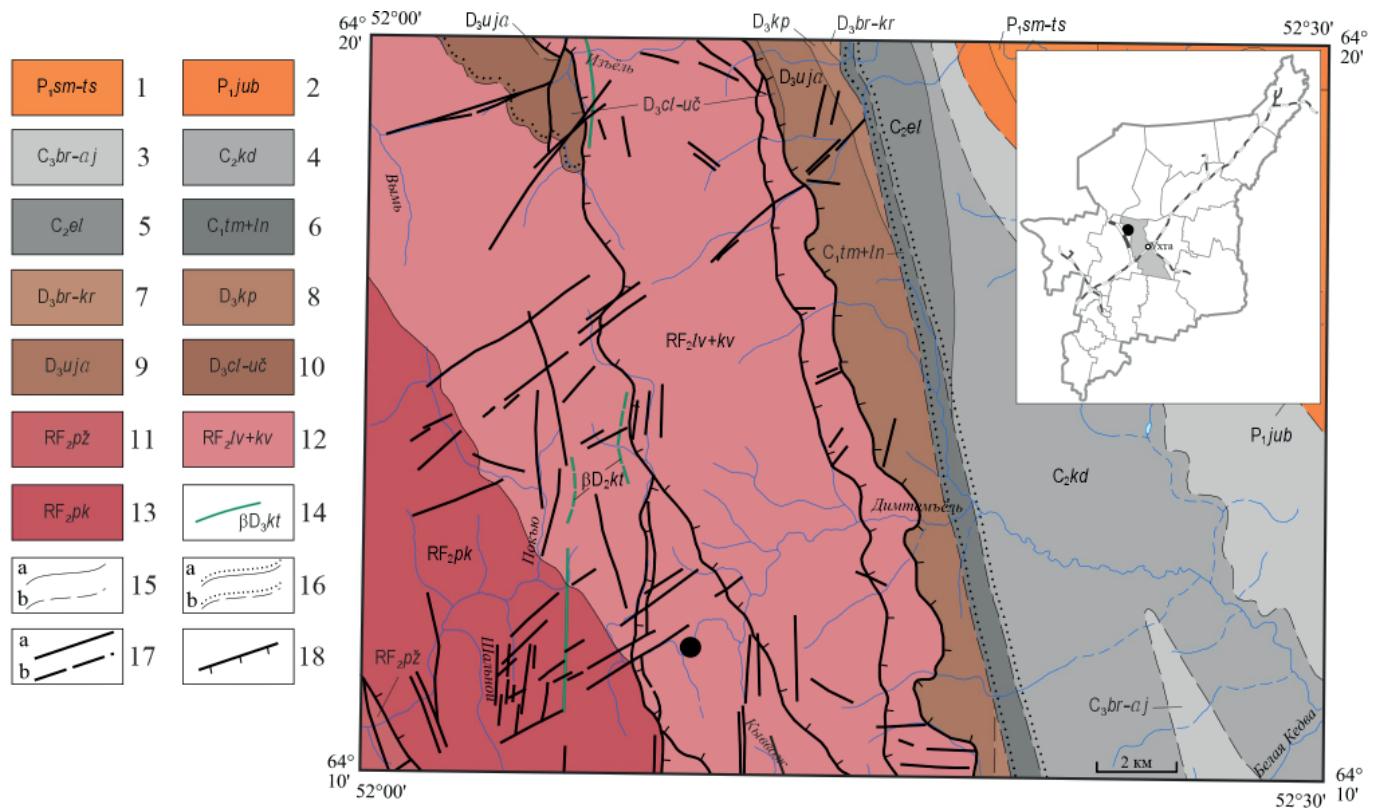


Рис. 1. Фрагмент геологической карты листа Q-39-XXXV (2020 г., данные ВСЕГЕИ) с местом пробоотбора: 1 — северо-мыльвинская и тыбьюская свиты нерасчленённые: известняки, доломиты, линзы гипса, ангидрита и глин; 2 — южно-буркемская свита: доломиты, известняки; 3 — буркемская, одесская, айювинская свиты нерасчленённые: известняки, доломиты, глины; 4 — кодачская свита: в основании — глины, аргиллиты, мергели, выше — известняки, доломиты, доломитизированные известняки, прослои мергелей и глин; 5 — елмачская свита: в основании — брекчиевидные известняки, выше — известняки, доломиты, прослои глин; 6 — тимшерская и лунвильская свиты объединённые: в нижней части — глины, прослои алевролитов, песчаников, доломитов, известняков или доломиты с прослоями глин, в верхней — глины, прослои доломитов, известняков или известняки с прослоями известковистых глин; 7 — берёзовская и каменноручейская свиты нерасчленённые: глины, прослои алевролитов, песчаников, известняков, мергелей; 8 — крайпольская свита: переслаивание известняков и глин, прослои алевролитов, песчаников, мергелей; 9 — устьярегская свита: алевролиты, песчаники, глины, известняки; 10 — цилемская и устьчиркинская свиты нерасчленённые: аргиллиты, песчаники, прослои алевролитов, глин, известняков. В основании возможны конгломераты; 11 — пижемская свита: сланцы, прослои мергелей; 12 — лунвожская и кыввожская свиты объединённые: переслаивание алевролитов, сланцев, песчаников, линзы и прослои известняков, кварцитопесчаники, переслаивание кварцитопесчаников, алевролитов сланцев; самостоятельные толщи углистых сланцев; 13 — покьюская свита: кварцитопесчаники, прослои сланцев, алевролитов, переслаивание сланцев, алевролитов и кварцитопесчаников, мелкие линзы известняков; 14 — канино-тиманский долеритовый комплекс субвулканический: силлы и дайки долеритов; 15–16 — геологические границы (а — достоверные, б — предполагаемые): 15 — согласного залегания и интрузивные контакты, 16 — несогласного залегания; 17–18 — разрывные нарушения (а — достоверные, б — предполагаемые): 17 — разломы неустановленной кинематики, 18 — надвиги

Fig. 1. Fragment of the geological map sheet Q-39-XXXV (2020, VSEGEI data) with sampling site: 1 — Severnaya Mylva and Tybyu suites, undivided: limestones, dolomites, lenses of gypsum, anhydrite and clays; 2 — South Burkem suite: dolomites, limestones; 3 — Burkem, Odessa, Ayuva suites, undivided: limestones, dolomites, clays; 4 — Kodach suite: at the base — clays, mudstones, marls. Above — limestones, dolomites, dolomitic limestones, interlayers of marls and clays; 5 — Elmach suite: brecciated limestones at the base. Above limestones, dolomites, clay interlayers; 6 — Timsher and Lunvil suites combined: in the lower part — clays, interlayers of siltstones, sandstones, dolomites, limestones or dolomites with clay interlayers. In the upper part — clays, interlayers of dolomites, limestones, or limestones with interlayers of calcareous clays; 7 — Berezov and Kamennoruchey suites, undivided: clays, interlayers of siltstones, sandstones, limestones, marls; 8 — Kraipol suite: interbedding of limestones and clays, interlayers of siltstones, sandstones, marls; 9 — Ustyarega suite: siltstones, sandstones, clays, limestones; 10 — Tsilma and Ust Chirka suites, undivided: mudstones, sandstones, interlayers of siltstones, clays, limestones. Conglomerates are possible at the base; 11 — Pizhma suite: shales, interlayers of marls; 12 — Lunvozh and Kyvvozh suites combined: interbedding of siltstones, shales, sandstones, lenses and interlayers of limestones, quartzite sandstones, interbedding of quartzite sandstones, siltstones of shale; independent strata of carbonaceous shales; 13 — Pokyu suite: quartzite sandstones, interlayers of shale, siltstones, intercalation of shale, siltstones and quartzite sandstones, small lenses of limestones; 14 — Kanin-Timan subvolcanic dolerite complex: dolerite sills and dikes; 15–16 — geological boundaries (a — reliable, b — assumed): 15 — conformable occurrence and intrusive contacts, 16 — unconformable occurrence; 17–18 — discontinuous faults (a — reliable, b — assumed): 17 — faults of unidentified kinematics, 18 — overthrusts



В настоящей работе представлены предварительные результаты изучения турмалинов на основе минералого-спектроскопических исследований. Целью работы является выявление типоморфных особенностей включений турмалина в пирите и установление возможных источников и условий его образования. Несмотря на то, что турмалин широко распространён в различных геологических средах, информация о его присутствии в сульфидах до настоящего времени отсутствовала, в том числе и на Тимане, где сульфидная минерализация в терригенных породах проявлена достаточно широко.

