



Vestnik of Geosciences **Вестник геонаук**

Январь
January
2021,
№ 1 (313)

Главный редактор

А. М. Асхабов

Chief Editor

A. M. Askhabov

Редакционный совет

А. И. Антошкина, Сыктывкар, Россия
М. А. Т. М. Брокманс, Тронхейм, Норвегия
И. Н. Бурцев, Сыктывкар, Россия
Д. А. Бушнев, Сыктывкар, Россия
Ю. Л. Войтеховский, Санкт-Петербург, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
И. В. Козырева, Сыктывкар, Россия
М. Комак, Любляна, Словения
В. А. Коротеев, Екатеринбург, Россия
С. В. Кривовичев, Санкт-Петербург, Россия
С. К. Кузнецов, Сыктывкар, Россия
М. Мартинс, Ору-Прету, Бразилия
Т. П. Майорова, Сыктывкар, Россия
Ж. К. Мелгарехо, Барселона, Испания
Ф. Мон, Пекин, Китай
П. Мянник, Таллин, Эстония
А. М. Пыстин, Сыктывкар, Россия
К. М. Соджа, Гамильтон, Нью-Йорк, США
О. В. Удоратина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия

Editorial Board

Anna I. Antoshkina, Syktyvkar, Russia
Maarten A.T.M. Broekmans, Trondheim, Norway
Igor N. Burtsev, Syktyvkar, Russia
Dmitry A. Bushnev, Syktyvkar, Russia
Yury L. Voytekhsy, Saint Petersburg, Russia
Alexey D. Gvishiani, Moscow, Russia
Irina V. Kozyreva, Syktyvkar, Russia
Marko Komac, Ljubljana, Slovenia
Viktor A. Koroteev, Ekaterinburg, Russia
Sergey V. Krivovichev, Saint Petersburg, Russia
Sergey K. Kuznetsov, Syktyvkar, Russia
Maximiliano de Souza Martins, Ouro Preto, Brazil
Tatyana P. Mayorova, Syktyvkar, Russia
Joan Carles Melgarejo, Barcelona, Spain
Fancong Meng, Beijing, China
Peep Männik, Tallinn, Estonia
Alexander M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Constance M. Soja, Hamilton, NY, USA
Oksana V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
Mikhail A. Fedonkin, Moscow, Russia

Редакционная коллегия

А. И. Антошкина, *Т. М. Безносова* (ответственный секретарь), *И. Н. Бурцев*, *Д. А. Бушнев*,
И. В. Козырева, *О. Б. Котова* (заместитель главного редактора), *С. К. Кузнецов*, *Т. П. Майорова*,
А. М. Пыстин, *О. В. Удоратина*

Editorial team

A. I. Antoshkina, *T. M. Beznosova* (Executive Secretary),
I. N. Burtsev, *D. A. Bushnev*, *I. V. Kozyreva*,
O. B. Kotova (Deputy Chief Editor), *S. K. Kuznetsov*,
T. P. Mayorova, *A. M. Pystin*, *O. V. Udoratina*

Технический редактор

Г. Н. Каблис

Technical Editor

G. N. Kablis

Заведующий редакцией

Т. А. Некучаева

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 (2019) — 0,381



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 (2019) — 0.381

geo.komisc.ru/vestnik

Содержание

Content

Научные статьи	Scientific articles
Палинокомплекс сынинской свиты (средний триас) из обнажений на реке Кыдзьрасью (Большесыннинская впадина, Тимано-Североуральский регион) <i>Н. В. Ильина, В. А. Жарков</i> 3	Palynological assemblage of the Synya Formation (Middle Triassic) from outcrops at the Kyzd'rasyu River, Bol'shaya Synya Depression, the Timan-Northern Urals region <i>N. V. Ilyina, V. A. Zharkov</i> 3
Кристаллическая структура и индикаторное значение потенциально нового минерала — Na-доминантного в <i>M</i> 2-позиции аналога эвдиалита (первая находка в Хибинах) <i>Р. К. Расцветова, Н. В. Чуканов, Д. В. Лисицин, К. В. Ван, К. А. Викторова</i> 14	First find of a potentially new mineral, Na-dominant at <i>M</i> 2-site eudialyte analogue: crystal structure and significance as a marker of ultraagpaitic environment <i>R. K. Rastsvetova, N. V. Chukanov, D. V. Lisitsin, K. V. Van, K. A. Viktorova</i> 14
Особенности вещественного состава песчаников таяокуяхинской свиты верхнего девона на юго-восточном склоне кряжа Канин Камень (полуостров Канин) <i>Н. Ю. Никулова, М. А. Павлова</i> 21	Specific features of sandstones of Upper Devonian Tayokuyakhinskaya Formation on southeastern slope of the Kanin Kamen range (Kanin Peninsula) <i>N. Yu. Nikulova, M. A. Pavlova</i> 21
Происхождение крупных алмазов в кимберлитах <i>В. С. Шкодзинский</i> 30	Origin of large diamonds in kimberlite <i>V. S. Shkodzinskiy</i> 30
Женщина — ученый-палеонтолог <i>О. В. Мартиросян</i> 35	Woman-scientist, paleontologist <i>O. V. Martirosyan</i> 35
Природные резервуары в карбонатных отложениях нижнего комплекса Тимано-Печорской провинции (к юбилею Т. В. Майдль) <i>Н. Н. Тимонина, И. И. Даньщикова</i> 40	Reservoirs in carbonates of the lower oil and gas-bearing complex of the Timan-Pechora Province (for the anniversary of T. V. Maydl) <i>N. N. Timonina, I. I. Danshchikova</i> 40
Хроника, события, факты	Chronicle, events, facts
Виталий Александрович Петровский (к 75-летнему юбилею) 44	Vitaly Aleksandrovich Petrovsky (the 75 th anniversary)..... 44
ICAM 2021. Welcome to Aveiro, Portugal!..... 44	ICAM 2021. Welcome to Aveiro, Portugal!..... 44
Объединенные литологические тематический и практический семинары—2021..... 47	Joint lithological thematic and practical seminars—2021 47
Международная научно-образовательная конференция «Триггерные факторы эволюции органического мира»..... 48	International scientific and educational conference «Trigger factors of the evolution of the organic world» 48

Правила
оформления
статей



Vestnik
article
Formatting

geo.komisc.ru/vestnik/authors



ПАЛИНОКОМПЛЕКС СЫНИНСКОЙ СВИТЫ (СРЕДНИЙ ТРИАС) ИЗ ОБНАЖЕНИЙ НА РЕКЕ КЫДЗЬРАСЬЮ (БОЛЬШЕСЫНИНСКАЯ ВПАДИНА, ТИМАНО-СЕВЕРОУРАЛЬСКИЙ РЕГИОН)

Н. В. Ильина¹, В. А. Жарков²

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

²ВСЕГЕИ, Сыктывкарский сектор, Сыктывкар
vladimir.a.zharkov@gmail.com

Представлены результаты палинологического изучения сынинской свиты (средний триас) в естественных выходах по берегам р. Кыдзьрасью. Дополнительно были привлечены данные по палинологии сынинских отложений из фондовых и опубликованных материалов 1960–1990-х годов.

Показано, что видовой состав палинокомплекса свиты на р. Кыдзьрасью в полной мере соответствует комплексу мiospor *Converrucosisporites conferteornatus* — *Florinites pseudostratus* и определяет среднетриасовый, предположительно ладинский, возраст вмещающих пород. По видовому составу мiospor проведена реконструкция наземной растительности. Сделан вывод о том, что в ладинском веке в пределах территории исследований преобладала флора сильно увлажнённых биотопов.

Ключевые слова: споры и пыльца, сынинская свита, средний триас, Большесынинская впадина, Тимано-Североуральский регион.

PALYNOLOGICAL ASSEMBLAGE OF THE SYNIA FORMATION (MIDDLE TRIASSIC) FROM OUTCROPS AT THE KYDZ'RASYU RIVER, BOL'SHAYA SYNIA DEPRESSION, THE TIMAN-NORTHERN URALS REGION

N. V. Ilyina¹, V. A. Zharkov²

¹Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

²Federal State Budgetary Institution «A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute», Syktyvkar sector

The results of palynological study of the Synia Formation (Middle Triassic) in outcrops along the Kyzd'rasyu River banks are presented. The published and archival results of previous palynological investigations of the Synia deposits were used as an additional record. It was shown that the species composition of the palynological assemblage (PA) of the Synia Formation on the Kyzd'rasyu River fully corresponded to the PA *Converrucosisporites conferteornatus* — *Florinites pseudostratus* and determined the Triassic, Ladinian, age of the enclosing deposits. The results of reconstruction of the growing vegetation testified to the existence of rich and diverse vegetation in the Ladinian Age on the studied territory, where the flora of highly moistened biotopes prevailed.

Keywords: spores and pollen, Synia Formation, Middle Triassic, Ladinian, the Timan-Northern Urals region.

Введение

Сынинская свита венчает разрез среднего триаса в Большесынинской впадине Предуральского краевого прогиба. История выделения свиты и эволюция суждений о её возрасте подробно изложены в ряде публикаций и суммированы в решениях IV Уральского межведомственного регионального стратиграфического совещания [7, 8].

В полном объёме сынинская свита вскрыта бурением в центральной части впадины. Стратотипическим является разрез скв. 239-Вятка (инт. 420–959 м), парастратотипическим — разрез скв. 202-Мишайга (инт. 466–1046 м). В пределах восточного борта впадины на дневную поверхность вдоль берегов рек и ручьёв бассейна р. Бол. Сыня выходит нижняя часть свиты [2, 5, 10], парастратотипами которой выбраны разрез скв. 230-Сыня в интервале 90–190 м, и обнажения 73 и 72 по В. И. Чалышеву [10] в урочище Красный Камень на р. Бол. Сыня (рис. 1).

В 2014 году в рамках госконтракта № 2/2013 «ГДП-200 листа Q-40-XXIX (Вангыро-Сынинская площадь), составление и подготовка к изданию Гостеолкарты-200 листа Q-40-XXIX (Сынинская площадь)» было проведено геологическое доизучение восточной части Большесынинской впадины с целью составления современной геологической основы для планирования геолого-разведочных работ и оценки перспектив территории на поиски полезных ископаемых. В ходе предполетной подготовки была поставлена задача по оценке перспектив титаноносности триасовых отложений в пределах листа Q-40-XXIX.

О прослоях песчаников, обогащённых магнетитом и гематитом, в ниже- и среднетриасовых породах восточного борта Большесынинской впадины (Бызовская свита и основание надкраснокаменной свиты соответственно, в их современном понимании) известно из материалов В. И. Чалышева [10]. Впоследствии было определено, что главным минералом в чёрных прослоях является ильменит. Магнетит содержится в под-

Для цитирования: Ильина Н. В., Жарков В. А. Палинокомплекс сынинской свиты (средний триас) из обнажений на реке Кыдзьрасью (Большесынинская впадина, Тимано-Североуральский регион) // Вестник геонаук. 2021. № 1(313). С. 3—13. DOI: 10.19110/geov.2021.1.1.

For citation: Ilyina N. V., Zharkov V. A. Palynological assemblage of the Synia Formation (Middle Triassic) from outcrops at the Kyzd'rasyu River, Bol'shaya Synia Depression, the Timan-Northern Urals region. Vestnik of Geosciences, 2021, 1(313), pp. 3—13, doi: 10.19110/geov.2021.1.1.

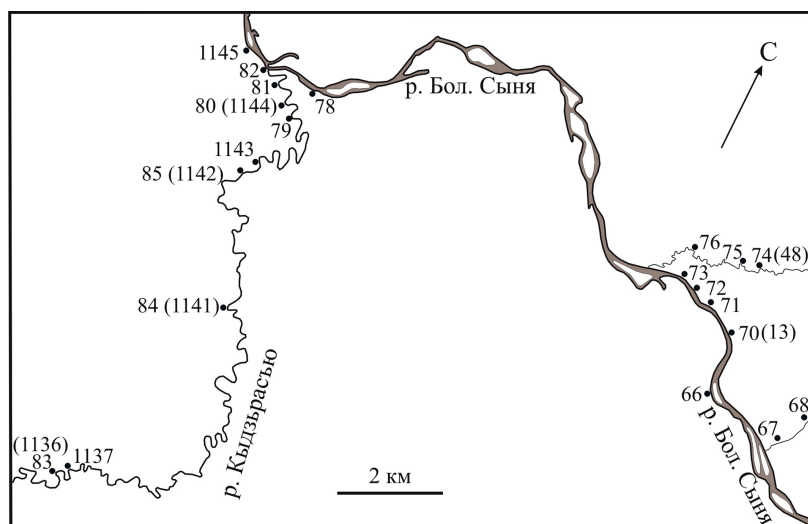


Рис. 1. Обзорная карта района исследований. Обнажения № 66–84 по [9]. Обнажения № 1136–1146, из которых В. А. Жарковым отобраны пробы на палинологический анализ (ГДП-200 листа Q-40-XXIX (Вангыро-Сынинская площадь, 2014))

Fig. 1. Map of the study area and location of the sampled outcrops. Outcrops No. 66–84 after [9]. Outcrops No. 1136–1146, where V. A. Zharkov sampled for palynological analysis (ASE-200 of sheet Q-40-XXIX (Vangyro-Syninskaya area, 2014))

чинённых количествах, но его присутствие повышает значения магнитной восприимчивости вмещающих пород, что позволяет проследить потенциально продуктивные слои с помощью магнитометрических методов.

Повышенные концентрации ильменита в нижнетриасовых отложениях Северного и Приполярного Предуралья были определены и в ходе геолого-съёмочных работ масштаба 1:200 000 (отчёты Грибанова, Проскурина, 1958; Муравьева и др., 1962, 1963)¹. Содержания ильменита, близкие к минимальным промышленным, установлены в керне поисковых скважин, пройденных в районе д. Бызовой на правом берегу р. Печоры (отчет Костюшко, 1964)². Высокие (до 100 кг/м³) содержания ильменита были установлены в ходе ГДП-200 в пробах из буро-сероцветных песчаников, выходящих на дневную поверхность по берегам реки Кыздарья (обн. 1136 и 1137 на рис. 1). Эти выходы находятся в поле развития нерасчленённых среднетриасовых отложений [10] и трассируются полями отрицательных аномалий магнитного поля (рис. 2).

Для уточнения стратиграфического положения и возраста буро-сероцветных пород, перспективных на поиски ильменита, В. А. Жарковым были опробованы триасовые отложения в обнажениях по берегам рр. Бол. Сыня, Кыздарья и руч. Вёртный. Предполагалось, что определение стратиграфического положения и фациальных условий формирования известных продуктивных образований поможет в выборе участков для постановки детальных работ.

Ниже приведены результаты исследований по определению стратиграфического положения титаносодержащих горизонтов, их возраста и фациальных условий формирования на р. Кыздарья.

¹Геологическое строение северной части листа О-40-XXIX: Отчёт Верхне-Сынянской партии №187 по работам 1957 г. / ГБУ РК «ТФИ РК». Воркута, 1958. Отв. исполн. Б. В. Грибанов, Г. Ф. Проскурин. Геологическое строение территории северной части листа Q-40-XXVIII: Отчёт Печорской ГПСР за 1961–62 гг. / ГБУ РК «ТФИ РК». Казань, 1962. Отв. исполн. И. С. Муравьёв, Л. А. Кузнецова, Б. В. Буров. Геологическое строение восточной части листа Р-40-IV: Отчёт Вуктыльской ГПСР за 1962 г. / ГБУ РК «ТФИ РК». Казань, 1963. Отв. исполн. И. С. Муравьёв, Л. А. Кузнецова и др.

²Отчёт о поисковых работах на триасовые россыпи титана в Печорском районе Коми АССР. Район среднего течения р. Печоры: Отчёт Бызовской поисковой партии за 1963–64 гг. / ГБУ РК «ТФИ РК». Ухта, 1964. Отв. исполн. В. И. Костюшко.

Литологическое строение и палеонтологическая характеристика сынинской свиты

Сынинскую свиту составляют песчаники буро-сероцветные с подчинёнными прослоями алевролитов и серых глин. В песчаниках установлены линзовидные прослои известкового песчаника, железисто-карбонатные и пиритовые конкреции, прослои угля и углистых глин, многочисленные растительные остатки.

Стратотип нижней части свиты в пределах восточного борта Большесынинской впадины, в обн. 73 и 72 на р. Бол. Сыня (по В. И. Чалышеву [10]) имеет следующее строение (снизу вверх).

Обн. 73. 1. Переслаивание серых и зеленовато-серых алевролитов и глин с редкими прослойками мелкозернистых песчаников мощностью около 20 м. В серых глинах найдены остатки листовой флоры.

2. Линза неотсортированного ожелезненного песчаника с обильными остатками рыб, единичными фрагментами наземных позвоночных, двусторонними, гастроподами, с листовой флорой, мощностью до 0.3 м.

3. Породы, аналогичные слою 1, мощностью 20 м. Выше залегает слой крепкого известкового песчаника с мелкой кривой слоистостью типа кривой слоистости прибрежного мелководья с четко выраженной волноприбойной рябью на поверхностях напластования. Песчаник перекрыт серыми тонкослоистыми глинами с присыпками тонкозернистого песка по плоскостям напластования и редкой чешуёй ганоидных рыб. Мощность слоя около 30 м.

4. Толща средне- и мелкозернистых песчаников серого, зеленовато-серого, чаще желтоватого от ожелезнения цвета. Вся толща песчаников складывается косо-горизонтально-слоистыми сериями мощностью около 1 м. Кривая слоистость диагональная и перекрёстная. Кривослоистые серии по простиранию не выдержаны, залегают в виде крупных клиньев и линз различной протяжённости. На подстилающих сериях залегают с размывом. Песчаники кривослоистых серий с глинистой галькой, углефицированными обломками древесины. Для песчаников верхней части толщи характерна более спокойная горизонтальная слоистость. По всей толще наблюдаются прослойки, обогащённые растительным детритом. Мощность около 50 м.

Обн. 72. 5. Ритмичное чередование алевролитов и глин с двумя прослоями мелкозернистых песчани-

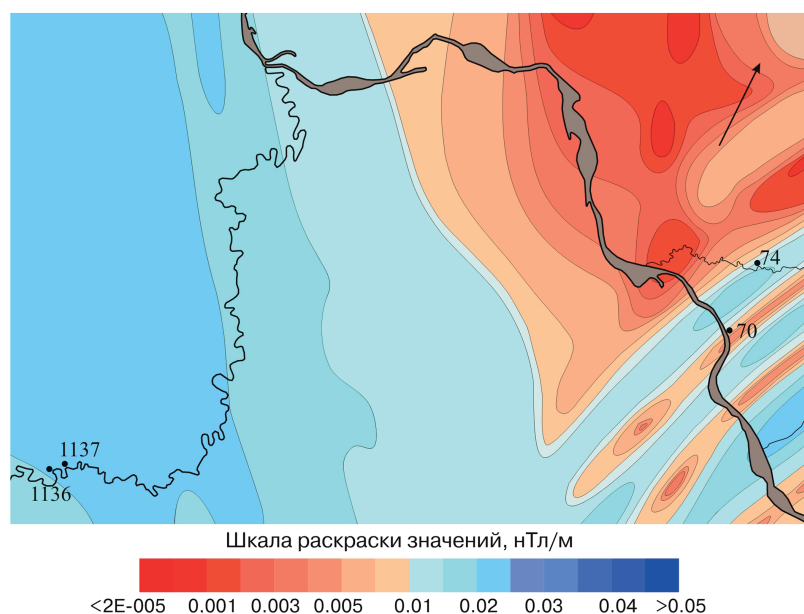


Рис. 2. Участок исследования на карте модуля полного горизонтального градиента аномального магнитного поля масштаба 1:200000, лист Q-40-XXIXX (2013 г.). Указаны номера и местонахождение известных обнажений песчаников с повышенными содержаниями ильменита

Fig. 2. Study area on the map of the full horizontal gradient of the anomalous magnetic field at a scale of 1:200000, sheet Q-40-XXIXX (2013). The numbers and locations of known sandstone outcrops with elevated ilmenite contents are indicated

ков мощностью 2.7 и 2.0 м, содержащих редкие песчано-пиритовые конкреции. В верхней части слоя отмечен тонкий прослой углистого сланца. Найдены остатки флоры. Мощность 20 м.

По мнению В. И. Чалышева, формирование охарактеризованных отложений происходило в прибрежных условиях крупного водного бассейна [10]. Можно предположить, что, скорее всего, осадконакопление происходило в условиях верхней литорали и дельты, о чём говорят следующие признаки:

- существенно песчаные породы, подчинённое значение алевролитов и глин;
- песчаники мелкозернистые, мелко- и среднезернистые, прослоями с известковым цементом, с кошой и горизонтальной слоистостью, с глинистой галькой, песчано-пиритовыми конкрециями;
- прослойки углистого сланца и прослойки с растительным детритом;
- углефицированные обломки древесины.

Предположение, высказанное В. И. Чалышевым, поддерживают данные по остаткам тетрапод. Их местонахождение в слое 2 обнажения 73 могло быть сформировано в волноприбойной зоне крупного водного бассейна. Остатки наземных позвоночных представлены неполной ключицей и зубом лабиринтодонта (земноводные). Они слегка окатаны и имеют чёрный цвет, который свидетельствует о восстановительной среде захоронения. Тонкослоистые глины с чешуёй рыб слоя 3 накапливались, вероятно, в условиях относительно глубоководной части бассейна. Определена принадлежность чешуи к палеонискам, лучепёрым ганоидным рыбам, обитавшим в морских и пресноводных бассейнах [7]. Всё вместе позволяет говорить о формировании нижней части сынинской свиты в условиях частой смены водного режима.

На основании фаунистических находок, а также по результатам палинологических исследований (определения Л. М. Варюхиной [10]) эта часть разреза была отнесена В. И. Чалышевым к верхнему триасу [10]. Впоследствии эта датировка была пересмотрена по следующим данным.

Остатки тетрапод в обнажении 73 были определены как *Labyrinthodontia* gen. indet., то есть до подкласса,

остатки рыб — как *Palaeonisci* gen. indet., то есть до отряда. Единичные двустворчатые моллюски из основания свиты (обн. 73) и верхней её части (скв. 202-Мишаяг, глуб. 595.5 м) представлены новым видом *Paleonodularia tshernyschovii* Ch. Kol., а также формами широкого стратиграфического дипазона *Pseudocardinia* sp. и *Anodontophora* sp., определёнными в открытой номенклатуре. Основой для определения возраста такие данные служить не могут.

Многочисленные остатки листовой флоры принадлежат комплексу «сцитифилловой» флоры и определяют ладинско-карнийский возраст вмещающих отложений [1].

Миоспоры из сынинских отложений были изучены наряду с Л. М. Варюхиной палинологами В. С. Дунаевой, О. П. Ярошенко, Л. П. Ильиной и Н. В. Ильиной [3].

В. С. Дунаева в скв. 230-Сыня и О. П. Ярошенко в скв. 202-Мишаяг определили среднепозднетриасовый возраст свиты. Л. П. Ильиной и Н. В. Ильиной сынинские отложения изучены в скважинах 239-Вятка, 202-Мишаяг, 233-Сыня, 238-Субор и в обнажениях на р. Бол. Сыня. Было установлено, что свита охарактеризована палинокомплексом (ПК), известным в литературе как ПК *Converrucosiporites conferteornatus* — *Florinites pseudostratus*, который определяет ладинский возраст вмещающих отложений [3, 8, фондовые материалы]. Эта датировка и была принята за основу.

Буро-сероцветные отложения по берегам р. Кыдзь-расью отнесены В. И. Чалышевым к среднему триасу [10]. Литологический состав пород приведён по описаниям В. И. Чалышева с дополнениями из первичных материалов ГС-200 1957–1964 гг. и ГДП-200 2013–2015 гг.

Отметим, что слабая обнажённость наряду с пологими залеганиями слоёв и отсутствием уверенных маркирующих горизонтов очень затрудняют корреляцию и сопоставление разрезов отдельных обнажений между собой.

Обн. 83 (1136) и 1137. Слой 1. Песчаники кварцевые, желтовато-бурые, сильно ожелезнённые, слабоцементированные, слюистые, с тонкими прослоями красновато-бурых песчаников, сцементированных железистым веществом. Мощность 6 м. В средней части

обнаружен чёрный линзовидный прослой мощностью до 15 см и видимой длиной 4 м, обогащённый ильменитом (естественный шлик). В нижней части разреза встречен обломок ствола окремнённого дерева диаметром около 10 см и длиной свыше 1 м.

Слой 2. Конгломерат мелкогалечный, сильно оже-
лезнённый, слабосцементированный грубозернистым
песком, переслаивающийся с крупногалечным конгло-
мератом. Мощность 2 м.

Выше лежат кайнозойские суглинки, желтовато-
серые, плотные, песчанистые, с угловато-окатанным
гравийно-галечным материалом и редкими небольшо-
ми валунами. Мощность 6,5–7 м.

Обн. 84 (1141). Слой 1. Песчаники желтоватые, сла-
босцементированные, в верхней части с прослоем пес-
чаника более крепкого, среднезернистые, горизонталь-
но- и косослоистые, с тонкими прослойками тонкозер-
нистых и тонкослоистых песчаников и песчаных глин с
растительными остатками, с прослойками угля чёрно-
го, блестящего, хрупкого. Мощность около 3 м.

Слой 2. Пачка серых тонкослоистых сильносло-
дистых песчаников, в верхней части с тонкими про-
слойками песчаных глин, в нижней — с прослоем
крепкого песчаника, представляющего собой, вероят-
но, тот же прослой, что и в слое 1. В нижней и средней
частях отмечаются многочисленные остатки растений.
Мощность около 4 м.

Слой 3. Необнажённый промежуток между обн. 84
и 85 около 160 м.

Обн. 85 (1142). Слой 4. Песчаники среднезерни-
стые, бурые в результате ожелезнения представляют
собой несколько косослоистых серий мощностью до
1 м. В нижней части песчаники сравнительно проч-
но сцементированные, сильно оже-
лезнённые. Здесь
же встречаются конкреции и линзы песчаника, секу-
щие косую слоистость, более прочно сцементирован-
ные. В нижнем по течению реки конце обнажения в
песчаниках отмечаются линзы различной величины,
состоящие из обломков, иногда очень крупных, зе-
леноцветных и сероцветных глинистых пород. Под
обнажением найден сульфидный желвак сложной
формы, длиной до 5 см. Мощность слоя около 15 м.
Представляется, что обломки зеленоцветных, серо-
цветных и реже пестроцветных глинистых пород при-
надлежат подстилающим среднетриасовым же отло-
жениям, то есть перемывались пестроцветы ниже-
лежащей надкраснокаменной свиты (в современном
её понимании, по [3]).

Обн. 1143 сложено пологозалегающими переслаи-
вающимися песчаниками горизонтально- и косослои-
стыми, буроватыми, слабосцементированными, види-
мой мощностью до 6 м.

Обн. 79. Слой 5. В самом верхнем по течению реки
конце обнажения выходит 2-метровая пачка желтова-
тых, сильно оже-
лезнённых песчаников, в нижней ча-
сти среднезернистых, а в верхней — мелкозернистых.
Выше залегает слой, состоящий из крупных обломков
глинистых сероцветных пород, который в самом ниж-
нем по течению реки конце обнажения покрывается
песчаниками, аналогичными всем вышеописанным
песчаникам. Мощность от 2 до 10 м.

Слой 6. Необнажённый промежуток между обна-
жениями 79 и 80 около 50 м.

Обн. 80 (1144). Слой 7. В основании — мелкозер-
нистый тонкослоистый песчаник, выше — глинисто-
песчаная сильнооже-
лезнённая порода с мелкими кар-
бонатными конкрециями и с обрывками растений пло-
хой сохранности. Мощность около 3 м.

Слой 8. Необнажённый промежуток между обна-
жениями 80 и 81 около 50 м.

Обн. 81. Слой 9. Песчаники зеленовато-серые и
желтоватые от ожелезнения, невыветрелые, голубова-
того цвета, средне- и мелкозернистые, горизонтально-
слоистые. Мощность 30 м.

Слой 10. Алевролиты зеленовато-серые с бурова-
тыми пятнами. Мощность 1,6 м.

Слой 11. Необнажённый промежуток между обна-
жениями 81 и 82 около 50 м.

Обн. 82. Слой 12. Песчаники зеленоватого цвета,
сильноглинистые, тонкозернистые, мощностью око-
ло 4 м.

Слой 13. Необнажённый промежуток около 8 м.

Слой 14. Песчаники, аналогичные слою 12, выше
переходящие в зеленоватые алевролиты. Мощность
около 6 м.

Обн. 1145. Голубовато-серые алевропесчани-
ки видимой мощностью 6 м, обнажающиеся у уреза
воды в левом борту р. Бол. Сыня, в 850 м ниже устья
р. Кыдзьрасью. Здесь же найдены сульфидные желва-
ки и стяжения, очень похожие на таковые из обнаже-
ний 84 (1141) и 1137.

Приведённое макроописание песчано-глини-
стых отложений берегов р. Кыдзьрасью позволяет,
по нашему мнению, уверенно сопоставить их с по-
родами, слагающими стратотипические разрезы сы-
нинской свиты р. Бол. Сыня и предположить, что
их формирование происходило в тех же условиях, а
именно в условиях верхней литорали и дельты древ-
ней реки. Водный бассейн располагался, вероятно,
несколько северо-западнее. Но для проведения де-
тального фациального анализа фактического мате-
риала недостаточно.

Материалы и методы

На палинологический анализ были отобраны семь
образцов из обнажений 84 (1141), 85 (1142), 80 (1144)
и 1145 (рис. 1). Техническая обработка образцов про-
ведена в ЦКП «Геонаука» по стандартной методике
ВСЕГЕИ [6]. Палиномацераты изучены на световом
биологическом микроскопе «Биолам-И». Насыщенные
миоспорами палиноспектры получены из двух образ-
цов обнажения 84 (1141), в остальных миоспоры бы-
ли немногочисленны. Изученные образцы хранятся в
лаборатории стратиграфии Института геологии ФИЦ
Коми НЦ УрО РАН.