Краткая геологическая характеристика района и объекта исследований

Район исследования располагается на восточном склоне Вольско-Вымской гряды Среднего Тимана. В структурном плане это центральная часть Вымского блока Тиманского сложного складчато-надвигового сооружения, сложенного терригенными породами покъюской, лунвожской (объединённой лунвожской и кыквожской) свит среднерифейского возраста. В геологическом строении рассматриваемого района участвуют отложения от среднего рифея до нижней перми, с резким угловым несогласием залегающие на породах неопротерозойского фундамента. Средний рифей состоит из трех свит — пижемской, покъюской и лунвожской. Палеозойские отложения представлены франским и фаменским ярусами девона, интервалом от нижнего до верхнего карбона (тимшерская, лунвильская, елмачская, кодачская, буркемская, одесская и айювинская свиты) и нижней пермью (южнобуркемская, северомылвинская и тыбьюская свиты). Магматические комплексы в районе сложены дайками канино-тиманского долеритового комплекса, которые прорывают отложения покъюской и лунвожской свит среднего рифея.

Методы исследования

Изображения в отраженных электронах получены на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega3 LMN (SEM-изображения) в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН (ЦКП «Геонаука», Сыктывкар) с ускоряющим напряжением 20 кВ, током пучка 15 нА. Анализ химического состава минералов производился в режиме энергодисперсионного микроанализатора (EDS) с использованием INCA X-MAX 50 mm фирмы Oxford Instruments с напряжением 20 кВ, силой тока 15 нА, вакуумом 0.05 Па, временем экспозиции 500 000 импульсов, диаметром пучка 2 мкм.

Регистрация КР-спектров проводилась на высоко разрешающем микроспектрометре LabRam HR 800 (Horiba Jobin Yvon) в ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар) на базе ЦКП «Геонаука» при комнатной температуре. Условия регистрации спектров: решетка монохроматора — 600 ш/мм, конфокальное отверстие 300 мкм, щель 100 мкм, время экспозиции — 1–10 сек, количество циклов накопления сигнала — 10, мощность возбуждающего излучения Ar⁺-лазера ($\lambda=514.5$ нм) составляла 12 и 1.2 мВт, для He-Ne-лазера ($\lambda=632.8$ нм) — 2 и 0.2 мВт. В полученных спектрах изученных образцов с помощью стандартной программы обработки спектров LabSpec 5.39 были определены положения

максимумов полос с помощью свертки функций Гаусса-Лоренца (функция псевдо-Фойгта).

Формулы турмалинов рассчитывались на 15 катионов, исключая Na, Ca и K, что предполагает отсутствие вакансий в тетраэдрических и октаэдрических позициях и незначительное содержание Li (Hawthorne, Henry, 1999). Содержания B_2O_3 и H_2O рассчитаны по стехиометрии; принято, что все железо двухвалентное; количество O^{2-} и OH^- рассчитано по балансу зарядов.

Результаты исследований и их обсуждение

Турмалин представляет собой множественные коротко- и длиннопризматические кристаллы, характеризующиеся неоднородным строением (рис. 2). Включения турмалина неокатанные, угловатые, что может свидетельствовать о том, что турмалин либо не претерпел значительного переотложения и был захвачен пиритом из древних рифейских отложений, либо образовался непосредственно при кристаллизации пирита. Внутренняя часть во многих изученных кристаллах турмалина соответствует дравиту, а внешняя шерлу (рис. 2, a, b), но встречаются и чистые зерна одной разновидности или сростки (рис. 2, i). Химический состав зёрен турмалина (табл. 1) нередко неоднородный и характеризуется близостью как к шерлу, так и к дравиту, что позволяет в некоторых случаях отнести его не к крайним членам, а лишь к промежуточному ряду «шерл – дравит» (рис. 2, c, f), значительно реже встречаются увит и ферувит (рис. 2, d). Железистость турмалинов ($FeO/(FeO+MgO)$) варьирует в пределах от 0.11 до 1 при среднем значении 0.62, магнезиальность X_{Mg} ($Mg/(Mg+Fe)$) находится в интервале от 0 до 0.94 при среднем значении 0.51. Таким образом наблюдается повышенная железистость турмалинов, тогда как магнезиальность заметно ниже. По химическому составу шерлы отличаются от дравитов повышенными содержаниями Ti и пониженными Fe^{2+} и Mg.

На треугольной диаграмме Fe–Al–Mg (рис. 3) большинство точек составов турмалинов располагаются в области шерл-дравитов, при этом часть анализов попадает в поля дравитов, оксидравитов и ферошерлов. Расположение точек анализов ниже линии «шерл – дравит» может косвенно говорить о наличии Fe^{3+} в минералах.

В ходе исследований турмалина методом рамановской спектроскопии было получено 8 КР-спектров, два из них, наиболее характерных, приводятся на рис. 4. На рамановских спектрах большинства проанализированных зёрен турмалина присутствуют моды в диапазоне $120–1400$ cm^{-1} , связанные с общими особенностями алюмосиликатов и отвечающие связи «металл – кислород». Так, пики в области $213–240$ cm^{-1} отвечают за растяжение связей Mg–O и Fe–O в позиции Y, моды в области $365–379$ cm^{-1} в обеих разновидностях, присутствующие в спектрах, связаны с валентными колебаниями Al–O в позиции Z [17]. Главным отличием дравита и шерла в рамановских спектрах является диапазон $400–600$ cm^{-1} , который отсутствует в шерле, но присутствует в дравите и может быть связан с колебаниями кислорода в кольцах Si–O [17]. Моды, наблюдаемые между 640 и 740 cm^{-1} как в дравите, так

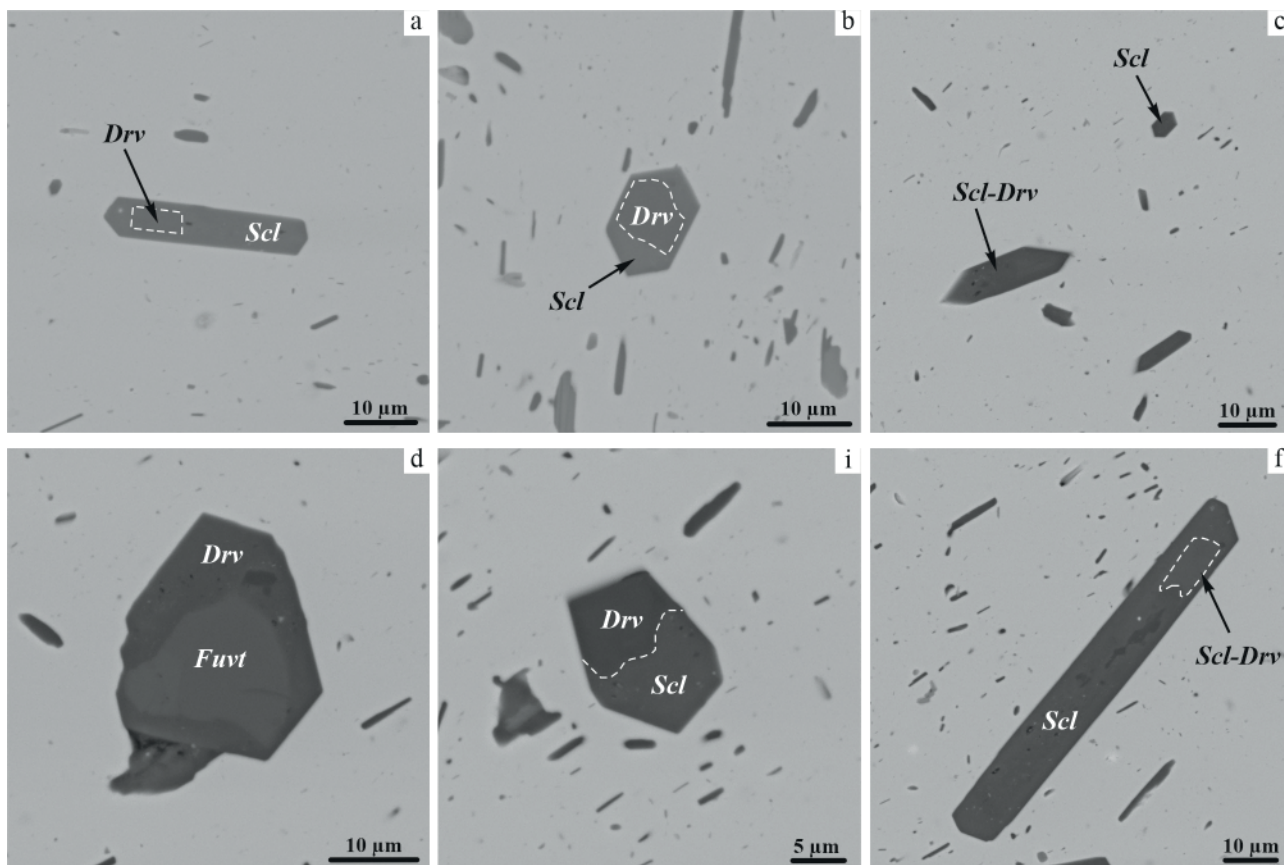


Рис. 2. Турмалин в пирите: форма и характер взаимоотношений. Drv — дравит, Scl — шерл, Scl-Drv — шерл-дравит, Fuvt — ферувит