Реконструкция растительного покрова по резуль-
татам палинологических исследований проведена по
[11, 12] и с привлечением данных по палинологии три-
асовых отложений Бореальной и Тетической областей,
опубликованных в последние годы [4, 13, 15, 16, 18–
21 и др.]. На основе анализа видового состава выяв-
ленного комплекса миоспор с помощью метода эко-
групп спороморф по [11, 14–17, 19, 20 и др.] были по-
лучены данные об условиях произрастания материн-
ских растений.



Результаты палинологических исследований

Палинокомплекс (ПК) из сынинских отложений на р. Кыдзрасью по составу входящих в него миоспор в полной мере соответствует комплексу миоспор, известному в литературе как ПК *Converrucosporites conferteornatus* — *Florinites pseudostratus*, который определяет ладинский возраст вмещающих отложений [3, 4, 9, 13, 16, 18, 19, 21 и др.].

Первой характерной чертой кыдзрасьюского ПК является количественное преобладание пыльцы над спорами (табл. 1). Второй чертой является присутствие нескольких групп миоспор.

К первой группе отнесены формы широко-стратиграфического диапозона, транзитом проходящие из нижнего триаса в верхний: это пыльца родов *Alisporites*, *Cedripites*, *Chordasporites*, *Cycadopites*, *Ephedripites*, *Falcisporites*, *Gnetaceapollenites*, *Pinuspollenites*, *Piceapollenites*, *Platysaccus*, *Striatoabieites*, *Sulcatiporites*, *Vitreisporites* и споры родов *Apiculatisporites*, *Aratrisporites*, *Calamospora*, *Carnisporites*, *Cyclotriletes*, *Cyathidites*, *Deltoidospora*, *Dictyophyllidites*, *Nevesisporites*, *Osmundacidites*.

Во вторую группу объединены таксоны, составляющие основу среднетриасовых комплексов миоспор. Немногочисленные экземпляры некоторых из них появляются в самых верхах нижнего триаса. В изученном ПК они представлены спорами родов *Converrucosporites*, *Duplexisporites*, видами *Camarozonosporites rudis* и *Lycopodiacidites kuepperi* и пыльцой родов *Accinctisporites*, *Florinites*, *Minutosaccus*, *Podocarpidites*, *Protodiploxypinus*, *Triadispora*, *Votziaceasporites*. Другую часть группы составляют таксоны, появление которых в комплексах миоспор связано с анизийским веком: это споры *Baculatisporites comaumensis*, *Convolutispora* sp., *Microreticulatisporites* sp. и пыльца *Araucariacites* sp., *Chasmatosporites* spp., *Colpectopollis ellipsoideus*, *Eucommiidites* sp., *Ovalipollis pseudoalatus*, *Samaropollenites speciosus*, *Stellapollenites thiergartii*, *Succinctisporites grandior*, *Quadraeculina anellaeformis*. Все перечисленные выше миоспоры переходят в комплексы миоспор ладинского и поздне-триасового возраста.

Из миоспор, появление которых связано с ладинским веком, в кыдзрасьюском ПК определены споры *Tigrisporites halleinis* и *Polypodiisporites* sp. и пыльца *Heliosaccus dimorphus*.

Два единичных экземпляра миоспор, найденных в кыдзрасьюском ПК, следует выделить особо: это споры *Retitriletes* cf. *clavatooides* и пыльца *Dipterella oblatinoides*. Вид *R. clavatooides* первоначально был описан из юрских отложений, известен из верхнетриасовых, рэтских, отложений Западной Европы. Находки этого вида в породах среднего триаса нуждаются в дополнительной проверке, так как его присутствие в кыдзрасьюском ПК может быть обусловлено привнесением поверхностными водами по трещинам из размывов в кайнозойскую эру юрских глин, блоки которых описаны среди мореноподобных суглинков в обрывах рр. Вёртный и Мал. Аранец. Вид *D. oblatinoides* первоначально также был описан из юрских отложений, в верхнем триасе встречается нечасто. Его находка в ПК ладинского возраста может быть неслучайной. Вид *D. oblatinoides* был определён в ПК из местонахождения тетрапод фауны *Mastodonsaurus* в букобайской свите Южного

Приуралья [3, 4, 9, 13, 18, 20 и др.]. Полный список видовых определений приведен в приложении.

Палеоботанические реконструкции

Многочисленные остатки листовой флоры из среднетриасовых пород Большесынинской впадины включены специалистами в список флоры, единый для средне-, верхнетриасовых отложений Тимано-Североуральского региона в целом, так как различия в таксономическом составе макроостатков не существенны и по латерали и по вертикали [1]. По И. А. Добрускиной, в комплексе макрофлоры ведущее положение занимают гинкгофиты, птеридоспермы, членистостебельные, в меньшем количестве представлены папоротники, еще меньше цикадофитов и хвойных.

Видовой состав миоспор кыдзрасьюского ПК позволяет предположить существование в ладинском веке более разнообразной растительности на характеризующейся территории. Авторами проведена реконструкция растительного покрова изученной территории по [11, 12, 15, 16, 19, 20 и др.]. Список флоры дополнили мохообразные, плауновидные и гнетовидные (см. таблицу, рис. 3). Изменился и список ключевых групп. В количественно преобладающей пыльцевой части кыдзрасьюского ПК доминирующей оказалась двухмешковая пыльца, продуцентами которой были хвойные. Немного меньше в ПК пыльцы, которую могли продуцировать как хвойные, так и птеридоспермы. В подчинённом объёме присутствует пыльца собственно птеридоспермов, ещё меньше пыльцы гинкгофитов, цикадофитов, гнетовидных. В споровой части преобладают споры папоротников, значительно меньше спор плауновидных, споры членистостебельных и мохообразных — в подчинённом положении (рис. 3).

Условия произрастания растений-продуцентов реконструированы на основе анализа видового состава

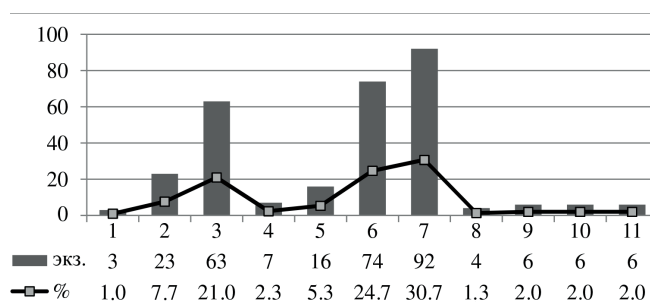


Рис. 3. Количественное распределение миоспор палинокомплекса сынинской свиты из обнажений на р. Кыдзрасью по их ботанической принадлежности [по 11, 12, 15, 16, 19, 20 и др.]:

1 — мохообразные, 2 — плауновидные, 3 — папоротники, 4 — членистостебельные, 5 — птеридоспермы, 6 — хвойные, птеридоспермы, 7 — хвойные, хвойные (?), 8 — цикадовые, 9 — цикадовые, гинкговые, беннетитовые, птеридоспермы, 10 — гнетовидные, 11 — недифференцированные голосеменные.

Fig. 3. Miospore composition in the palynological assemblage of the Synya Formation from outcrops on the Kyzd'ras'yu River, plotted quantitatively on the basis of their botanical affinity [after 11, 12, 15, 16, 19, 20, etc.]:

1 — bryophytes, 2 — lycopsids, 3 — ferns, 4 — sphenophytes, 5 — pteridosperms, 6 — conifers, pteridosperms, 7 — conifers, ?conifers, 8 — cycads, 9 — cycads, ginkgo, bennetitales, pteridosperms, 9 — gymnosperms undifferentiated



Распределение миоспор палинокомплекса сининской свиты из обнажения на реке Кыдзьрасью по их ботанической принадлежности и экогруппам, с заметками о среде обитания [по 11, 12, 14–17, 19, 20 и др.]

Species composition, botanical affinity and ecogroups of miospores in the palynological assemblage of Synya Formation from the outcrop on the Kyzd'rayu River, with environmental remarks [after 11, 12, 14–17, 19, 20, etc.]

Ботаническая принадлежность миоспор (количество экземпляров) Botanical affinity, the number of specimens is indicated in brackets	Видовой состав миоспор (количество экземпляров) Species composition of miospores, the number of specimens is indicated in brackets	Экогруппы миоспор Sporomorph EcoGroups	Среда обитания Habitat
мохообразные (3) Bryophytes (3)	<i>Nevesisporites</i> spp. (2)	влажные низины, речные берега Lowland wet, River	напочвенный покров, болото ground cover, mire
	<i>Retitriletes</i> cf. <i>clavatooides</i> (1)		не установлена unknown habit
плауновидные (23) Lycopods (23)	<i>Aratrisporites</i> spp. (17)	прибрежные области, Coastal	не установлена unknown habit
	<i>Carnisporites</i> spp. (4)	влажные низины, речные берега Lowland wet, River	не установлена unknown habit
	<i>Camarozonosporites rudis</i> (2)	речные берега River	напочвенный покров, болото, ground cover, mire
папоротники (63) Ferns (63)	<i>Apiculatisporites</i> sp. (5)	влажные низины Lowland wet	не установлена unknown habit
	<i>Baculatisporites comaumensis</i> (1) <i>Osmundacidites</i> sp. (6)		торфяные и лесные болота, peat and forest bogs
	<i>Converrucosisporites cameroni</i> (5)		напочвенный покров, болото
	<i>Polypodiisporites</i> sp. (1)		эпифиты epiphytes
	<i>Lycopodiacidites kuepperi</i> (4)	речные берега River	не установлена unknown habit
	<i>Cyclotriletes</i> sp. (1)	речные берега River	не установлена unknown habit
	<i>Duplexisporites gyratus</i> (12)	прибрежные области Coastal	берега крупных водоемов, морских лагун, прибрежные болота large water bodies and sea lagoons shores, marshes
	<i>Cyathidites</i> spp. (4) <i>Deltoidospora</i> sp. (2) <i>Dictyophyllidites</i> spp. (17)	сухие низины Lowland dry	подлесок, болото, сухие участки understory, mire, drier patches
	<i>Convolutispora</i> sp. (1)	речные берега River	не установлена unknown habit
	<i>Microreticulatisporites</i> sp. (1)	не установлена not attributed	не установлена unknown habit
членистостебельные (7) Sphenophytes (7)	<i>Tigrisporites halleinis</i> (3)	не установлена not attributed	не установлена unknown habit
	<i>Calamospora</i> sp. (7)	речные берега River	напочвенный покров, болото, берега рек ground cover, mire, river banks
птеридоспермы (16) Seed ferns (16)	<i>Falcisporites</i> spp. (3)	? внутренние области ? Hinterland	лесной покров canopy
	<i>Sulcatissporites</i> spp. (8)	речные берега River	не установлена unknown habit
	<i>Vitreisporites pallidus</i> (5)	низменность с разной степенью увлажненности Lowland wetter or drier	дельты, поймы, торфяные болота deltaic environments, floodplain, backswamp peats



хвойные, птеридоспермы (74) Conifers, seed ferns (74)	<i>Alisporites</i> spp. (56)	прибрежные области/ влажные низины/ ? внутренние области Coastal/ Lowland wet/ ? Hinterland	мангровые заросли устьев рек, болото, верхний ярус леса mangrove thickets along river mouth, mire, upper canopy
	<i>Platysaccus</i> spp. (10)	прибрежные области Coastal	не установлена unknown habit
	<i>Chordasporites</i> spp. (7)	внутренние области Hinterland	лесной покров сапору
	<i>Striatoabieites aytugii</i> (1)		не установлена unknown habit
хвойные (92) Conifers (92)	<i>Araucariacites</i> sp. (8)	прибрежные области Coastal	верхний ярус леса upper canopy
	<i>Florinites</i> spp. (14)		заросли, подобные камышовым, на дельтовой равнине reed-like vegetation on delta plain
	<i>Protodiploxylinus</i> spp. (17)	прибрежные области/ пионерная флора Coastal/Pioneers	прибрежные мангровые заросли coastal mangrove-like habit
	<i>Ovalipollis pseudoalatus</i> (7) <i>Piceapollenites</i> sp. (11) <i>Pinuspollenites</i> sp. (8) <i>Podocarpidites</i> spp. (8) <i>Triadispora obscura</i> (1) <i>Voltziaceasporites</i> spp. (5) <i>Quadraeculina anellaeformis</i> (1)	внутренние области Hinterland	не установлена unknown habit
	<i>Cedripites</i> sp. (2) <i>Dipterella oblatinoides</i> (1) <i>Minutosaccus</i> spp. (4) <i>Samaropollenites speciosus</i> (2) <i>Stellapollenites thiergartii</i> (1) <i>Succinctisporites grandior</i> (2)	? внутренние области ? Hinterland	не установлена unknown habit
цикадовые (4) Cycads (4)	<i>Chasmatosporites</i> spp. (3)	сухие низины Lowland dry	верхний ярус леса, болото upper canopy, mire
	<i>Eucommiidites</i> sp. (1)		лесной покров сапору
цикадовые, гинкговые, беннетитовые, птеридоспермы (6) Cycads, ginkgos, bennettitales, seed ferns (6)	<i>Cycadopites</i> sp. (6)	сухие низины Lowland dry	верхний ярус леса, болото, сухие участки upper canopy, mire, drier patches
гнетовидные (6) Gnetophytes (6)	<i>Gnetaceapollenites</i> sp. (3)	? влажные низины ? Lowland wet	не установлена unknown habit
	<i>Ephedripites</i> sp. (3)	? сухие низины/?внутренние области ?LD/?HL	
недифференцированные голосеменные (6) Gymnosperms undifferentiated (6)	<i>Heliosaccus dimorphus</i> (3)	сухие низины Lowland dry	не установлена unknown habit
	<i>Accinctisporites</i> sp. (2) <i>Colpectopollis ellipsoideus</i> (1)	не установлена not attributed	не установлена unknown habit

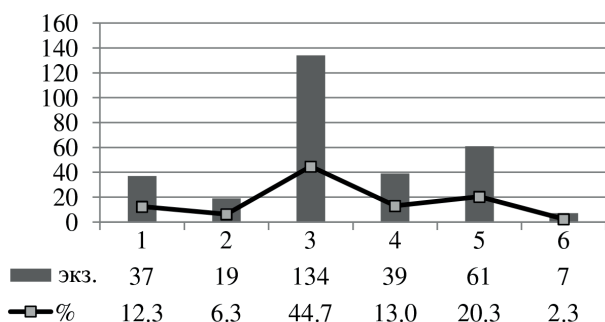


Рис. 4. Количественное распределение миоспор палинокомплекса сининской свиты из обнажений на р. Кыдз'расью по экогруппам [по 11, 14–17, 19, 20 и др.]:

1 — влажные низины и влажные низины/речные берега, 2 — речные берега, 3 — прибрежные области, прибрежные области/пионерная растительность, прибрежные области/влажные низины/внутренние области (?), 4 — сухие низины и сухие низины (?)/внутренние области (?), 5 — внутренние области, 6 — миоспоры с неустановленной принадлежностью какой-либо экогруппе

Fig. 4. Miospore composition in the palynological assemblage of the Synya Formation from outcrops on the Kydz'rasyu River, plotted quantitatively on the basis of their assignment to the sporomorph ecogroups [after 11, 14–17, 19, 20, etc.]:

1 — Lowland wet and Lowland wet/River, 2 — River, 3 — Coastal, Coastal/Pioneers, Coastal/Lowland wet/?Hinterland, 4 — Lowland dry and ?Lowland dry/?Hinterland, 5 — Hinterland, 6 — miospores, not attributed to any ecogroup

кыдз'расьюского ПК с помощью метода экогрупп спороморф (SEG-analysis) [11, 14–17, 19 20 и др.]. В основу метода положен принцип актуализма. Первоначально метод разработан для позднелюрской — раннемеловой эпох, но позднее был адаптирован к триасовому периоду [11, 16].