Fig. 2. Tourmaline in pyrite: the form and nature of relationships. Drv — dravite, Scl — schorl, Scl-Drv — schorl-dravite, Fuvt — feruvite

и шерле, в основном связаны с симметричными позициями Si–O–Si в кольце Si_6O_{18} [21]. Моды в диапазоне 770–780 см^{-1} , наблюдаемые в обоих минералах, связаны с растяжением связей B–O. Область 960–1060 см^{-1} связана с растяжением связи Si–O [17].

Таким образом, в диапазоне до 1000 см^{-1} спектры турмалинов довольно схожи, но имеют и явные отличия. В последнее время в качестве дополнительной характеристики минеральной принадлежности турмалина стало возможно исследование диапазона КР-спектров выше 3500 см^{-1} [напр., 16]. Полученные нами моды в областях 3645–3633 и 3722–3742 см^{-1} соответствуют валентным колебаниям внутренней гидроксильной группы OH_1 , которые в основном зависят от занятости Na^+ в позиции X, а также Mg^{2+} в позиции Y в шерле и дравите [16]. Область 3514–3567 см^{-1} связана с валентными колебаниями внешней гидроксильной группы OH_3 .

Обсуждение. Турмалин, как известно, встречается как в магматических, так и метаморфических породах и образуется при различных РТ-условиях [20 и др.]. Установленные нами турмалины из пирита терригенных отложений лунвожской свиты среднего рифея представлены преимущественно двумя разновидностями: шерлом ($X_{\text{Mg}} < 0.50$) и дравитом ($X_{\text{Mg}} > 0.50$). Характерной типоморфной особенностью химического состава изученных турмалинов из пиритов терригенных отложений лунвожской свиты является отличие шерлов от дравитов по содержанию Ti, Fe и Mg. В работе Брусницыной и др. [4] наиболее широко пред-

ставлены данные по турмалинам из рифейских отложений Среднего Тимана (паунская, новобобровская, визингская, лунвожская, пижемская свиты), большинство проанализированных зерен отвечают дравиту (53), 5 — шерлу и 5 — оксидравиту. Все эти турмалины имеют заметное отличие по содержаниям Ca (выше), Mg (выше) и Fe^{2+} (заметно ниже) от турмалинов из крупнокристаллических пиритов. При этом содержание остальных элементов в целом сопоставимо. То есть мы наблюдаем явное преобладание железа в турмалинах из пиритов по сравнению с турмалинами из терригенных пород. Этот факт косвенно может говорить об одновременной кристаллизации турмалинов и пиритов.

Для оценки температуры кристаллизации вмещающих турмалины пиритов были использованы данные экспериментальных исследований [3]. Формула расчета подразумевает исследование содержания примеси кобальта в пирите и пирротине, но из-за отсутствия пирротина в качестве парного сульфида нами было условно использовано наличие в крупных кристаллах пирита двух разновидностей — пирита и кобальт-пирита [14], кристаллизованных в равновесных термодинамических условиях. Применение метода распределения кобальта в сульфидах позволило оценить температуры образования пиритов в диапазоне 150–220 °C, при этом температура кристаллизации кобальт-пирита явно находится на нижней границе рассчитанного температурного интервала, что подтверждается взаимоотношениями пиритов и отсутствием каких-либо включений в них. Сопоставление расчет-

Таблица 1. Химический состав турмалина из крупнокристаллических пиритов лунвожской свиты Среднего Тимана

Table 1. Chemical composition from coarse-grained pyrites of the Lunvozh suite of the Middle Timan

№	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	B ₂ O ₃ *	H ₂ O*	Σ	Ca	Na	Mg	Al	Fe ²⁺	Ti	Si	O	OH
	мас. % / wt. %										Формульные коэффициенты, Y+Z+T=15 / Formula coefficients								
1	38.19	0.42	28.70	11.86	5.26	—	2.20	10.44	1.97	99.04	0.00	0.71	1.31	5.63	1.65	0.05	6.36	1.81	2.19
2	36.22	1.42	31.23	11.04	5.43	—	1.78	10.59	2.42	100.13	0.00	0.57	1.33	6.04	1.51	0.18	5.94	1.35	2.65
3	37.57	0.39	28.59	10.72	5.30	—	2.09	10.24	1.97	96.88	0.00	0.69	1.34	5.72	1.52	0.05	6.37	1.77	2.23
4	37.62	0.57	33.21	9.39	5.50	—	1.69	10.80	2.49	101.27	0.00	0.53	1.32	6.30	1.26	0.07	6.05	1.33	2.67
5	36.30	0.60	29.56	11.55	5.45	—	2.06	10.35	2.26	98.13	0.00	0.67	1.36	5.85	1.62	0.08	6.09	1.47	2.53
6	37.24	—	32.85	18.36	0.00	—	2.23	10.58	1.07	102.33	0.00	0.71	0.00	6.36	2.52	0.00	6.12	2.83	1.17
7	37.15	0.87	30.86	11.79	5.54	—	2.21	10.69	2.31	101.42	0.00	0.70	1.34	5.91	1.60	0.11	6.04	1.50	2.50
8	38.20	0.57	33.19	10.75	5.08	—	1.82	10.93	2.36	102.89	0.00	0.56	1.20	6.22	1.43	0.07	6.07	1.50	2.50
9	35.84	—	31.87	10.39	5.37	—	1.76	10.44	2.52	98.19	0.00	0.57	1.33	6.25	1.45	0.00	5.97	1.20	2.80
10	36.62	0.32	32.25	9.37	5.24	—	1.65	10.49	2.40	98.34	0.00	0.53	1.29	6.30	1.30	0.04	6.07	1.34	2.66
11	35.50	0.68	30.75	12.08	4.85	0.26	2.04	10.38	2.17	98.71	0.05	0.66	1.21	6.07	1.69	0.09	5.94	1.57	2.43
12	38.25	—	31.38	9.07	5.50	—	1.76	10.55	2.26	98.77	0.00	0.56	1.35	6.10	1.25	0.00	6.30	1.51	2.49
13	36.56	0.34	32.47	6.57	7.17	—	2.39	10.57	2.69	98.76	0.00	0.76	1.76	6.29	0.90	0.04	6.01	1.05	2.95
14	38.46	0.54	33.21	10.81	5.08	—	1.84	10.96	2.34	103.24	0.00	0.57	1.20	6.21	1.43	0.06	6.10	1.53	2.47
15	36.64	2.56	30.77	10.99	5.76	—	2.33	10.73	2.23	102.01	0.00	0.73	1.39	5.87	1.49	0.31	5.93	1.59	2.41
16	38.78	0.89	31.74	3.08	11.21	0.66	2.65	11.14	3.30	103.45	0.11	0.80	2.61	5.84	0.40	0.10	6.05	0.57	3.43
17	38.54	0.25	32.36	9.93	5.99	—	2.24	10.90	2.41	102.62	0.00	0.69	1.42	6.08	1.32	0.03	6.14	1.44	2.56
18	36.82	0.83	29.87	9.70	7.59	1.30	2.05	10.67	2.43	101.26	0.23	0.65	1.84	5.74	1.32	0.10	6.00	1.36	2.64
19	37.46	0.69	29.69	9.81	7.71	1.69	1.92	10.74	2.34	102.05	0.29	0.60	1.86	5.66	1.33	0.08	6.06	1.47	2.53
20	37.60	1.20	29.91	9.44	8.08	0.74	2.20	10.86	2.65	102.67	0.13	0.68	1.93	5.64	1.26	0.14	6.02	1.17	2.83
21	37.17	1.29	30.56	12.09	5.57	0.85	2.08	10.73	2.05	102.39	0.15	0.65	1.35	5.84	1.64	0.16	6.02	1.78	2.22
22	37.22	1.23	30.73	11.94	5.60	—	2.31	10.74	2.27	102.04	0.00	0.72	1.35	5.86	1.62	0.15	6.02	1.55	2.45
23	36.36	2.01	24.72	14.96	7.22	2.80	1.48	10.46	1.83	101.84	0.50	0.48	1.79	4.84	2.08	0.25	6.04	1.98	2.02
24	38.16	—	33.61	9.50	6.31	—	2.03	11.02	2.71	103.34	0.00	0.62	1.48	6.25	1.25	0.00	6.02	1.15	2.85
25	35.56	2.87	23.34	16.49	7.28	2.82	1.29	10.41	1.88	101.94	0.50	0.42	1.81	4.59	2.30	0.36	5.93	1.91	2.09

Примечание. * — расчетные значения ниже пределов обнаружения

Note. * — calculated values, — below detection limits

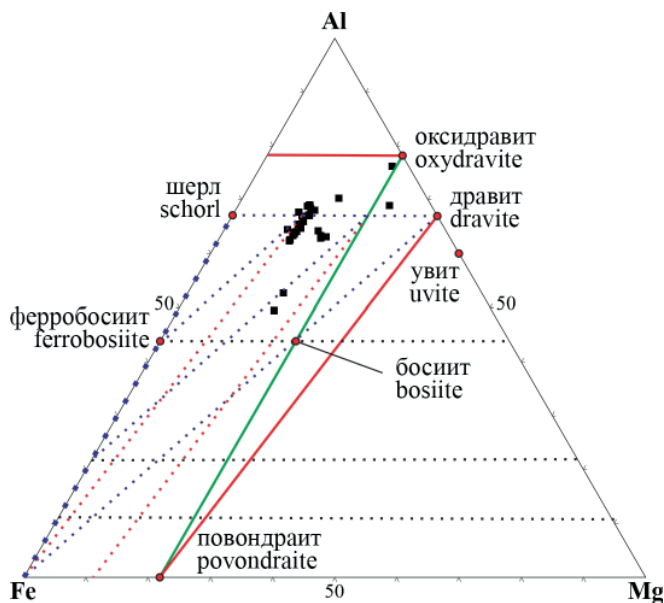


Рис. 3. Треугольная диаграмма составов изученных турмалинов на плоскости Fe–Al–Mg [22]. Зеленая линия — оксидравит-повондраитовый твердый раствор, красные линии — тренды замещения $\text{Fe}^{3+}_7\text{O}(\text{MgAl}_6)_1(\text{OH})_1$ между дравитом и повондраитом и другими минералами ряда «дравит–шерл», синие линии — тренды замещения $\text{Fe}^{3+}_9\text{O}_3(\text{Mg}_3\text{Al}_6)_1[(\text{OH})_3]_1$

Fig. 3. Triangular diagram of the compositions of the studied tourmalines on the Fe–Al–Mg plane [22]. Green line — oxydravitepovondraite s.s., red lines — $\text{Fe}^{3+}_7\text{O}(\text{MgAl}_6)_1(\text{OH})_1$ replacement trends between dravite and povondraite and other members of the dravite–schorl series, blue lines — trends of $\text{Fe}^{3+}_9\text{O}_3(\text{Mg}_3\text{Al}_6)_1[(\text{OH})_3]_1$ replacement

ных данных по пиритам с таковыми по сульфидам из пород рифейских отложений (паунская, покъюская и лунвожская свиты) Среднего Тимана показало их хорошую корреляцию. Так, в работе [5] по сероизотопным термометрам была оценена кристаллизация пирита, пирротина и халькопирита, которая происходила в интервале температур от 173 до 381 °С, в работе [11] нижний диапазон кристаллизации пирита и пирротина, по немногочисленным данным, оценивается в пределах 240–250 °С. Анализ эмпирических и экспериментальных работ [2, 13, 15 и др.] показал, что турмалины кристаллизуются в широком диапазоне температур (300–750 °С и даже 200–300 °С [1, 12]) и давлений (100–800 МПа), что не исключает низкотемпературное образование изученных турмалинов Среднего Тимана.

Заключение

Предварительные исследования включений турмалина в крупнокристаллических пиритах из алевросланцев лунвожской свиты среднего рифея показали, что они близки по своему составу к шерлу и дравиту, реже встречаются увит и ферувит. Кристаллы турмалина часто характеризуются неоднородным зональным строением, центр которых, как правило, представлен дравитом, а кайма — шерлом. Они характеризуются пониженными содержаниями Ca, Mg и повышенными Fe^{2+} , что отличает их от турмалинов из собственно терригенных отложений Среднего Тимана. Использование рамановской спектроскопии показало, что турмалины имеют характерные для них моды в интервале до 1500 cm^{-1} — для шерла (158, 236, 365,

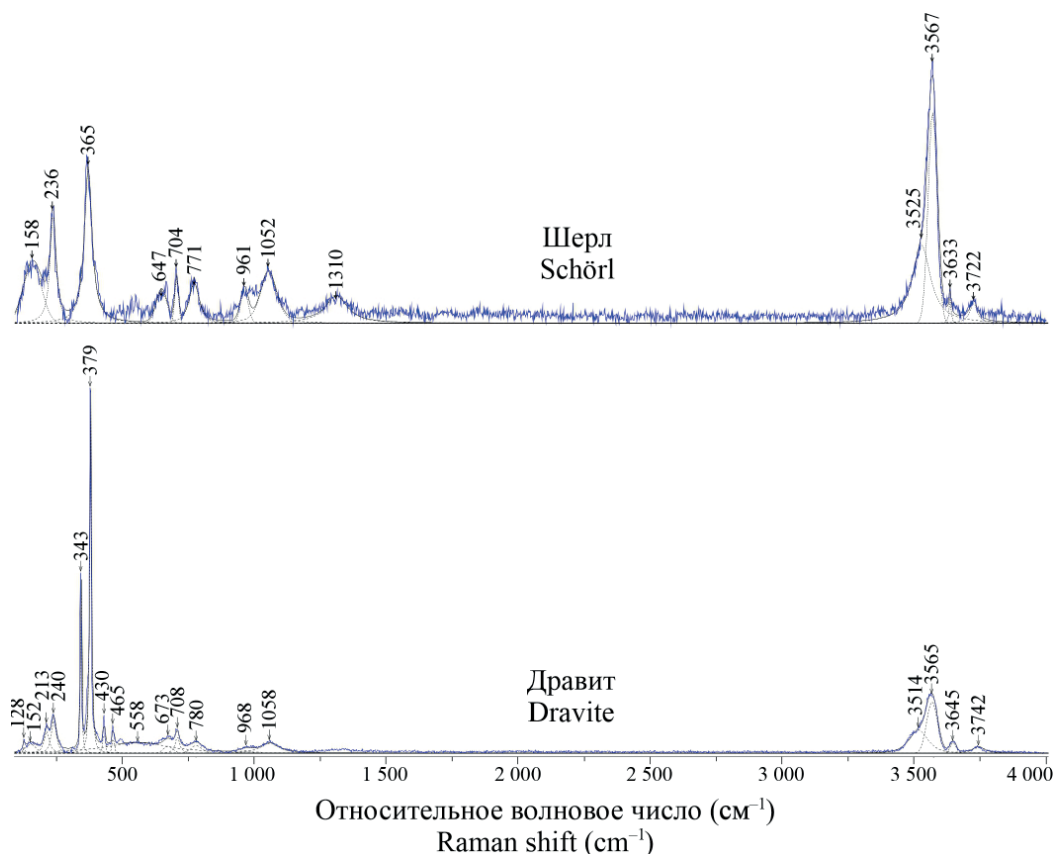


Рис. 4. КР-спектры наиболее часто встречающихся турмалинов — шерла и дравита

Fig. 4. Raman spectra of the most common tourmalines — schorl and dravite



704, 1052 см⁻¹) и дравита (213, 240, 379, 708, 1058 см⁻¹), тогда как в диапазоне от 3500 см⁻¹ моды схожи и отличаются лишь интенсивностью. Природа образования включений турмалинов в пирите, по нашему мнению, гидротермальная и относительно низкотемпературная; вероятно, их кристаллизация происходила одновременно с образованием пирита. Оценка температур образования пирита по коэффициентам распределения кобальта показала их кристаллизацию в диапазоне 150–220 °С.