По установленной ботанической принадлежности и условиям произрастания материнских растений миоспоры кыдз'расьюского ПК собраны в несколько экогрупп, характеризующих определённый тип растительности [по 11, 15, 16, 19, 20 и др.]:

1) пионерная растительность — сообщество прибрежных растений-первопроходцев нестабильной окружающей среды за приливно-отливной зоной мангровых зарослей;

2) прибрежная растительность — сообщество растений прибрежной равнины или вдоль береговой линии участков, не затопленных морем, но испытывающих его воздействие;

3) сухие низины — пойменные сообщества, произрастающие на территории, заливаемой время от времени пресными водами;

4) влажные низины — сообщество пойменных террас, болот, озёр;

5) речные берега — сообщество растений, населяющих речные берега;

6) внутренние области — сообщество растений горной, холмистой местности; местности, удалённой от береговой линии; местности с низким уровнем грунтовых вод, никогда не затопляемой.

Распределение миоспор кыдз'расьюского ПК по экогруппам показано в таблице и проиллюстрировано рисунком 4, из которых следует, что в изученном ПК преобладают миоспоры растений влажных биотопов и

гораздо меньше миоспор растений, населявших сухие низины и внутренние области.

Мохообразные изученного ПК населяли влажные низины и берега рек. Среди плауновидных преобладают споры растений прибрежных областей водных бассейнов, формировавших береговые мангры.

Триасовые папоротники в целом являются индикатором тёплого (субтропического и тропического) и влажного климата. Основная часть папоротников на территории исследований заселяла влажные низины, берега рек, прибрежные области, а папоротники семейств Dipteridaceae и Cyatheaceae (споры *Cyathidites*, *Deltoidospora*, *Dictyophyllidites*) формировали, вероятно, нижний ярус лесов сухих низин.

Членистостебельные росли по берегам рек и озёр, на болотистых участках поймы.

Птеридоспермы в целом были экологически пластичными растениями и обитали в разных условиях. Произраставшие на территории исследований были в основном любителями влажных биотопов. В частности, группу кейтониювых, продуцировавших пыльцу *Vitreisporites*, многие авторы рассматривают в роли индикаторов тёплых и очень влажных обстановок.

В группе пыльцы, которую могли продуцировать как птеридоспермы, так и хвойные, велико содержание зёрен *Alisporites*. Специалисты предполагают, что их продуцентами, возможно, были крупные кустарники, формировавшие мангровые заросли вдоль устьев рек, затопляемых приливами [11].

Хвойные растения населяли преимущественно территории с холмистым рельефом и территории, удалённые от побережья, но растения, продуцировавшие пыльцу *Protodiploxypinus*, вероятно, были обитателями прибрежных территорий и мангровоподобных лесов.

Гинкофиты и цикадофиты населяли сухие равнинные территории. Для гнетовидных нами принято предположение об условиях их обитания по аналогии с современными представителями, имеющими ограниченные ареалы: гнетум распространён в тропических областях, эфедра — в засушливых областях, на склонах гор.

Из вышеизложенного следует, что в сининское время в условиях тёплого и очень тёплого гумидного климата на территории исследований произрастала разнообразная растительность, пышная и влаголюбивая. Сининская флора, по-видимому, формировалась в пределах прибрежной области крупного водного бассейна с дельтами, лиманами, мангровоподобными зарослями и прилегающей влажной низменной равниной с заболоченными участками, озёрами и болотами (рис. 5).

В кыдз'расьюском ПК большая часть двухмешковой пыльцы является продуктом растений влажных биотопов и только 21 % — растений, населявших внутренние области. Так как растения — источники двухмешковой пыльцы обладают высокой репродуктивной способностью, а основным способом транспортировки пыльцы является перенос ветром, то присутствие пыльцы растений удалённых территорий в изученном ПК может быть результатом пылевых дождей.

Заключение

Таким образом, изученные по берегам р. Кыдз'расью буро-сероцветные песчано-глинистые отложения

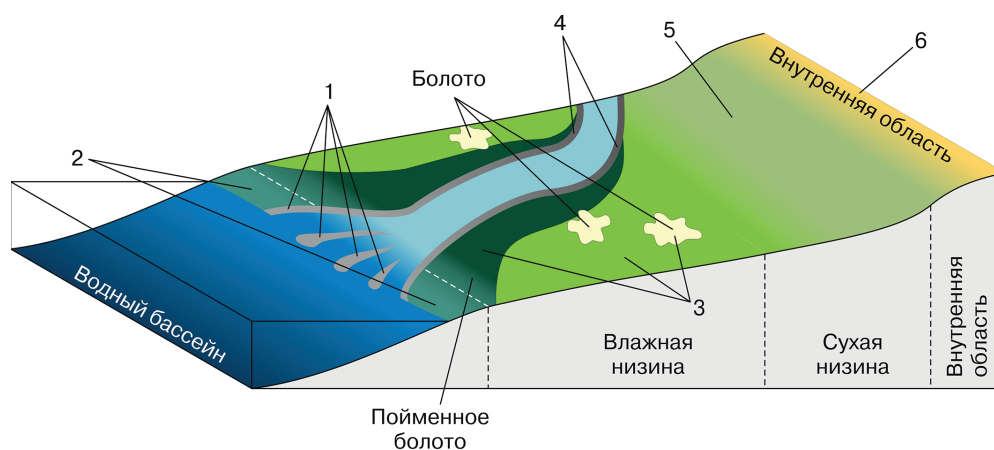


Рис. 5. Реконструкция предполагаемого пространственного распределения экогрупп миоспор сининской свиты из обнажений на реке Кыдзрасью [по 11, 14–17, 19, 20 и др.]. Экогруппы флоры: 1 — пионерной, 2 — прибрежной, 3 — влажных низин, 4 — речных берегов, 5 — сухих низин, 6 — внутренних областей

Fig. 5. Reconstruction of the hypothetical spatial distribution of sporomorph ecogroups of the Synya Formation from outcrops on the Kyzdrasyu River [after 11, 14–17, 19, 20, etc.]. Sporomorph Ecogroups: 1 — Pioneers, 2 — Coastal, 3 — Lowland wet, 4 — River, 5 — Lowland dry, 6 — Hinterland

с горизонтально- и косослоистыми сериями, с прослоями более крепких песчаников, с прослоями и линзами из обломков глинистых пород, с тонкими прослойками тонкозернистых и тонкослоистых песчаников и песчаных глин с растительными остатками и обломками углефицированной и окремнённой древесины, прослойками и линзочками углей, несомненно, относятся к сининской свите. Формировались они на р. Кыдзрасью, так же, как и отложения на р. Бол. Сыня, в условиях дельты древней реки и верхней литорали водного бассейна, который располагался, вероятно, немного к северо-западу.

Палинокомплекс сининской свиты из её естественных выходов на р. Кыдзрасью по видовому составу в полной мере соответствует комплексу миоспор *Converrucosisporites conferteornatus*—*Florinites pseudostratus*, определяющему ладинский возраст вмещающих пород, а также комплексам миоспор из отложений ладинского яруса, датированных фауной аммоноидей.

Результаты палинологического анализа указывают на существование в ладинском веке на изученной территории богатой и разнообразной растительности, в которой преобладала флора сильно увлажнённых биотопов. Реконструкция условий произрастания растений-продуцентов показала, что они представляли собой прибрежную область крупного водного бассейна с дельтами, лиманами и зарослями типа современных мангровых и прилегающую влажную низменную равнину с заболоченными участками, болотами и озёрами. Такая картина согласуется с заключением о формировании сероцветной толщи на р. Кыдзрасью в условиях дельты и верхней литорали и косвенно соотносится с данными по предполагаемым условиям захоронения остатков тетрапод в обн. 73 на р. Бол. Сыня [7]. Предлагаемая модель формирования пород, слагающих изученные обнажения, логично объясняет образование относительно маломощных угольных пластов с промышленными содержаниями редких и рассеянных элементов, а также прибрежно-бассейновых полиминеральных (ильменит, лейкоксен, рутил) россыпей, обнаруженных ранее в ходе геолого-съемочных работ.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы НИР ГР № АААА-А17-117121140081-7 «Биогеологические события и стратиграфия фанерозоя субарктической зоны Баренцево-морского региона, Тимана и западного склона Урала».

Литература

1. Добрускина И. А. Триасовые флоры Евразии. Москва: Наука, 1982. 182 с. (Труды ГИН АН СССР; вып. 365).
2. Енцова Ф. И., Калантар И. З. Триасовые отложения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Материалы по геологии востока Русской платформы. Казань: Изд-во Казанского университета, 1966. С. 138–189.
3. Ильина Н. В. Палиностратиграфия среднего триаса Тимано-Североуральского региона. Екатеринбург: УрО РАН, 2001. 230 с.
4. Ильина Н. В., Константинов А. Г. Палиноассоциации ладинских (средний триас) отложений в разрезе мыса Цветкова, Восточный Таймыр, север Средней Сибири // Эволюция жизни на Земле: Материалы V Международного симпозиума, 12–16 ноября 2018 г., г. Томск / Отв. ред. В. М. Подобина. Томск: Изд. дом Томского гос. ун-та, 2018. С. 153–155.
5. Калантар И. З. Новое в стратиграфии триасовых отложений Полярного Предуралья // Новое в стратиграфии триаса Палеоурала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1980. С. 46–61.
6. Методические рекомендации к технике обработки осадочных пород при спорово-пыльцевом анализе. Л.: ВСЕГЕИ, 1986. 77 с.
7. Новиков И. В. Биостратиграфия континентального триаса Тимано-Североуральского региона по фауне тетрапод. М.: Наука, 1994. 139 с. (Труды ПИН РАН; том 261).
8. Объяснительная записка к стратиграфическим схемам Урала (мезозой, кайнозой). Екатеринбург: Уральская геолого-съемочная экспедиция, 1997. 139 с.
9. Твердохлебов В. П., Сенников А. Г., Новиков И. В., Ильина Н. В. Самый молодой триасовый комплекс наземных позвоночных в России: состав и датировка // Палеонтологический журнал. 2020. № 3. С. 87–102.
10. Чалышев В. И., Варюхина Л. М. Биостратиграфия триаса Печорской области. М.-Л.: Наука, 1966. 156 с.

11. Abbink O. A. Palynological identification in the Jurassic of the North Sea region // LPP contribution series. 1998. Vol. 8. P. 1–192.
12. Balme B. E. Fossil in situ and pollen grains: an annotated catalogue // Review of Palaeobotany and Palynology. 1995. Vol. 87. P. 81–323.
13. Hochuli P. A., Roghi G., Brack P. Palynological zonation and particulate organic matter of the Middle Triassic of the Southern Alps (Seceda and Val Gola-Margon sections, Northern Italy) // Review of Palaeobotany and Palynology. 2015. Vol. 218. P. 28–47.
14. Kustatscher E., Van Konijnenburg-Van Cittert J.H.A. The Ladinian flora (Middle Triassic) of the Dolomites: Palaeoenvironmental reconstructions and palaeoclimatic considerations // Geo. Alp. 2005. Vol. 2. P. 31–51.
15. Kustatscher E., Van Konijnenburg-Van Cittert J.H.A., Roghi G. Macrofloras as possible proxies for palaeoclimatic and palaeoecological studies: A case study from the Pelsonian (Middle Triassic) of Kühwiesenkopf/Monte Pra della Vacca (Olang Dolomites, N-Italy) // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2010. Vol. 290. P. 71–80.
16. Kustatscher E., Heunisch C., Van Konijnenburg-Van Cittert J.H.A. Taphonomical implications of the Ladinian megaflora and palynoflora of the Thale (Germany) // PALAIOS. 2012. Vol. 27. Issue 11. P. 753–764.
17. Kustatscher E., Franz M., Heunisch C., Reich M., Wappler T. Floodplain habitats of braided river systems: depositional environment, flora, fauna of the Solling Formation (Buntsandstein, Lower Triassic) from Bremke and Fürstenberg (Germany) // Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments. 2014. Vol. 94. Issue 2. P. 237–270.
18. Kürschner W. M., Herengreen G.F.W. Triassic palynology of central and northwestern Europe: a review of palynofloral diversity patterns and biostratigraphic subdivisions // Lucas S.G. (ed.). The Triassic Timescale. Geological Society, London, Special Publications, 2010; Vol. 334. P. 263–283.
19. Lindström S., Erlström M., Piasecki S., Nielsen L. H., Mathiesen A. Palynology and terrestrial ecosystem change of the Middle Triassic to lowermost Jurassic succession of the eastern Danish Basin // Review of Palaeobotany and Palynology. 2017. Vol. 244. P. 65–95.
20. Paterson N. W., Mangerud G., Mørk A. Late Triassic (early Carnian) palynology of shallow stratigraphical core 7830/5-U-1, offshore Kong Karl Land, Norwegian Arctic // Palynology. 2017. Vol. 41, Issue 2. P. 230–254.
21. Vigran J. O., Mangerud G., Mørk A., Worsley D., Hochuli P. A. Palynology and geology of the Triassic succession of Svalbard and the Barents Sea. Geological Survey of Norway Special Publication 14. 2014. 270 p.
- Ladinian (Middle Triassic) deposits at Cape Tsvetkov section, East Taimyr, northern Middle Siberia). Evolution of Life on the Earth: Proceedings of the V International Symposium, November 12–16, 2018, Tomsk / Editor-in-Chief V.M. Podobina. Tomsk: Tomsk State University Publishing House, 2018, pp. 153–155.
5. Kalantar I. Z. *Novoe v stratigrafii triasovykh otlozhenii Polyarnogo Predural'ya* (New in the stratigraphy of Triassic deposits of the Polar Cis-Urals). New in the Triassic stratigraphy of the Paleourals. Sverdlovsk: UB AS USSR, 1980, pp. 46–61.
6. *Metodicheskie rekomendatsii k tekhnike obrabotki osadochnykh porod pri sporovo-pyl'tsevom analize* (Guidelines for the technique of processing sedimentary rocks in spore-pollen analysis). Leningrad: VSEGEI, 1986, 77 p.
7. Novikov I. V. Biostratigrafiya kontinental'nogo triasa Timano-Severoural'skogo regiona po faune tetrapod (Continental Triassic biostratigraphy of the Timan-North Urals region using tetrapod fauna). Moscow: Nauka, 1994, 139 p.
8. *Ob'yasnitel'naya zapiska k stratigraficheskim skhemam Urala (mezozoi, kainozoi)* (Explanatory note to the stratigraphic schemes of the Urals (Mesozoic, Cenozoic)). Ekaterinburg: Ural Geological Survey Expedition, 1997, 139 p.
9. Tverdokhlebov V.P., Sennikov A. G., Novikov I. V., Ilyina N. V. The youngest Triassic land vertebrate assemblage of Russia: composition and dating. Paleontological Journal, 2020, V. 54, No. 3, pp. 297–310.
10. Chalyshev V. I., Varyukhina L. M. Biostratigrafiya triasa Pechorskoi oblasti (Triassic biostratigraphy of the Pechora region). Moscow-Leningrad: Nauka, 1966, 156 p.
11. Abbink O. A. Palynological identification in the Jurassic of the North Sea region. LPP contribution series. 1998. V. 8, pp. 1–192.
12. Balme B. E. Fossil in situ and pollen grains: an annotated catalogue. Review of Palaeobotany and Palynology. 1995, V. 87, pp. 81–323.
13. Hochuli P. A., Roghi G., Brack P. Palynological zonation and particulate organic matter of the Middle Triassic of the Southern Alps (Seceda and Val Gola-Margon sections, Northern Italy). Review of Palaeobotany and Palynology. 2015, V. 218, pp. 28–47.
14. Kustatscher E., Van Konijnenburg-Van Cittert J.H.A. The Ladinian flora (Middle Triassic) of the Dolomites: Palaeoenvironmental reconstructions and palaeoclimatic considerations. Geo. Alp., 2005, V. 2, pp. 31–51.
15. Kustatscher E., Van Konijnenburg-Van Cittert J.H.A., Roghi G. Macrofloras as possible proxies for palaeoclimatic and palaeoecological studies: A case study from the Pelsonian (Middle Triassic) of Kühwiesenkopf/Monte Pra della Vacca (Olang Dolomites, N-Italy). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2010, V. 290, pp. 71–80.
16. Kustatscher E., Heunisch C., Van Konijnenburg-Van Cittert J.H.A. Taphonomical implications of the Ladinian megaflora and palynoflora of the Thale (Germany). PALAIOS, 2012, V. 27, Issue 11, pp. 753–764.
17. Kustatscher E., Franz M., Heunisch C., Reich M., Wappler T. Floodplain habitats of braided river systems: depositional environment, flora, fauna of the Solling Formation (Buntsandstein, Lower Triassic) from Bremke and Fürstenberg (Germany). Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, 2014, V. 94, Issue 2, pp. 237–270.
18. Kürschner W. M., Herengreen G. F. W. Triassic palynology of central and northwestern Europe: a review of palynofloral diversity patterns and biostratigraphic subdivisions. Lucas S.G. (ed.). The Triassic Timescale. Geological Society, London, Special Publications, 2010, V. 334, pp. 263–283.
19. Lindström S., Erlström M., Piasecki S., Nielsen L. H., Mathiesen A. Palynology and terrestrial ecosystem change of the Middle Triassic to lowermost Jurassic succession of the eastern