Ввиду отсутствия каких-либо данных о наличии турмалина в пирите мы считаем необходимым дальнейшее изучение, а также выделение и сравнение турмалинов из вмещающих терригенных отложений с целью выяснения их генетической природы на основе комплекса методов (оптической, мессбауэровской и рамановской спектроскопии, рентгеновской дифракции и т. д.).

Авторы выражают благодарность к. г.-м. н. О. В. Граковой за помощь при подготовке материалов, а также рецензентам за замечания и рекомендации, позволившие улучшить качество статьи.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.

Литература

1. Бакшеев И. А., Плотинская О. Ю., Япаскурт В. О., Япаскурт В. О., Вигасина М. Ф., Брызгалов И. А., Грознова Е. О., Марущенко Л. И. Турмалин месторождений Биргильдинско-Томинского рудного узла, Южный Урал // Геология рудных месторождений. 2012. Т. 54. № 6. С. 540–556.
2. Бакшеев И. А., Читалин А. Ф., Япаскурт В. О., Вигасина М. Ф., Брызгалов И. А., Устинов В. И. Турмалиновая минерализация молибден-медно-порфирирового рудопроявления Ветка (Чукотка) // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2010. № 1. С. 26–37.
3. Безмен Н. И., Тихомирова В. И., Косогова В. П. Пирит-пирроотиновый геотермометр: распределение никеля и кобальта // Геохимия. 1975. № 5. С. 700–714.
4. Брусницына Е. А., Верецагин О. С., Ершова В. Б. Обломочный турмалин из рифейских терригенных отложений Среднего Тимана: химический состав и генезис // Записки Российского минералогического общества. 2022. Т. 151. № 1. С. 29–43. DOI 10.31857/S086960522010038
5. Голубева И. И., Терентьева Е. И., Майорова Т. П., Исаенко С. И. Вещественный состав рифейских черных сланцев Среднего Тимана // Региональная геология и металлогения. 2018. № 75. С. 79–89.
6. Гракова О. В. Акцессорный турмалин алмазодержащих отложений пижемской (D_{2-3pg}) и асывожской (D_{2-3as}) свит // Геология в развивающемся мире: Материалы VIII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Пермь, 2015. С. 72–74.
7. Кочетков О. С. Акцессорные минералы в древних толщах Тимана и Канина. Л.: Наука, 1967. 119 с.
8. Макеев А. Б. Типоморфные особенности минералов титановых руд Пижемского месторождения // Минералогия. 2016. № 1. С. 24–49.
9. Макеев Б. А. Сравнительный минералогический анализ тяжелой фракции современных отложений Четласского Камня и алмазоносного проявления Ичетью // Структура

и разнообразие минерального мира: Материалы международного семинара Института геологии Коми НЦ УрО РАН. Сыктывкар: Геопринт, 2008. С. 168–170.

10. Пархачева К. Г. Золото и минералы тяжелой фракции аллювиальных отложений р. Покью (западный склон Вольско-Вымской гряды, Средний Тиман) // Вестник геонаук. 2022. № 1(325). С. 21–32. DOI: 10.19110/geov.2022.1.2

11. Пархачева К. Г. Сульфидная минерализация в рифейских сланцевых толщах Кывожского района (Средний Тиман) // Минерально-сырьевая база алмазов, благородных и цветных металлов — от прогноза к добыче: Сб. тез. докл. III молодеж. науч.-образ. конф. М.: ЦНИГРИ, 2022. С. 142–145.

12. Рассомахин М. А., Белогуб Е. В., Новоселов К. А., Хворов П. В. Турмалин из поздних кварцевых жил месторождения золота Муртыкты, Республика Башкортостан // Минералогия. 2020. Т. 6. № 1. С. 69–83. DOI 10.35597/2313-545X-2020-6-1-7

13. Сеткова Т. В., Шаповалов Ю. Б., Маракушев А. А., Балицкий В. С. Экспериментальное изучение устойчивости и особенностей кристаллизации турмалина в гидротермальных растворах // ДАН. 2009. № 425 (6) С. 800–804.

14. Шайбеков Р. И., Сокерин М. Ю., Котельников В. Г., Лысюк А. Ю., Игнатьев Г. В., Тропников Е. М. Крупнокристаллический пирит Среднего Тимана // Минералогия. 2021. Т. 7. № 2. С. 50–67. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-2-2

15. Cavarretta G., Puxeddu M. Schorl-dravite-ferri-dravite tourmalines deposited by hydrothermal magmatic fluids during early evolution of the Larderello geothermal field, Italy // Economic Geology. 1990. № 85 (6). pp. 1236–1251. DOI: https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.6.1236

16. Fantini C., Tavares M. C., Krambrock K., Moreira R. L., Righi A. Raman and infrared study of hydroxyl sites in natural uvite, fluor-uvite, magnesio-foitite, dravite and elbaite tourmalines // Phys Chem Minerals. 2014. № 41. pp. 247–254

17. Gasharova B., Mihailova B., Konstantinov L. Raman spectra of various types of tourmaline // Eur. J. Mineral. 1997. № 9. pp. 935–940.

18. Hawthorne F. C., Henry D. J. Classification of the minerals of the tourmaline group. *European Journal of Mineralogy*, 1999, 11, pp. 201–215.

19. Henry D. J., Novák M., Hawthorne F., Ertl A., Dutrow B. L., Грук П., Pezzotta F. Nomenclature of the tourmaline-super-group minerals. *American Mineralogist*. 2011. V. 96. pp. 895–913.

20. Henry D. J., Dutrow B. L. Tourmaline studies through time: contributions to scientific advancements. *Journal of Geosciences*. 2018. V. 63. № 2. pp. 77–98.

21. Mihailova B., Gasharova B., Konstantinov L. Influence of non-tetrahedral cations on Si–O vibrations in complex silicates // J. Raman Spectrosc. 1996. № 27. pp. 829–833.

22. Pieczka A., Sek M. Bosiite or not bosiite? That is the question... // *Tourmaline*. 2017, Skalsky dvur, Czech Republic. pp 63–64.

References

1. Baksheev I. A., Yapaskurt V. O., Vigasina M. F., Bryzgalov I. A., Marushchenko L. I., Plotinskaya O. Y., Groznova E. O. *Tourmalin mestorozhdeniy Birgil'dinsko-Tominskogo rudnogo uzla, Yuzhnyy Ural* (Tourmaline from deposits of the Birgil'da-Tomino ore cluster, South Urals). *Geology of Ore Deposits*, 2012, V. 54, No. 6, pp. 458–473.