References

1. Dobruskina I. A. *Triasovye flory Evrasii* (Triassic Floras of Eurasia). Moscow: Nauka, 1982, 182 p.
2. Entsova F. I., Kalantar I. Z. *Triasovye otlozheniya Timano-Pechorskoi neftegazonosnoi provintsii* (Triassic deposits of the Timan-Pechora oil and gas province). Materials on the geology of the east of the Russian platform. Kazan: Kazan University Publishing House, 1966, pp. 138–189.
3. Ilyina N. V. *Palinostratigrafiya srednego triasa Timano-Severoural'skogo regiona* (Palynostratigraphy of the Middle Triassic in the Timan-North Urals region). Ekaterinburg: Uralian Division of RAS press, 2001, 230 p.
4. Ilyina N. V., Konstantinov A.G. *Palinoassotsiatsii ladinskikh (srednii trias) otlozhenii v razreze mysa Tsvetkova, Vostochnyi Taimyr, sever Srednei Sibiri* (Palynological assemblages of the



Danish Basin. Review of Palaeobotany and Palynology, 2017, V. 244, pp. 65–95.

20. Paterson N. W., Mangerud G., Mørk A. Late Triassic (early Carnian) palynology of shallow stratigraphical core 7830/5-U-1, offshore Kong Karl Land, Norwegian Arctic. Palynology, 2017, V. 41, Issue 2, pp. 230–254.

21. Vigran J. O., Mangerud G., Mørk A., Worsley D., Hochuli P. A. Palynology and geology of the Triassic succession of Svalbard and the Barents Sea. Geological Survey of Norway Special Publication 14, 2014, 270 p.

Поступила в редакцию / Received 06.03.2020

Приложение. Алфавитный список мiosпор

Appendix. Alphabetical list of miospores

Спores (Spores)

- Apiculatisporites* sp.
Aratrisporites fischeri (Klaus, 1960) Playford et Dettmann, 1965
Aratrisporites granulatus (Klaus, 1960) Playford et Dettmann, 1965
Aratrisporites paenulatus Playford et Dettmann, 1965
Aratrisporites paraspinosus Klaus, 1960
Aratrisporites scabratus Klaus, 1960
Aratrisporites strigosus Playford, 1965
Baculatisporites comaumensis (Cookson, 1953) Potonié, 1956
Calamospora sp.
Camarozonosporites rudis (Leschik, 1955) Klaus, 1960
Carnisporites mesosoicus (Klaus, 1960) Mädlar, 1964
Carnisporites sp.
Converrucosisporites cameroni (de Jersey, 1962) Playford et Dettmann, 1965
Converrucosisporites cf. Lygodium granulatum Ivanova, 1961
Converrucosisporites cf. Lygodium japoniciforme Ivanova, 1961
Converrucosisporites conferteornatus Pautsch, 1971
Converrucosisporites sp.
Convolutispora sp.
Cyathidites coniopteroides Romanovskaja, 1980
Cyathidites sp.
Cyclotriletes sp.
Deltoidospora sp.
Dictyophyllidites harrisii Couper, 1958
Dictyophyllidites mortoni (de Jersey, 1959) Playford et Dettmann, 1965
Dictyophyllidites sp.
Duplexisporites gyratus Playford et Dettmann, 1965
Duplexisporites problematicus (Couper, 1958) Playford et Dettmann, 1965
Duplexisporites sp.
Lycopodiacidites kuepperi Klaus, 1960
Lycopodiacidites sp.
Microreticulatisporites sp.
Nevesisporites limatulus Playford, 1965
Nevesisporites sp.
Osmundacidites sp.
Polypodiisporites sp.
Retitriteles cf. clavatooides (Couper, 1958) Döring, Krutzsch, Mai et Schulz, 1963
Tigrisporites halleinis Klaus, 1960

Пыльца (Pollen)

- Accinctisporites* sp.
Alisporites australis de Jersey, 1962
Alisporites cymbatus Venkatachala, Beju & Kar, 1967–1968
Alisporites grauvogeli Klaus, 1964
Alisporites landianus Balme, 1970
Alisporites parvus de Jersey, 1962
Alisporites pergrandis (Bolchovitina, 1956) Iljina, 1985
Alisporites perlucidus (Pautsch, 1971) Pautsch, 1973
Alisporites sp.
Araucariacites sp.
Cedripites sp.
Chasmatosporites hians Nilsson, 1958
Chasmatosporites sp.
Chordasporites singulichorda Klaus, 1960
Chordasporites sp.
Colpectopollis ellipsoideus Visscher, 1966
Dipterella oblatinoides Maljavkina, 1949
Ephedripites sp.
Eucommiidites sp.
Falcisporites snopkova Visscher, 1966
Falcisporites stabilis Balme, 1970
Florinites pseudostriatus Kopytova, 1963
Florinites walchius Kopytova, 1963
Ginkgocycadophytus sp.
Gnetaceapollenites sp.
Heliosaccus dimorphus Mädlar, 1964
Minutosaccus crenulatus Dolby, 1976
Minutosaccus potoni Mädlar, 1964
Minutosaccus sp.
Ovalipollis pseudoalatus (Thiergart, 1949) Krutzsch, 1955 emend. Schuurman, 1976
Ovalipollis sp.
Piceapollenites sp.
Pinuspollenites sp.
Platysaccus nitidus (Pautsch, 1971) Pautsch, 1973
Platysaccus queenslandi de Jersey, 1962
Platysaccus sp.
Platysaccus subcarpaticus (Pautsch, 1971) Pautsch, 1973
Podocarpidites keuperianus (Mädlar, 1964) Schuurman, 1977
Podocarpidites sp.
Protodiploxypinus doubingeri (Klaus, 1964) Warrington, 1974
Protodiploxypinus gracilis Scheuring, 1970
Protodiploxypinus sittleri (Klaus, 1964) Scheuring, 1970
Protodiploxypinus sp.
Quadraeculina anellaeformis (Maljavkina, 1949) Iljina, 1985
Samaropollenites speciosus (Goubin, 1965) Dolby et Balme, 1976
Stellapollenites thiergartii (Mädlar, 1964) Clement-Westerhof et al., 1974
Striatoabieites aytugii Visscher, 1966
Succinctisporites grandior Leschik, 1955
Sulcatisporites institatus Balme, 1970
Sulcatisporites kraeuseli Mädlar, 1964
Sulcatisporites sp.
Triadispora obscura Scheuring, 1970
Vitreisporites pallidus (Ressinger, 1950) Nilsson, 1958
Voltziaceasporites heteromorpha Klaus, 1964
Voltziaceasporites globosus Fisher et Dunay, 1984



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 548.736.6

DOI: 10.19110/geov.2021.1.2

КРИСТАЛЛИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА И ИНДИКАТОРНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНО НОВОГО МИНЕРАЛА — Na-ДОМИНАНТНОГО В M2-ПОЗИЦИИ АНАЛОГА ЭВДИАЛИТА (ПЕРВАЯ НАХОДКА В ХИБИНАХ)

Р. К. Расцветаева¹, Н. В. Чуканов^{2, 3}, Д. В. Лисицин⁴, К. В. Ван⁵, К. А. Викторова¹¹Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, Москва
rast@crys.ras.ru²Институт проблем химической физики РАН, Черноголовка³Геологический факультет Московского государственного университета, Москва⁴Музей «Самоцветы» Федерального агентства по недропользованию, Москва⁵Институт экспериментальной минералогии РАН, Черноголовка

Методами электронно-зондового микроанализа, рентгеноструктурного анализа и ИК-спектроскопии исследован потенциально новый минерал — M^2Na -доминантный аналог эвдиалита из Хибинского щелочного массива. Кристаллическая структура уточнена до итогового фактора расходимости $R = 5.7\%$ в анизотропном приближении атомных смещений с использованием 2577 независимых рефлексов с $F > 3\sigma(F)$. Параметры элементарной тригональной ячейки: $a = 14.277(1)$, $c = 30.400(1)$ Å, $V = 5328.7(1)$ Å³, пространственная группа $R-3m$. Идеализированная формула минерала ($Z = 3$): $Na_{14}Ca_6Zr_3[Na_2(Fe,Mn)][Si_{26}O_{72}](OH)_2(H_2O_{1.0}Cl_{0.6}S^{2-}_{0.5})(OH,H_2O)_{2.5}$. Дан сравнительный анализ кристаллохимических особенностей образцов M^2Na -аналога эвдиалита из Хибино-Ловозерского щелочного комплекса и массива Илимаусак (Гренландия). Обсуждается механизм блочного изоморфизма с замещением $IVFe^{2+}$ на $VIINa$ в $M2$ -микрообласти.

Ключевые слова: минерал, группа эвдиалита, кристаллическая структура, ИК-спектроскопия, изоморфизм, ключевая позиция $M2$, Хибинский щелочной комплекс.

FIRST FIND OF A POTENTIALLY NEW MINERAL, Na-DOMINANT AT M2-SITE EUDIALYTE ANALOGUE: CRYSTAL STRUCTURE AND SIGNIFICANCE AS A MARKER OF ULTRAAGPAITIC ENVIRONMENT

R. K. Rastsvetaeva¹, N. V. Chukanov^{2, 3}, D. V. Lisitsin⁴, K. V. Van⁵, K. A. Viktorova¹¹Shubnikov Institute of Crystallography FSRC «Crystallography and Photonics» RAS, Moscow²Institute of Problems of Chemical Physics RAS, Chernogolovka³Faculty of Geology, Moscow State University, Moscow⁴Federal Budget Institute (FBI) «Museum THE GEMS», Moscow⁵Institute of Experimental Mineralogy RAS, Chernogolovka

A potentially new mineral, M^2Na -dominant analogue of eudialyte from the Khibiny alkaline massif, was investigated using the methods of electron probe microanalysis, X-ray diffraction, and IR spectroscopy. The crystal structure was refined to $R = 5.7\%$ in the anisotropic approximation of atomic displacements using 2577 independent reflections with $F > 3\sigma(F)$. The unit-cell parameters are: $a = 14.277(1)$, $c = 30.400(1)$ Å, $V = 5328.7(1)$ Å³; the space group is $R-3m$. The idealized formula of the mineral is ($Z = 3$): $Na_{14}Ca_6Zr_3[Na_2(Fe,Mn)][Si_{26}O_{72}](OH)_2(H_2O_{1.0}Cl_{0.6}S^{2-}_{0.5})(OH,H_2O)_{2.5}$. Distribution of cations in the $M2$ micro-region is established: Fe in the flat-square coordination, Mn in the square pyramid and Na in the seven-vertex polyhedron. A comparative analysis of crystal chemical features of eudialyte M^2Na -analogue samples from the Khibiny-Lovozero alkaline complex and Ilimaussaq alkaline pluton, Greenland is given. The mechanism of blocky isomorphism with the replacement of $IVFe^{2+}$ with $VIINa$ in the $M2$ micro-region is discussed. IR spectra of the M^2Na -dominant eudialyte analogue are given: essentially hydrated sample $(Na,H_3O,H_2O)_{15}Ca_6Zr_3[Na_2Fe][Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl \cdot 2H_2O$ from Ilimaussaq, less hydrated M^2Zr -bearing sample $(Na,H_3O)_{13}(Ca_4Mn_2)Zr_3(Na_2Zr)[Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl \cdot H_2O$ from Lovozero and low-hydrated sample $Na_{14}Ca_6Zr_3[Na_2(Fe,Mn)][Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl(OH,H_2O)_3$ from Khibiny studied in this work.

Keywords: mineral, eudialyte group, crystal structure, IR spectroscopy, isomorphism, $M2$ key site, Khibiny alkaline complex.

Для цитирования: Расцветаева Р. К., Чуканов Н. В., Лисицин Д. В., Ван К. В., Викторова К. А. Кристаллическая структура и индикаторное значение потенциально нового минерала — Na-доминантного в $M2$ -позиции аналога эвдиалита (первая находка в Хибинах) // Вестник геонаук. 2021. № 1(313). С. 14—20. DOI: 10.19110/geov.2021.1.2.