2. Baksheyev I. A., Chitalin A. F., Yapaskurt V. O., Viga-sina M. F., Bryzgalov I. A., Ustinov V. I. *Turmalinovaya mineralizatsiya molibden-medno-porfirovogo rudoproyavleniya vetka (Chukotka)* (Tourmaline mineralization of the molybdenum-copper-porphyrus ore occurrence Vetka (Chukotka)). Bulletin of the Moscow University. Series 4: Geology, 2010, No. 1, pp. 26–37.
3. Bezmen N. I., Tikhomirova V. I., Kosogova V. P. *Pirit-pirrotinovy geotermometr: raspredeleniye nikelya i kobal'ta* (Pyrite-pyrrotite geothermometer: distribution of nickel and cobalt). Geochemistry, 1975, No. 5, pp. 700–714.
4. Brusnitsyna Ye. A., Vereshchagin O. S., Yershova V. B. *Oblomochnyy turmalin iz rifeyskikh terrigennykh otlozheniy Srednego Timana: khimicheskiy sostav i genesis* (Clastic tourmaline from the Riphean terrigenous deposits of the Middle Timan: chemical composition and genesis). Proceedings of the Russian Mineralogical Society, 2022, V. 151, No. 1, pp. 29–43. DOI 10.31857/S0869605522010038
5. Golubeva I. I., Terent'eva E. I., Mayorova T. P., Isaenko S. I. *Veshchestvennyy sostav rifeyskikh chernykh slantsev Srednego Timana* (Material composition of the Riphean black shales of the Middle Timan). Regional geology and metallogeny, 2018, No. 75, pp. 79–89.
6. Grakova O. V. *Aktessornyy turmalin almazsoderzhashchikh otlozheniy pizhmskoy (D_{2-3pg}) i asyvvozhskoy (D_{2-3as}) svit* (Accessory tourmaline of diamond-bearing deposits of the Pizhma (D_{2-3pg}) and Asyvvozh (D_{2-3as}) suites). Geology in the Developing World: Proceedings of the VIII Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists with International Participation. Perm, 2015, pp. 72–74.
7. Kochetkov O. S. *Aktessornyye mineraly v drevnikh tolshchakh Timana i Kanina* (Accessory minerals in the ancient strata of Timan and Kanin). Leningrad: Nauka, 1967, 119 p.
8. Makeyev A. B. *Tipomorfnyye osobennosti mineralov titanovykh rud Pizhmskogo mestorozhdeniya* (Typomorphic features of minerals of titanium ores of the Pizhma deposit). *Mineralogy*, 2016, No.1, pp. 24–49.
9. Makeev B. A. *Sravnitel'nyy mineralogicheskiy analiz tyazhelyy fraktsii sovremennykh otlozheniy Chetlaskogo Kamnya i almazonosnogo proyavleniya Ichet'yu* (Comparative mineralogical analysis of the heavy fraction of modern deposits of the Chetla Kamen and the Ichetyu diamondiferous occurrence). Structure and diversity of the mineral world. Proceedings of the international seminar at the Institute of Geology, Komi SC UB RAS, Syktyvkar: Geoprint, 2008, pp. 168–170.
10. Parkhacheva K. G. *Zoloto i mineraly tyazhelyy fraktsii allyuvial'nykh otlozheniy r. Pok'yu (Zapadnyy sklon Vol'ko-Vymskoy gryady, Sredniy Timan)* (Gold and minerals of the heavy fraction of alluvial deposits of the Pokyu river. (Western slope of the Volka-Vym ridge, Middle Timan)). *Vestnik of Geosciences*, 2022, No. 1 (325), pp. 21–32. DOI: 10.19110/geov.2022.1.2.
11. Parkhacheva K. G. *Sul'fidnaya mineralizatsiya v rifeyskikh slantsevnykh tolshchakh Kyvvozhskogo rayona (Sredniy Timan)* (Sulfide mineralization in the Riphean shale strata of the Kyvvozhsky region (Middle Timan)). Mineral resource base of diamonds, precious and non-ferrous metals — from forecast to production: Collection of abstracts of the III Youth Scientific and Educational Conference. Moscow: TsNIGRI, 2022, pp. 142–145.
12. Rassomakhin M. A., Belogub Ye. V., Novoselov K. A., Khvorov P. V. *Turmalin iz pozdnykh kvartsevykh zhil mestorozhdeniya zolota Murtykty, Respublika Bashkortostan* (Tourmaline from late quartz veins of the Murtykty gold deposit, Republic of Bashkortostan). *Mineralogy*, 2020, V. 6, No. 1, pp. 69–83. DOI 10.35597/2313-545X-2020-6-1-7.
13. Setkova T. V., Shapovalov Yu. B., Marakushev A. A., Balitskiy V. S. *Eksperimental'noye izucheniye ustoychivosti i osobennostey kristallizatsii turmalina v gidrotermal'nykh rastvorakh* (Experimental study of the stability and features of tourmaline crystallization in hydrothermal solutions). *Doklady Earth Sciences*, 2009, No. 425(6), pp. 800–804.
14. Shaybekov R. I., Sokerin M. Yu., Kotel'nikov V. G., Lysyuk A. Yu., Ignat'yev G.V., Tropnikov Ye. M. *Krupnokristallicheskiy pirit Srednego Timana* (Large-crystalline pyrite of the Middle Timan). *Mineralogy*, 2021, V.7, No. 2, pp. 50–67. DOI: 10.35597/2313-545X-2021-7-2-2.
15. Cavarretta G., Puxeddu M. Schorl-dravite-ferridravite tourmalines deposited by hydrothermal magmatic fluids during early evolution of the Larderello geothermal field, Italy. *Economic Geology*, 1990, No. 85(6), pp. 1236–1251. DOI: <https://doi.org/10.2113/gsecongeo.85.6.1236>
16. Fantini C., Tavares M.C., Krambrock K., Moreira R.L., Righi A. Raman and infrared study of hydroxyl sites in natural uvite, fluor-uvite, magnesio-foitite, dravite and elbaite tourmalines. *Phys. Chem. Minerals*. 2014, No. 41, pp. 247–254
17. Gasharova B., Mihailova B., Konstantinov L. Raman spectra of various types of tourmaline. *Eur. J. Mineral.*, 1997, No. 9, pp. 935–940.
18. Hawthorne, F. C., Henry, D. J. Classification of the minerals of the tourmaline group. *European Journal of Mineralogy*, 1999, 11, pp. 201–215.
19. Henry D. J., Novák M., Hawthorne F., Ertl A., Dutrow B. L., Грык P., Pezzota F. Nomenclature of the tourmaline-super group minerals. *American Mineralogist*, 2011, V. 96, pp. 895–913.
20. Henry D. J., Dutrow B. L. Tourmaline studies through time: contributions to scientific advancements. *Journal of Geosciences*, 2018, V. 63, No. 2, pp. 77–98.
21. Mihailova B., Gasharova B., Konstantinov L. Influence of non-tetrahedral cations on Si–O vibrations in complex silicates. *J. raman Spectrosc.*, 1996, No. 27, pp. 829–833.
22. Pieczka A., Sek M. Bosiite or not bosiite? That is the question.... *Tourmaline*, 2017, Skalsky dvur, Czech Republic. pp 63–64.

Поступила в редакцию / Received 08.11.2022

**Хроника, события, факты • Chronicle, events, facts**

**Лаборатория литологии
и геохимии осадочных формаций
Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
1 июля 2023 года отметит
50-летний юбилей**

В 1973 г. была образована лаборатория литологии и осадочного рудогенеза (с 1991 г. — лаборатория литологии и геохимии осадочных формаций). За эти годы её сотрудники внесли существенный вклад в изучение состава, строения и происхождения карбонатных и терригенных отложений фанерозоя и докембрия не только в родном Тимано-Североуральском регионе, но также в Сибири, Крыму, Индии, Австралии, Северной Америке и в некоторых районах Западной Европы. Здесь появились и развивались такие направления, как диагностика палеопочв, стадийно-парагенетический анализ осадочных формаций, региональная геохимия осадочных толщ и литохимия, геология рифов и бактериальный литогенез. Лаборатория гордится своими научными сотрудниками, среди которых 5 докторов наук (В. И. Чальшев, А. И. Елисеев, Я. Э. Юдович, А. И. Антошкина, Н. Ю. Никулова) и более 10 кандидатов наук. 50 лет лаборатория организует региональные, всероссийские и международные литологические и геохимические совещания, полевые семинары и экскурсии.

В рамках юбилейных мероприятий планируется проведение полевой геологической экскурсии «Малое геологическое кольцо Республики Коми» (19–23 июня 2022 г.) и литолого-геохимического семинара (26–30 июня 2022 г.), на котором будут представлены доклады сотрудников лаборатории, приглашённых лекторов и практические занятия с образцами и шлифами пород разного возраста и происхождения. Приглашаем к участию!

**Д. г.-м. н. А. И. Антошкина,
к. г.-м. н. Е. С. Пономаренко**

**Laboratory of Lithology and Geochemistry
of Sedimentary Formations
of the Institute of geology
FRC Komi SC UB RAS will celebrate
the 50th anniversary on July 1, 2023**

The Laboratory of Lithology and Sedimentary Ore Genesis was established in 1973 (since 1991 — the Laboratory of Lithology and Geochemistry of Sedimentary Formations). Over these years, the workers significantly contributed to the knowledge of the composition, structure and origin of the carbonate and terrigenous deposits of the Phanerozoic and Precambrian not only in their native Timan-Northern Ural region, but also in India, Siberia, Crimea, Australia, North America and in some parts of Western Europe. Here such areas were formed and developed as diagnostics of paleosols, stadal-paragenetic analysis of sedimentary formations, regional geochemistry of sedimentary strata and lithochemistry, reef geology and bacterial lithogenesis. The Laboratory is proud of the researchers: 5 Doctors of Science (V. I. Chalyshev, A. I. Eliseev, Ya. E. Yudovich, A. I. Antoshkina, N. Yu. Nikulova), more than 10 Candidates of Sciences. The Laboratory organized numerous regional, national and international lithological and geochemical meetings, field seminars and excursions.