For citation: Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Lisitsin D. V., Van K. V., Viktorova K. A. First find of a potentially new mineral, Na-dominant at $M2$ -site eudialyte analogue: crystal structure and significance as a marker of ultraagpaitic environment. Vestnik of Geosciences, 2021, 1(313), pp. 14—20, doi: 10.19110/geov.2021.1.2.



Введение

На протяжении последних десятилетий минералы группы эвдиалита (МГЭ) были объектом интенсивных исследований минералогов, петрологов, геохимиков, кристаллографов и технологов [6, 15]. Такой интерес к этой группе минералов связан с уникальным сочетанием их кристаллохимических особенностей, индикаторным значением для агапитовых пород специфических типов и способностью концентрировать ряд редких элементов, включая цирконий, гафний, ниобий и редкоземельные элементы.

Собственно эвдиалит, идеализированная формула которого $\text{Na}_{15}\text{Ca}_6\text{Fe}^{2+}_3\text{Zr}_3(\text{Si}_{26}\text{O}_{73})(\text{O}, \text{OH}, \text{H}_2\text{O})_3(\text{Cl}, \text{OH})_2$, — наиболее распространенный МГЭ, известный в десятках массивов мира, где он играет роль существенного компонента различных магматических пород, в основном агапитовых нефелиновых сиенитов. В ультраагапитовых породах эвдиалит сменяется другими минералами, относящимися к группе эвдиалита, которая регулярно пополняется и в настоящее время насчитывает 31 минеральный вид. Только за последние пять лет были открыты четыре новых МГЭ — илюхинит [11], сиудаит [12], сергеванит [13] и одихинчаит [14].

Было показано [6, 10], что в процессе формирования ультраагапитовых пород щёлочность проходит через максимум. В окрестности максимума щёлочности главными концентраторами циркония нередко являются цирконосиликаты с более высокими (по сравнению с минералами группы эвдиалита) содержаниями Na и K, например члены группы ловозерита или терскит.

Наибольшее разнообразие МГЭ приурочено к стадиям нарастания и спада щёлочности. Именно к таким парагенезисам относится большая часть изученных образцов МГЭ с низким общим содержанием железа и марганца и доминированием натрия в позиции $M2$ ($M2\text{Na}$ -МГЭ) [16]. В $M2\text{Na}$ -МГЭ группа близкорасположенных позиций натрия, имеющих координационные числа от 4 до 7, находится в микрообласти $M2$. Хотя первоначально эвдиалит был открыт в Гренландии [18], такие минералы довольно широко распространены в пределах Ловозерского массива, тогда как в других щелочных комплексах отмечены лишь единичные их находки. $M2\text{Na}$ -МГЭ простого (не блочно-модулярного) строения могут быть подразделены на две категории: члены изоморфного ряда «раслакит — сергеванит» (пр. гр. $R3$), в которых катионы шестичленного кольца из реберно-связанных октаэдров упорядочены с чередованием Ca^{2+} и более мелких катионов (Fe^{2+} , Mn^{2+}), и более редкий потенциально новый минеральный вид — $M2\text{Na}$ -доминантный аналог эвдиалита (пр. гр. $R3m$ или $R-3m$) с неупорядоченным распределением катионов в кольце октаэдров.

Описанный ниже образец относится к последнему типу и представляет собой первую находку этого минерала в Хибинах. В статье также дан сравнительный кристаллохимический анализ хибинского $M2\text{Na}$ -аналога эвдиалита и изученных ранее образцов этого минерала из массива Илимаусак (Гренландия) [8] и из Ловозерского щелочного комплекса [7].

Объект, методы и результаты исследования

Изученный в настоящей работе минерал происходит из ультраагапитового пегматита, вскрытого руд-

ником Коашва (гора Коашва, Хибинский массив). Он образует внешние коричневые зоны (толщиной до 2.5 мм) изометричных индивидов МГЭ размером до 7 мм. Центральные зоны индивидов сложены красным эвдиалитом. Ассоциирующие минералы представлены нефелином, микроклином, эгирином и виллиомитом.

Химический состав этого образца определен методом рентгеноспектрального микроанализа с использованием растрового электронного микроскопа Tescan Vega-II XMU (режим EDS, 20 кВ, 400 пА) и системы регистрации рентгеновского излучения и расчёта состава образца INCA Energy 450. Диаметр электронного пучка составил 157–180 нм. Время накопления сигнала составляло 100 секунд.

Эмпирическая формула, рассчитанная на 25.5 атомов Si (в соответствии с данными рентгеноструктурного анализа), с учетом неоднородности состава:

$\text{Na}_{13.4-14.8}\text{Ca}_{5.5-5.8}\text{Mn}_{0.8-1.0}\text{Fe}_{0.8}\text{Ln}_{0.3}\text{K}_{1.8-2.0}\text{Sr}_{0.4}\text{Ti}_{0-0.2}\text{Zr}_{2.8-3.0}\text{Hf}_{0.03-0.05}\text{Nb}_{0.1-0.4}\text{Si}_{25.6-25.9}\text{S}_{0.5}\text{Cl}_{0.6}$. Данный минерал, как и образец из Илимаусака [8], а также образцы из Ловозера [4, 7], является низкожелезистым, высоконатриевым и высококремниевым и отличается от них меньшим содержанием редких земель и железа и большими содержаниями натрия, калия, кальция, марганца и циркония.

Другое различие образцов из трех разных массивов заключается в степени их гидратированности, что подтверждается и ИК-спектрами.

ИК-спектры образцов МГЭ, запрессованных в таблетки с KBr (рис. 1), сняты на фурье-спектрометре ALPHA FTIR (Bruker Optics, Германия) в диапазоне волновых чисел 360–3800 cm^{-1} при разрешающей способности 4 cm^{-1} и числе сканирований, равном 16. В качестве образца сравнения использовалась аналогичная таблетка, изготовленная из чистого KBr.

Сравнение ИК-спектров трех образцов $M2\text{Na}$ -аналога эвдиалита показывает, что образец из Илимаусака характеризуется наиболее высокой степенью гидролитического преобразования. Полосы при 3428 (с высокочастотным плечом) и 3260 cm^{-1} относятся к О–Н-валентным колебаниям $\text{H}_2\text{O}+\text{OH}^-$ и иона H_3O^+ соответственно. Присутствие ассоциирующего натролита указывает на то, что этот образец $M2\text{Na}$ -аналога эвдиалита подвергался гидротермальному воздействию, в результате которого, очевидно, и произошли его гидролитические изменения (гидролиз и частичное замещение натрия на ионы оксония).

Образец из Ловозера отличается более низкой интенсивностью полосы $\text{H}_2\text{O}+\text{OH}^-$ и её сдвигом в более высокочастотную область (к 3610 cm^{-1}), что свидетельствует о преобладающем вкладе ОН-групп в поглощение в этой области. В целом этот образец гидратирован в меньшей степени, чем образец из Илимаусака.

ИК-спектр хибинского образца характеризуется наиболее низкими интенсивностями полос $\text{H}_2\text{O}+\text{OH}^-$ и отсутствием полосы H_3O^+ . Однако асимметричность полосы О–Н-валентных колебаний (с более протяженным крылом в низкочастотной области) может быть вызвана незначительной примесью ионов H_3O^+ .

В спектрах всех трех образцов присутствует полоса в области 920–940 cm^{-1} , относящаяся к валентным колебаниям кремнекислородных тетраэдров в микрообластях $M3$ и $M4$. Полосы в диапазоне 515–545 cm^{-1} , относящиеся к (Fe, Mn, Zr)–О-валентным колебаниям

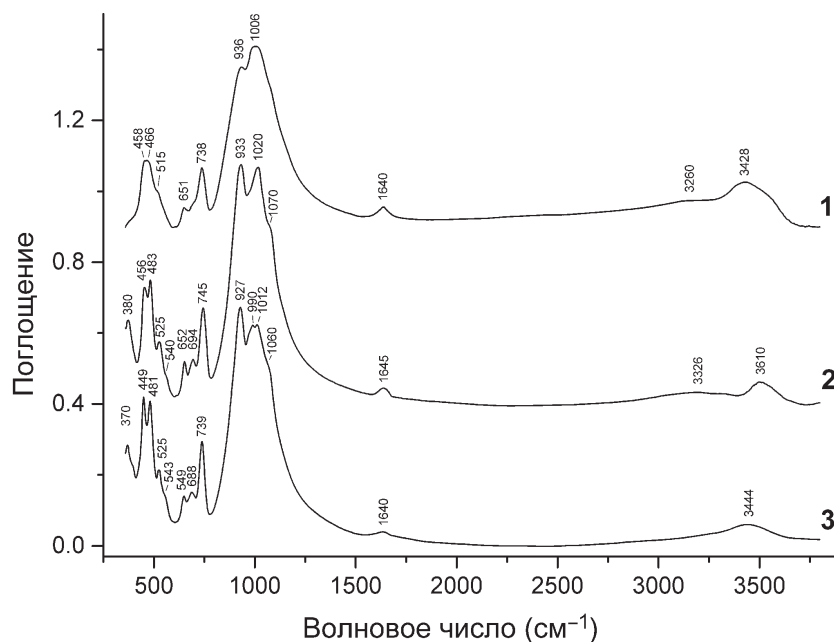


Рис. 1. ИК-спектры образцов M^2Na -доминантного аналога эвдиалита: 1 — существенно гидратированный образец $(Na, H_3O, H_2O)_{15}Ca_6Zr_3[Na_2Fe][Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl \cdot 2H_2O$ из массива Илимаусак [8]; 2 — менее гидратированный M^2Zr -содержащий образец $(Na, H_3O)_{13}(Ca_4Mn_2)Zr_3(Na_2Zr)[Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl \cdot H_2O$ из Ловозерского массива [7, 16]; 3 — изученный в настоящей работе слабо гидратированный образец $Na_{14}Ca_6Zr_3[Na_2(Fe, Mn)][Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl(OH, H_2O)_3$ из Хибинского массива

Fig. 1. IR spectra of the M^2Na -dominant eudialyte analogue: 1 — essentially hydrated sample $(Na, H_3O, H_2O)_{15}Ca_6Zr_3[Na_2Fe][Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl \cdot 2H_2O$ from Ilimaussaq [8]; 2 — less hydrated M^2Zr -bearing sample $(Na, H_3O)_{13}(Ca_4Mn_2)Zr_3(Na_2Zr)[Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl \cdot H_2O$ from Lovozero [17, 16]; 3 — and low-hydrated sample $Na_{14}Ca_6Zr_3[Na_2(Fe, Mn)][Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl(OH, H_2O)_3$ from Khibiny studied in this work

M^2 -полиэдров, значительно ослаблены по сравнению с аналогичными полосами Fe—O и Mn—O в ИК-спектрах эвдиалита и кентбруксита соответственно.

Увеличение степени гидратированности сопровождается не только возрастанием интенсивностей полос водородсодержащих групп, но и уширением всех полос и ухудшением их разрешенности вследствие образования водородных связей с атомами кислорода каркаса.

Дифракционный эксперимент получен от монокристалла размером ~ 0.1 мм на дифрактометре Xcalibur S CCD (MoK α -излучение). Минерал тригональный с параметрами элементарной ячейки $a = 14.277(1)$, $c = 30.400(1)$ Å, $V = 5328.7(1)$ Å³, пространственная группа $R\bar{3}m$. Кристаллическая структура уточнена до финального фактора расхождимости $R = 5.7$ % по 2577 независимым рефлексам с $F > 3\sigma(F)$ в анизотропном приближении атомных смещений. Все расчеты выполнены с использованием системы кристаллографических программ AREN [1]. Координаты атомов каркаса и внекаркасных атомов приведены в таблице 1, а межатомные расстояния в полиэдрах ключевых M -позиций — в таблице 2.

Установленные кристаллохимические особенности минерала отражены в его кристаллохимической формуле ($Z = 3$): $[Zr_{2.85}Ti_{0.1}Hf_{0.05}]^{M1}[Ca_{5.5}Mn_{0.3}Fe_{0.2}]^{M2}[Na^{VII}_{1.8}Fe^{IV}_{0.6}Mn^{V}_{0.6}]^{M3}[Si_{1.6}Nb_{0.4}]^{N1}[Na_6]^{N3}[Na_{3.3}K_2Sr_{0.4}Ce_{0.3}]^{N5}[Na_{2.7}][Si_{24}O_{72}]^{X1}[(H_2O)_{1.0}Cl_{0.6}S_{0.5}](OH)_{1.6}(OH, H_2O)_{2.4}$, где римскими цифрами обозначены координационные числа катионов в микрообласти M^2 , а латинскими буквами даны обозначения позиций и микрообластей. Упрощенная формула имеет вид: $Na_{14}Ca_6Zr_3[Na_2(Fe, Mn)][Si_{26}O_{72}](OH)_2(H_2O_{1.0}Cl_{0.6}S_{0.5})(OH, H_2O)_{2.5}$.

Уникальное кристаллохимическое разнообразие МГЭ определяется различными схемами гомовалентного, гетеровалентного и блочного изоморфизма в ключевых позициях структуры. Подробно механизмы изоморфизма в этих минералах описаны в книге [6] и в обзорках [16, 17].

Одним из ключевых фрагментов гетерополиэдрического каркаса МГЭ является шестичленное кольцо, образованное октаэдрами, сочлененными через общие ребра [5]. В изученном в настоящей работе ми-

нерале позиция M^1 в октаэдре шестичленного кольца с расстояниями катион — анион 2.308–2.409 (среднее 2.360 Å) занята главным образом кальцием, а недостающее до шести атомов количество восполняется за счет атомов Fe и Mn. Важная ключевая микрообласть M^2 , расположенная между двумя ребрами октаэдров M^1O_6 , принадлежащих соседним кольцам, занята атомами Fe, Mn и Na. Эти атомы занимают пять положений, сдвинутых друг относительно друга. Четыре из этих положений попарно связаны центром симметрии. Центральная позиция с координацией, близкой к квадратной, и расстоянием $M^2a-O = 2.136$ Å (рис. 2, а) имеет заселенность 0.2 и содержит 0.6 атомов железа на формулу ($Z = 3$). Остальная часть железа (0.2 атома на формулу) вошла в позицию M^1 . По обе стороны квадрата на расстоянии 0.49 Å от его центра находятся подпозиции Mn, образующие на базе квадрата, дополненного OH-группой, пирамиду со средним расстоянием Mn—O = 2.110 Å (рис. 2, б). Количество марганца за вычетом 0.3 атома в M^1 -позиции также составляет 0.6 атома. Другая подпозиция сдвинута еще дальше от квадрата на расстояние 1.55 Å и занята 1.8 атома натрия. Расстояние между подпозициями натрия и марганца равно 1.1 Å. Таким образом, все подпозиции находятся на коротких расстояниях от центра квадрата и друг от друга и заселены статистически (суммарно 3 атома на формулу с $Z = 3$). В то же время подпозиции натрия, связанные центром симметрии, находятся на расстоянии 3.09 Å друг от друга и могут быть заселены одновременно при незаполненных подпозициях железа и марганца. В отличие от образца из Илимаусака, в котором катионы M^2Na^+ имеют координационное число 5, в образце из Хибин эти катионы центрируют семивершинные полиэдры (рис. 2, с).

Аналогично образцу из Илимаусака подпозиция M^3a на оси 3-го порядка занята атомами кремния в тетраэдрической координации с расстояниями Si—O 1.57–1.62 Å (среднее — 1.58 Å). Другая подпозиция дополнительно расщеплена на две, которые центрируют октаэдры NbO_6 со средними расстояниями Nb—O, равными 1.85 и 1.89 Å соответственно. Эти подпозиции имеют общую координацию из атомов кислорода, а также OH-групп, которые дополняют окружение Mn в M^2b -позиции до пятивер-



Таблица 1. Координаты, параметры эквивалентных/изотропных атомных смещений ($B_{\text{экв/изо}}$, Å²), состав ($Z = 3$), заселенность (q) и кратность позиций Q в структуре $M^2\text{Na}$ -аналога эвдиалита из Хибинского массива

Table 1. Atom coordinates, equivalent/isotropic atomic displacement parameters ($B_{\text{eq/iso}}$, Å²), composition ($Z = 3$), site occupancies (q) and site multiplicities (Q) in the crystal structure of the eudialyte $M^2\text{Na}$ analogue from the Khibiny massif

Позиция Site	x	y	z	$B_{\text{экв/изо}}$ $B_{\text{eq/iso}}$	Состав Composition	q	Q
Z	0.3332(1)	0.1666(1)	0.1669(1)	1.42(2)	$\text{Zr}_{2.85}\text{Ti}_{0.1}\text{Hf}_{0.05}$	1	9
$M1$	0.4053(1)	0.3333(1)	0.3333(1)	0.54(3)	$\text{Ca}_{5.5}\text{Mn}_{0.3}\text{Fe}_{0.2}$	1	18
$M2a$	0	0.5	0	2.4(8)	$\text{Fe}_{0.6}$	0.2	9
$M2b$	0.5194(3)	0.0387(4)	-0.0033(1)	1.0(1)	$\text{Mn}_{0.6}$	0.1	18
$M2c$	0.1244(7)	0.5620(5)	0.0071(2)	1.9(1)	$\text{Na}_{1.8}$	0.3	18
$M3a$	0.3334	0.6667	0.0909(2)	2.21(5)	$\text{Si}_{1.6}$	0.8	6
$M3b$	0.3334	0.6667	0.0380(1)	1.51(7)	$\text{Nb}_{0.3}$	0.15	6
$M3c$	0.3334	0.6667	0.0552(3)	2.0(1)	$\text{Nb}_{0.1}$	0.05	6
$T1$	0.5258(1)	0.2629(1)	0.2514(1)	0.89(5)	Si_6	1	18
$T2$	-0.0074(1)	0.6033(1)	0.0973(1)	0.91(3)	Si_{12}	1	36
$T3$	0.2080(1)	0.4159(1)	0.0767(1)	1.08(5)	Si_6	1	18
$N1a$	0.1124(1)	0.2248(2)	0.1522(1)	2.0(1)	$\text{Na}_{4.2}$	0.7	
$N1b$	0.5694(6)	0.4306(6)	0.1754(4)	2.3(4)	$\text{Na}_{1.2}$	0.2	18
$N1c$	0.5841(6)	0.4159(6)	0.1637(4)	2.2(2)	$\text{Na}_{0.6}$	0.1	
$N3a$	0.4734(3)	0.2367(2)	0.0467(1)	3.2(3)	$\text{K}_{2.0}\text{Sr}_{0.4}\text{Ce}_{0.3}$	0.45	
$N3b$	0.4270(6)	0.2139(4)	0.0604(2)	2.4(1)	$\text{Na}_{2.7}$	0.45	18
$N3c$	0.487(3)	0.244(2)	0.0276(4)	2.9(5)*	$\text{Na}_{0.6}$	0.1	
$N5a$	0.190(2)	0.595(1)	0.1441(6)	2.0(7)	$\text{Na}_{0.9}$	0.15	18
$N5b$	0.171(1)	0.615(2)	0.1601(4)	2.3(5)	$\text{Na}_{1.2}$	0.1	36
$O1$	0.4736(3)	0.2368(2)	0.2031(1)	2.0(2)	O_6	1	18
$O2$	0.2586(2)	0.0287(2)	0.2054(1)	2.0(1)	O_{12}	1	36
$O3$	0.6051(1)	0.3949(1)	0.2548(4)	1.6(2)	O_6	1	18
$O4$	0.4418(3)	0.2204(2)	0.2905(1)	1.6(2)	O_6	1	18
$O5$	0.1011(2)	0.3804(3)	0.1075(1)	1.9(1)	O_{12}	1	36
$O6$	0.0223(3)	0.5112(2)	0.1139(1)	1.5(2)	O_6	1	18
$O7$	0.2728(2)	0.5457(3)	0.0745(3)	3.9(2)	O_6	1	18
$O8$	0.1809(1)	0.3618(2)	0.0297(1)	1.5(2)	O_6	1	18
$O9$	0.4087(2)	0.0355(2)	0.0461(1)	1.7(1)	O_{12}	1	36
$\text{OH}1$	0.3334	0.6667	0.1444(6)	1.7(2)	$\text{OH}_{1.6}$	0.8	6
$\text{OH}2$	0.396(1)	0.604(1)	0.0046(8)	3.1(4)	$(\text{OH}, \text{H}_2\text{O})_{2.4}$	0.4	18
$X1a$	0.6667	0.3334	0.0457(4)	2.7(3)	$\text{Cl}_{0.6}$	0.3	6
$X1b$	0.6667	0.3334	0.101(1)	3.4(3)	$(\text{H}_2\text{O})_{0.8}$	0.4	6
$X1c$	0.6667	0.3334	0.134(1)	2.7(9) *	$(\text{H}_2\text{O})_{0.2}$	0.1	6
$X1d$	0.3333(1)	0.6667(1)	0.0054(6)	5.1(2)	$\text{S}_{0.5}$	0.25	6

Примечание: Здесь и далее обозначения позиций соответствуют принятым в рамках пространственной группы $R3m$. Позиции $M4$, $N2$ и $N4$ идентичны $M3$, $N1$ и $N3$ соответственно, т. к. они попарно связаны центром симметрии и их суммарное количество учтено в кратностях позиций.

Note: Here and below, site designations correspond to those accepted for the space group $R3m$. The sites $M4$, $N2$, and $N4$ are identical to $M3$, $N1$, and $N3$, respectively because of the existence of the symmetry centre in the space group $R3m$.

шинника. В целом микрообласть $M3$ преимущественно (на 80 %) заселена кремнием.

Крупные катионы заполняют позицию $N1$, расщепленную на три подпозиции, находящиеся на расстояниях 0.41–0.91 Å друг от друга и занятые только атомами натрия. Все подпозиции формируют 8-вершинники с расстояниями катион – анион в пределах 2.22–3.03 Å. Позиция $N3$ также расщеплена на три подпозиции, две из которых разнесены на расстояние 1.24 Å и заселены атомами натрия, а третья ($N3a$) формирует крупный

10-вершинник с расстояниями $N3a$ –O 2.53–3.06 Å и имеет смешанный состав из атомов K, Sr и Ce. Большое количество K (2 атома на формулу) создавало предпосылки для понижения симметрии до $R3m$, однако упорядочение состава с понижением симметрии в данном минерале не реализовалось и структура оказалась центросимметричной. Полость $N5$ заполнена на 2/3 атомами натрия и водорода, принадлежащего гидроксильным группам в вершине Si-тетраэдров, обращенной внутрь межкольцевой полости. При этом позиция $N5$ расще-

Таблица 2. Некоторые межатомные расстояния (Å) в структуре $M2Na$ -аналога эвдиалита из Хибинского массива

Table 2. Selected interatomic distances (Å) in the crystal structure of the eudialyte $M2Na$ analogue from the Khibiny massif

$M1 - O4$	2.308(3)	$M3a - O7$	1.572(4)×3
$- O4$	2.318(4)	$- OH1$	1.62(1)
$- O9$	2.357(2)×2		<1.58>
$- O8$	2.409(1)×2	$M3b - O7$	1.859(7)×3
	<2.360>	$- OH2$	1.84(1)×3
$M2a - O9$	2.136(2)×4		<1.849>
	<2.136>	$M3c - O7$	1.602(6)×3
$M2b - O9$	2.158(6)×2	$- OH2$	2.17(1)×3
$- O9$	2.223(7)×2		<1.89>
$- OH2$	2.086(5)	$M2a - M2b$	0.487(5)
	<2.170>	$- M2c$	1.548(9)
$M2c - O9$	2.492(7)×2	$M2b - M2c$	1.06(1)
$- O9$	2.773(6)×2	$M3a - M3b$	1.609(8)
$- O7$	3.036(9)×2	$- M3c$	1.08(1)
$- X1a$	3.03(1)	$M3b - M3c$	0.52(1)
	<2.804>	$- X1d$	0.99(2)

плена на две подпозиции, находящиеся друг от друга на расстоянии 0.67 Å.

Сера присутствует в данном минерале в сульфидной форме. Дополнительные анионы Cl^- , S^{2-} и молекулы воды располагаются на оси 3-го порядка в ми-

крообласти $X1$, в позиции, которая расщеплена на четыре подпозиции, разнесенные на расстояние 0.9 Å и более. Все они входят статистически в окружение атомов натрия.

Обсуждение результатов

В различных МГЭ атомы натрия, находящиеся в микрообласти $M2$, могут формировать координационные полиэдры всех четырех типов (рис. 3) [6] — квадрат, пятивершинник, октаэдр и семивершинник. Однако при наличии конкурирующих катионов меньшего размера натрий заполняет более крупный семивершинник, как установлено и в данном образце.

Сравнение Na -доминантных в $M2$ -позиции минералов, содержащих катион натрия с координационным числом 7, показывает, что они различаются по составу и форме полиэдров в этой микрообласти. Минерал из Хибинского массива характеризуется набором всех типов полиэдров, кроме октаэдра: $Na^{VII}_{1.8} Fe^{IV}_{0.6} Mn^{V}_{0.6}$.

Изученный ранее $M2Na$ -аналог эвдиалита из Ловозера отличается от образцов из Хибин и Илимусака более высоким содержанием циркония, более низким содержанием кальция и характеризуется формулой $(Na, H_3O)_{13}(Ca_4Mn_2)Zr_3(Na_2Zr)[Si_{26}O_{72}](OH)_2Cl \cdot H_2O$ [7]. Рентгеноструктурным анализом установлено, что в позиции $M2$ этого образца доминирует натрий в семивершиннике с расстояниями $Na-O = 2.754$ Å, а в подпозиции $M2b$ содержится избыточный по отношению к ^{238}Zr цирконий в количестве 0.87 атома на формулу, который центрирует пятивершинник со

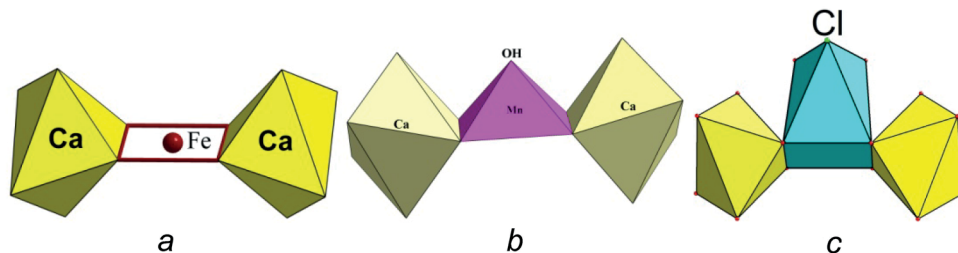


Рис. 2. Распределение катионов в микрообласти $M2$: а — Fe в плоском квадрате, б — Mn в пятивершиннике, с — Na в семивершиннике

Fig. 2. Distribution of cations in the $M2$ micro-region: а — Fe in the flat-square coordination, б — Mn in the square pyramid, с — Na in the seven-vertex polyhedron

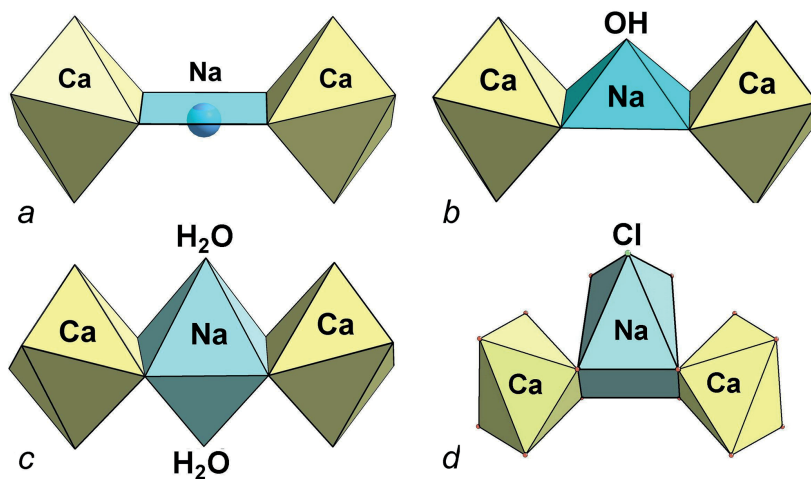


Рис. 3. Типы Na -центрированных полиэдров в микрообласти $M2$ высоконатриевых МГЭ: а — плоский квадрат, б — пятивершинник, с — октаэдр, d — семивершинник

Fig. 3. Types of Na -centered polyhedra in the $M2$ micro-region of sodium-rich eudialyte group minerals: а — flat square, б — five-vertex polyhedron, с — octahedron, d — seven-vertex polyhedron



средним расстоянием $Zr-O = 2.204 \text{ \AA}$. Оба $M2$ -полиэдра развернуты в противоположные стороны от плоскости квадрата и заполняются статистически.

Другой $M2Na$ -доминантный аналог эвдиалита из Ловозерского щелочного массива с упрощенной формулой $(Na, Sr, K)_{16}Ca_6Zr_3(Na_2Fe)[Si_{25}O_{72}](OH)_2Cl \cdot H_2O$ является центросимметричной разновидностью этого потенциально нового минерального вида [9]. В его структуре атомы железа центрируют квадрат $M2O_4$ с заселенностью 25 %, а расположенные по обе стороны от плоскости квадрата позиции семирешинников заселены атомами Na на 37 % каждая. При этом расстояния $Fe-Na$ и $Na-Na$ составляют 1.41(1) и 2.82(1) $\text{\AA}$ соответственно. Вследствие близкого взаимного расположения этих позиций атомы Fe и Na занимают свои позиции статистически, но в отсутствии железа оба полиэдра натрия могут присутствовать одновременно.