The anniversary events include a field geological excursion «The Small Geological Ring of the Komi Republic» (June 19–23, 2023), and a lithological and geochemical seminar (June 26–30, 2023) which will present reports from laboratory staff, invited lecturers and practice with samples and sections of rocks of different ages and origins. We invite you to participate!

**D. Sc. (G.-M.) A. I. Antoshkina,
Cand. Sc. (G.-M.) E. S. Ponomarenko**

*Институту геологии – 65***План конференций и семинаров на 2023 год**

1. Научно-практическое совещание «Результаты геолого-разведочных работ на нефть и газ в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции в 2019–2023 гг.: перспективы и направления дальнейших работ» — 11 апреля

2. Семинар «Геологический музей им. А. А. Чернова: вчера, сегодня, завтра» (к 55-летию Геологического музея им. А. А. Чернова) — 17 мая

3. Литологическая школа «Литология и геохимия осадочных формаций» — 27–29 июня

4. Российское совещание «Геохимия и петрография угля, горючих сланцев и битуминозных пород» — 2–5 октября

5. XXXII научная конференция «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента» — 21–23 ноября

6. XXXVII Черновские чтения — 13 декабря

*Institute of Geology – 65***Plan of conferences and seminars for 2023**

1. Scientific and practical meeting «Results of geological exploration for oil and gas in the Timan-Pechora oil and gas province in 2019–2023: prospects and directions for further work» — April 11

2. Seminar «A. A. Chernov Geological Museum: yesterday, today, tomorrow» (the 55th anniversary of the Geological Museum named after A. A. Chernov) — May 17

3. Lithological school «Lithology and geochemistry of sedimentary formations» — June 27–29

4. Russian meeting «Geochemistry and petrography of coal, oil shale and bituminous rocks» — October 2–5

5. The 32nd scientific conference «Structure, substance, history of the lithosphere of Timan-Northern Ural segment» — November 21–23

6. The 37th Chernov Readings — December 13



Указатель материалов, опубликованных в Вестнике геонаук в 2022 г.

Index of publications in Vestnik of Geosciences in 2022

Научные статьи	Номер	Стр.
Биогеосорбент «Геолекс»: внедрение технологий в практику <i>Щемелинина Т. Н., Анчугова Е. М., Котова О. Б.</i>	4	51
Бронзолитейное производство вычегодских пермян (по материалам нижневычегодского Чехтыягского могильника). <i>Астахова И. С., Савельева Э. А.</i>	4	38
Вклад Б. И. Гуслицера в изучение геологии квартера и палеолита Европейского Северо-Востока. <i>Андреичева. Л. Н., Павлов П. Ю.</i>	4	57
Включения турмалина в пирите рифейских терригенных отложений Среднего Тимана <i>Р. И. Шайбеков, С. И. Исаенко, Е. М. Тропников</i>	12	49
Геолого-плотностные модели глубинного строения в районе локальных гравитационных аномалий севера Волго-Уральской антеклизы. <i>Конанова Н. В.</i>	10	3
Геохимическая активность снега и послонная изменчивость изотопного состава кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) в снежной толще в условиях разной запыленности приземной атмосферы <i>Тентюков М. П., Белан Б. Д., Лютоев В. П., Шукуров К. А., Ивлев Г. А., Симоненков Д. В., Аршинов М. Ю., Фофонов А. В., Михайлов В. И., Бучельников В. С.</i>	10	49
Геохимическая зональность рудной залежи Ново-Учалинского колчеданного месторождения (Южный Урал, Россия). <i>Викентьев И. В., Спирина А. В.</i>	11	11
Геохимия органического вещества аноксических бассейнов. <i>Бушнев Д. А.</i>	2	3
Золото и минералы тяжелой фракции аллювиальных отложений р. Покью (западный склон Вольско-Вымской гряды, Средний Тиман) <i>Пархачева К. Г.</i>	1	21
Золото из аллювиальных отложений Пуйвинского района (Приполярный Урал) <i>Кузнецов С. К., Пархачева К. Г., Филиппов В. Н.</i>	9	21
Из опыта преподавания. IX. Энтропия выпуклого полиэдра. <i>Войтеховский Ю. Л.</i>	1	44
Из опыта преподавания. X. Правильные, полуправильные и неправильные разбиения плоскости <i>Войтеховский Ю. Л.</i>	2	46
Из опыта преподавания. XI. История и философия в курсах кристаллографии и минералогии. <i>Войтеховский Ю. Л.</i>	6	44
Изменение аминокислотного состава природных углеродистых веществ и некоторых синтетических аналогов в ряду карбонизации. <i>Шанина С. Н., Голубев Е. А., Амосова О. Е.</i>	8	25
Изотопно-геохимические характеристики минерального заполнения палеополостей в верхнедевонских-нижнекаменноугольных известняках на восточном склоне Среднего Урала (окрестности с. Першино). <i>Дуб С. А., Мизенс Г. А., Кулишов В. Н., О. Л. Петров</i>	7	32
Исследование величины аномалий теплового потока в тылу зон субдукции в зависимости от угла и скорости субдуцирующей плиты. <i>С. В. Гаврилов, А. Л. Харитонов</i>	12	38
Комбинаторное разнообразие фуллеренов C_{62} - C_{150} . <i>Войтеховский Ю. Л., Степенищikov Д. Г.</i>	9	37
Костные остатки млекопитающих с палеолитической стоянки Ушбулак (Северо-Восточный Казахстан): археологический контекст, минералого-геохимические свойства и палеоэкологические реконструкции <i>Силаев В. И., Анойкин А. А., Павленок Г. Д., Хазов А. Ф., Филиппов В. Н., Киселёва Д. В., Шанина С. Н., Макеев Б. А., Уразова К. К.</i>	4	3
Кристаллохимические особенности обогащенного стронцием аквалитоподобного минерала из Кондерского массива. <i>Расцветаева Р. К.</i>	6	38
Литология карстовых отложений разреза верхнего визе Залесской площади (северо-западная часть Оренбургской области, Россия) <i>Бояршинова М. Г., Калина Р. И.</i>	7	3
Литологическая характеристика предгребенского несогласия в разрезе ручья Сизимцелебейшор поднятия Чернова <i>И. И. Даньщикова, И. Л. Ульныров, Т. В. Майдль</i>	12	3
Математический подход к изучению процесса синтеза муллита <i>Понарядов А. В., Устюгов В. А., Котова Е. Л.</i>	11	43
Минералого-геохимические особенности руд золото-кварц-сульфидного проявления Верхнекекелецкое на Полярном Урале (кряж Манитаньрд) <i>Майорова Т. П., Ефанова Л. И., Сокерина Н. В.</i>	6	10
Минералого-геохимические свойства углей Мугунского месторождения (Иркутский угольный бассейн) <i>Джумаян Н. Р., Силаев В. И., Васильев Е. А., Хазов А. Ф., Смолева И. В., Макеев Б. А.</i>	2	19
Минералы группы атакамита из рудопоявлений на дне Атлантического океана <i>Добрецова И. Г., Яговкина М. А.</i>	2	37



«Незрелый янтарь» — кранцит — на Среднем Урале. <i>Мартыросян О. В.</i>	3	25
Нижнесерпуховские карбонатные псефитолиты центральной части гряды Чернышева <i>Сандула А. Н.</i>	7	11
Новые $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -данные долеритов Канино-Тиманской провинции внутриплитного магматизма (п-ов Канин). <i>Шмакова А. М., Куликова К. В., Травин А. В., Богатырев Л. И.</i>	6	3
Новый вид остракод рода <i>Leperditia</i> из силурийских отложений западного склона Приполярного Урала. <i>Салдин В. А.</i>	11	3
Палеогеографические обстановки осадконакопления в родионовское межледниковье в верхнем течении р. Сейды (по данным палинологического и диатомового методов) <i>Марченко-Ваганова Т. И.</i>	10	36
Первые U/Pb-данные о возрасте детритового циркона из песчаников золотоносной верхнекембрийско-нижнеордовикской алькесвожской толщи (Приполярный Урал) <i>Никулова Н. Ю., Хубанов В. Б.</i>	5	3
Перспективы нефтегазоносности нижнедевонских отложений гряды Чернышева (Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция) <i>М. С. Нечаев, Т. В. Майдль, И. С. Котик</i>	12	11
Подготовка тетраэтоксисилана для получения сферических частиц кремнезема Часть 1. Ультрафильтрация. <i>Камашев Д. В.</i>	11	25
Позднеледниково-голоценовая стратиграфия донных отложений из котловин малых изолированных озер баренцевоморского побережья (Кольский регион) <i>Толстоброва А. Н., Корсакова О. П., Толстобров Д. С.</i>	6	26
Получение нанокompозитных материалов путем восстановления соединений металлов I группы периодической системы Au, Ag в пустотах опаловой матрицы <i>Камашев Д. В., Кряжев А. А.</i>	1	33
Предварительная минералогическая оценка отходов углеобогащательной фабрики «Кузнецкая» <i>Т. А. Чикишева, А. Г. Комарова, С. А. Прокопьев, Е. С. Прокопьев</i>	12	44
Проблема асбеста с позиции прикладной минералогии. <i>Жукова В. Е., Астахова Ю. М., Сычева Н. А., Шувалова Ю. Н., Якушина О. А.</i>	10	42
Проблема строительных единиц при росте кристаллов и становление неклассических концепций кристаллообразования. <i>Асхабов А. М.</i>	11	20
Происхождение цементолитов в верхнесилурийских лагунных отложениях Северного Урала <i>Пономаренко Е. С.</i>	7	20
Пространственные закономерности позднепротерозойско-кембрийских эндогенных процессов Канино-Тимано-Печорского региона. <i>Степаненко В. И.</i>	3	16
Сейсмические исследования тектонического нарушения в зоне сочленения Кандалакшско-Двинского рифта с Архангельским выступом <i>Басакина И. М., Антоновская Г. Н., Игнатчик Е. М.</i>	2	12
Сейсмическое событие 6 января 2022 г. на территории Республики Коми <i>Носкова Н. Н., Ваганова Н. В.</i>	8	44
Сравнение моделей ^{210}Pb -датирования применительно к торфяным отложениям Европейской Субарктики России (на примере Архангельской области) <i>Яковлев Е. Ю., Кудрявцева А. А., Орлов А. С.</i>	11	35
Стратиграфический объем тоупугольгартской толщи (нижний-средний девон, Полярный Урал) <i>А. Н. Плотыцын, И. Д. Соболев, Н. А. Матвеева, Р. М. Иванова, И. В. Викентьев</i>	12	29
Строение, петрография и петрогеохимия кислых пород экструзивно-субвулканического тела южной части хребта Енганепэ (Полярный Урал) <i>Т. А. Вовчина</i>	12	20
Углеводороды-биомаркеры и палинологическая характеристика торфа Мезенско-Вычегодской равнины. <i>Бурдельная Н. С., Голубева Ю. В., Бушнев Д. А.</i>	10	11
Удельная активность и особенности вертикальной миграции стронция-90 в торфянике Мурманской области. <i>Лукошкова А. А., Яковлев Е. Ю., Орлов А. С.</i>	5	21
Физико-химические свойства трудноизвлекаемой нефти в Арктике. <i>Яценко И. Г.</i>	8	8
Физические свойства снежного покрова и механизм формирования геохимических барьеров в снежной толще. <i>Тентюков М. П., Игнатьев Г. В., Соболев И. С., Гаврилов Р. Ю.</i>	5	26
Фотокаталитический нанореактор на основе низкоразмерных структур оксидов титана <i>Понарядов А. В., Котова О. Б., Сан Шиенг</i>	1	54
Численное моделирование первичной биопродуктивности пелагических экосистем палеозоя. <i>Журавлев А. В.</i>	8	38
Шлаки из раскопок археологического памятника — городище Кобылиха (Ненецкий автономный округ). <i>Мурыгин А. М., Астахова И. С.</i>	3	31
Эволюция источников золота в процессе формирования золоторудных месторождений (на примере Восточной Якутии). <i>Кокин А. В., Кравцов Р. В.</i>	10	23



Carbon isotopy of individual aromatic compounds of petroleum for their geochemistry understanding. <i>Bushnev D. A.</i>	8	3
Complex geophysical investigations of the West Timan fault <i>Magomedova A. Sh., Udoratin V. V., Ezimova Y. E.</i>	3	3
Genetic types of corundum. <i>Shchiptsov V. V., Barnov N. G.</i>	9	3
Lithological and geochemical features of the Lower Triassic reservoirs in the north of Sorokin Swell (Timan-Pechora oil and gas-bearing province) <i>Timonina N., Ulyurov I.</i>	5	11
Organic matter, its generation potential, and the composition of the Artinskian deposits of the north of the Pre-Ural Foredeep (Timan-Pechora Province). <i>Kotik O. S., Saldin V. A.</i>	9	15
Regional carbon isotope curve and biotic events in the Silurian of the Western slope of the Subpolar Urals and Chernov Uplift. <i>Beznosova T. M., Matveev V. A.</i>	9	31
U-Pb (LA-ICP-MS) изотопные возрасты и вероятные источники детритового циркона в кварцитопесчаниках хобеинской свиты (Приполярный Урал) <i>Соболева А. А., Андреевичев В. Л., Михайленко Ю. В., Хубанов В. Б.</i>	1	4

Даты, юбилеи, поздравления

Вклад профессора А. А. Чернова в изучение карстовых явлений (к 145-летию со дня рождения). <i>Астахова И. С.</i>	7	50
Вступая в 2022 год. <i>Асхабов А. М.</i>	1	3
Настоящий геолог, талантливый преподаватель, замечательный человек (к 90-летию со дня рождения Льва Васильевича Махлаева). <i>Куликова К. В., Капитанова В. А.</i>	6	55
Рентгенограф глин (К 90-летию со дня рождения В. В. Хлыбова (1932—2008)) <i>Шушков Д.</i>	3	42
Яков Эльевич Юдович (К 85-летию со дня рождения) <i>Козырева И., Пономаренко Е.</i>	3	43

Конференции, семинары

Граница живетского и франского ярусов девона (Научно-производственное совещание). <i>Тельнова О. П.</i>	6	53
Итоги тематического литологического семинара «Литология палеокарста» <i>Антошкина А. И., Пономаренко Е. С.</i>	7	45
«Минералогия во всем пространстве сего слова». <i>Щипцов В. В., Ожогина Е. Г.</i>	5	40
Некоторые факты в изучении карста и палеокарста в Республике Коми	7	47
Первые страницы истории открытия карста в России	7	47
Разнообразие проявлений палеокарста <i>Антошкина А. И., Салдин В. А., Пономаренко Е. С., Майдль Т. В., Инкина Н. С.</i>	7	48
Российско-китайский онлайн-семинар. <i>Голубев Е. А., Котова О. Б.</i>	11	50
Сыктывкар — значимая точка для минералогической карты всего мира (Юшкинские чтения — 2022). <i>Перовский И. А.</i>	5	38
XXXI научная конференция молодых ученых «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента». <i>Вихоть А. Н.</i>	11	51

Хроника, события, факты

Новые издания	8	48
Разрез Курьядор — исчезнувшее геологическое наследие Республики Коми <i>Зарецкая Н. Е., Баранов Д. В., Луговой Н. Н., Панин А. В.</i>	11	47
Фотографии А. А. Чернова и В. А. Варсанофьевой в архиве Д. П. Григорьева. <i>Войтеховский Ю. Л.</i>	10	63
XXXVI Черновские чтения (анонс)	10	64

Редакторы издательства:
О. В. Габова, К. В. Ордин (английский)

Компьютерная верстка:
Р. А. Шуктомов

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 31.01.2023. Формат бумаги 60 × 84¹/₈. Печать RISO. Усл. п. л. 7.5. Тираж 140. Заказ 1198. 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 А. Соболевой, Ю. Глухова, В. Салдина, К. Романова.