$M2Na$ -доминантные МГЭ известны исключительно в ультраагпаитовых породах (в основном в фойяитах). Большая часть данных об этих минералах получена на образцах из Ловозерского щелочного комплекса, где широко распространены специфические породы — ультраагпаитовые разновидности фойяитов, индикаторами которых являются высокощелочные титано-, цирконо- и ниобосиликаты, а также высокощелочные пегматиты. Кроме экзотических, крайне редких МГЭ блочно-модулярного строения [6], доминирование натрия в микрообласти $M2$ отмечалось в минералах двух структурных типов — онейллитового (а именно в членах изоморфного ряда «раслакит — сергеванит») и эвдиалитового (в потенциально новом минеральном виде, $M2Na$ -аналоге эвдиалита).

В других щелочных комплексах (Хибинском, Илимауске, Норра-Черр в Швеции, вулкана Фого на Азорских островах) отмечались лишь единичные находки $M2Na$ -доминантных МГЭ. Возможно, широкая распространенность таких минералов именно в Ловозере связана с низким содержанием железа в ультраагпаитовых породах этого массива, имеющих отчетливо выраженную марганцевую специфику. В ультраагпаитовых обстановках с более высокими содержаниями железа кристаллизуются $M2Fe$ -доминантные МГЭ вследствие ярко выраженного сродства железа к позиции $M2$.

Заключение

Исследованный в данной работе аналог эвдиалита из Хибинского щелочного массива, как и структурно изученные ранее образцы из Илимаусака и Ловозера, является Na -доминантным в N -позициях, Ca -доминантным в $M1$ -позиции, Si -доминантным в $M3$ - и $M4$ -позициях и Na -доминантным в $M2$ -позиции. Все эти образцы являются разновидностями потенциально нового минерального вида, различающимися степенью гидратированности и содержаниями Na, K, Ca и Zr. В структуре минерала из Хибинского массива статистически реализуется более сложный блочный изоморфизм, чем в образце из Илимаусака, а доминирующими $M1$ - и $M2$ - полиэдрами являются октаэдры CaO_6 и семирешинники NaO_6Cl .

До последнего времени считалось, что в отличие от Ловозерского комплекса, где Na -доминантные в $M2$ -позиции минералы являются обычными второстепенными и акцессорными компонентами высоко-

агпаитовых разновидностей фойяита, в Хибинском массиве высоконатриевые МГЭ не содержат $M2Na$ и относятся в основном к пегматитам. Изученный в настоящей работе образец является первым примером МГЭ из Хибинского массива, в котором впервые методом монокристалльного рентгеноструктурного анализа зафиксировано доминирование натрия в позиции $M2$. Образованию этого минерала могла способствовать высокощелочная минералообразующая среда, о чём говорит присутствие в ассоциации виллиомита. Однако и в этом образце содержание $M2Na$ ниже, чем в типичных $M2Na$ -доминантных МГЭ из ультраагпаитовых фойяитов Ловозера.

Микрообласть $M2$ в $M2Na$ -доминантных МГЭ может содержать натрий с координационными числами от 4 до 7. Структурно исследованные МГЭ, содержащие в микрообласти $M2$ атомы Na в координации 7, найдены в Ловозерском и Хибинском массивах и массиве Илимаусак и являются низкожелезистыми, высоконатриевыми и высококремневыми. Собственно эвдиалит [2, 3] характеризуется содержанием максимального количества железа в $M2$ -позиции, а гипотетический минерал с содержанием трех атомов натрия в позиции $M2$ пока не обнаружен. Тем не менее согласно принятым в настоящее время правилам выделения минеральных видов $M2Na$ -доминантный аналог эвдиалита должен рассматриваться как потенциально новый минерал.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках Государственного задания ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН в части рентгеноструктурного анализа, частично в соответствии с темой Государственного задания АААА-А19-119092390076-7 (в части анализа химического состава МГЭ и диагностики ассоциирующих минералов) и Российского фонда фундаментальных исследований в части ИК-спектроскопического анализа (проект № 18-29-12007_мк) и в части кристаллохимического анализа (проект № 18-29-12005).

Литература

1. Андрианов В. И. AREN-85 — система кристаллографических программ РЕНТГЕН на ЭВМ NORD, CM-4 и ЕС // Кристаллография. 1987. Т. 32. № 1. С. 228–232.
2. Голышев В. М., Симонов В. И., Белов Н. В. Кристаллическая структура эвдиалита // Кристаллография. 1972. Т. 17. № 6. С. 1119–1123.
3. Расцветаева Р. К., Андрианов В. И. Новые данные о кристаллической структуре эвдиалита // Докл. АН СССР. 1987. Т. 293. № 5. С. 1122–1126.
4. Расцветаева Р. К., Хомяков А. П. Кристаллическая структура низкожелезистого аналога эвдиалита // Доклады АН. Химия. 1998. Т. 362. № 6. С. 784–788.
5. Расцветаева Р. К. Структурная минералогия группы эвдиалита // Кристаллография. 2007. Т. 52. № 1. С. 50–67.
6. Расцветаева Р. К., Чуканов Н. В., Аксенов С. М. Минералы группы эвдиалита: кристаллохимия, свойства, генезис. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, 2012. 230 с.
7. Расцветаева Р. К., Чуканов Н. В., Пеков И. В., Варламов Д. А. Структурные особенности потенциально нового минерала группы эвдиалита из Ловозерского массива (Кольский полуостров) // Вестник геонаук. 2020. № 1. С. 3–7. DOI: 10.19110/geov.2020.1.1

8. Расцветова Р. К., Чуканов Н. В., Шефер К. На-доминантный в M2-позиции аналог эвдиалита: кристаллическая структура и индикаторное значение // Вестник геонаук. 2020. № 9. С. 19–25. DOI: 10.19110/geov.2020.9.4
9. Розенберг К. А., Расцветова Р. К., Верин И. А. Кристаллическая структура centrosymmetrichnogo 12-sloynogo vysokonatrievogo эвдиалита // Кристаллография. 2009. Т. 54. № 3. С. 446–450.
10. Хомяков А. П. Минералогия ультраагпаитовых щелочных массивов. 1990, Москва. 196 с.
11. Чуканов Н. В., Расцветова Р. К., Розенберг К. А., Аксенов С. М., Пекров И. В., Белаковский Д. И., Кристиансен Р., Ван К. В. Илюхинит $(\text{H}_3\text{O}, \text{Na})_{14}\text{Ca}_6\text{Mn}_2\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ — новый минерал группы эвдиалита // Записки РМО. 2016. Т. 145(2). С. 44–57.
12. Chukanov N. V., Rastsvetaeva R. K., Kruszewski L., Aksenov S. M., Rusakov V. S., Britvin S. N., Vozchikova S. A. Siudaite, $\text{Na}_8(\text{Mn}^{2+}_2\text{Na})\text{Ca}_6\text{Fe}^{3+}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{74}(\text{OH})_2\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Khibiny alkaline massif, Kola Peninsula // Physics and Chemistry of Minerals. 2018. Vol. 45. No. 8. P. 745–758. DOI: 10.1007/s00269-018-0959-9.
13. Chukanov N. V., Aksenov S. M., Pekov I. V., Belakovskiy D. I., Vozchikova S. A., Britvin S. N. Sergevanite, $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula // Canadian Mineralogist. 2020. Vol. 58. P. 421–436. DOI: 10.3749/canmin.2000006.
14. Gritsenko Y. D., Chukanov N. V., Aksenov S. M., Pekov I. V., Varlamov D. A., Pautov L. A., Vozchikova S. A., Ksenofontov D. A., Britvin S. N. Odikhinchaitite, $\text{Na}_9\text{Sr}_3[(\text{H}_2\text{O})_2\text{Na}]\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}(\text{Si}_{24}\text{O}_{72})\text{O}(\text{OH})_3(\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Odikhincha intrusion, Taimyr Peninsula, Russia // Minerals. 2020. Vol. 10. Paper 1062. DOI: 10.3390/min10121062.
15. Johnsen, O.; Grice, J. D.; Gault, R. A. The crystal chemistry of the eudialyte group. *Canad. Mineral*, 1999, 37(4), 865–891.
16. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Pekov I. V., Schöfer Ch., Van K. V. New data on the isomorphism in eudialyte-group minerals. 1. Crystal chemistry of eudialyte-group members with Na incorporated into the framework as a marker of hyperagpaitic conditions // Minerals. 2020. Vol. 10, 587. 16 pp. DOI: 10.3390/min10070587.
17. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V. New data on the isomorphism in eudialyte-group minerals. 2. Crystal-chemical mechanisms of blocky isomorphism at the key sites (review) // Minerals 2020, 10, 720; doi:10.3390/min10080720.
18. Sjöqvist, A. S. L. The tale of greenlandite: commemorating the two-hundredth anniversary of eudialyte (1819–2019). *Minerals*, 2019, 9(8), 497–510.
5. Rastsvetaeva R. K. *Strukturnaya mineralogiya gruppy evdialita* (Structure mineralogy of eudialyte group). *Crystallography Reports*, 2007, V. 52, No. 1, pp. 50–67.
6. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Aksenov S. M. *Mineraly gruppy evdialita: kristallohimiya, svoystva, genesis*. Nizhniy Novgorod, 2012, 230 pp.
7. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Pekov I. V., Varlamov D. A. Structural features of potential new mineral of eudialyte group from Lovozero massif, Kola peninsula. *Vestnik geonauk*, 2020, No. 1. pp. 3–7. DOI: 10.19110/geov.2020.1.1
8. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Schöfer Ch. Na-dominantnii v M2-positsii analog evdialita: *Kristallicheskaya struktura i indikatornoe znachenie* (Na-dominant at the M2 site eudialyte analogue: crystal structure and indicator significance). *Vestnik geonauk*, 2020, No. 9, pp. 19–25. DOI: 10.19110/geov.2020.9.4
9. Rozenberg K. A., Rastsvetaeva R. K., Verin I. A. *Kristallicheskaya struktura tsentrosimmetrichnogo 12-sloynogo vysokonatrievogo evdialita* (crystal structure of centrosymmetrical 12-layer high sodium eudialyte). *Crystallography Reports*, 2009, V. 54, No. 3. pp. 446–450.
10. Khomyakov A. P. *Mineralogy of Ultra-Agpaite Alkaline Rocks*. Moscow: Nauka, Russia, 1990, 196 pp.
11. Chukanov N. V., Rastsvetaeva R. K., Rozenberg K. A., Aksenov S. M., Pekov I. V., Belakovskiy D. I., Kristiansen R., Van K. V. Ilyukhinite, $(\text{H}_3\text{O}, \text{Na})_{14}\text{Ca}_6\text{Mn}_2\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, a new mineral of the eudialyte group. *Geology of Ore Deposits*, 2017, V. 59, No. 7, pp. 592–600. DOI: 10.1134/S1075701517070030.
12. Chukanov N. V., Rastsvetaeva R. K., Kruszewski L., Aksenov S. M., Rusakov V. S., Britvin S. N., Vozchikova S. A. Siudaite, $\text{Na}_8(\text{Mn}^{2+}_2\text{Na})\text{Ca}_6\text{Fe}^{3+}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}_{25}\text{O}_{74}(\text{OH})_2\text{Cl} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Khibiny alkaline massif, Kola Peninsula. *Physics and Chemistry of Minerals*, 2018, V. 45, No. 8, pp. 745–758. DOI: 10.1007/s00269-018-0959-9.
13. Chukanov N. V., Aksenov S. M., Pekov I. V., Belakovskiy D. I., Vozchikova S. A., Britvin S. N. Sergevanite, $\text{Na}_{15}(\text{Ca}_3\text{Mn}_3)(\text{Na}_2\text{Fe})\text{Zr}_3\text{Si}_{26}\text{O}_{72}(\text{OH})_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Lovozero alkaline massif, Kola Peninsula. *Canadian Mineralogist*, 2020, V. 58, pp. 421–436. DOI: 10.3749/canmin.2000006.
14. Gritsenko Y. D., Chukanov N. V., Aksenov S. M., Pekov I. V., Varlamov D. A., Pautov L. A., Vozchikova S. A., Ksenofontov D. A., Britvin S. N. Odikhinchaitite, $\text{Na}_9\text{Sr}_3[(\text{H}_2\text{O})_2\text{Na}]\text{Ca}_6\text{Mn}_3\text{Zr}_3\text{NbSi}(\text{Si}_{24}\text{O}_{72})\text{O}(\text{OH})_3(\text{CO}_3) \cdot \text{H}_2\text{O}$, a new eudialyte-group mineral from the Odikhincha intrusion, Taimyr Peninsula, Russia. *Minerals*, 2020, V. 10, Paper 1062, DOI: 10.3390/min101210.
15. Johnsen, O.; Grice, J. D.; Gault, R. A. The crystal chemistry of the eudialyte group. *Canad. Mineral.*, 199, V. 37(4), pp. 865–891.
16. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Pekov I. V., Schöfer Ch., Van K. V. New data on the isomorphism in eudialyte-group minerals. 1. Crystal chemistry of eudialyte-group members with Na incorporated into the framework as a marker of hyperagpaitic conditions. *Minerals*, 2020, V. 10, 587. 16 pp. DOI: 10.3390/min10070587.
17. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V. New data on the isomorphism in eudialyte-group minerals. 2. Crystal-chemical mechanisms of blocky isomorphism at the key sites (review). *Minerals*, 2020, 10, 720. doi:10.3390/min10080720.
18. Sjöqvist A. S. L. The Tale of Greenlandite: Commemorating the Two-Hundredth Anniversary of Eudialyte (1819–2019). *Minerals*, 2019, V. 9(8), pp. 497–510. DOI:10.3390/min9080497.

References

1. Andrianov V. I. *AREN-85 — sistema kristallograficheskikh programm RENTGEN na EVM NORD, CM-4 i EC* (AREN-85— system of crystallographical programs RENTGEN for EVM NORD, SM-4 and EC). *Crystallography Reports*, 1987, V. 32, No. 1, pp. 228–232.

2. Golishev V. M., Simonov V. I., Belov N. V. *Kristallicheskaya struktura evdialita* (Crystal structure of eudialyte). *Crystallography Reports*, 1972, V.17, No. 6, pp. 1119–1123.

3. Rastsvetaeva R. K., Andrianov V. I. Novie Dannie o kristallicheskoj strukture evdialita (New data on the crystal structure of eudialyte). *Doklady AS*, 1987, V. 293, No. 5. pp. 1122–1126.

4. Rastsvetaeva R. K., Khomyakov A. P. *Kristallicheskaya struktura nizkozhelazistogo analoga evdialita* (Crystal structure of eudialyte low ferrum analog). *Doklady AS*, 1998, V. 362, No. 6, pp. 784–788.

16. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V., Pekov I. V., Schöfer Ch., Van K. V. New data on the isomorphism in eudialyte-group minerals. 1. Crystal chemistry of eudialyte-group members with Na incorporated into the framework as a marker of hyperagpaitic conditions. *Minerals*, 2020, V. 10, 587. 16 pp. DOI: 10.3390/min10070587.

17. Rastsvetaeva R. K., Chukanov N. V. New data on the isomorphism in eudialyte-group minerals. 2. Crystal-chemical mechanisms of blocky isomorphism at the key sites (review). *Minerals*, 2020, 10, 720. doi:10.3390/min10080720.

18. Sjöqvist A. S. L. The Tale of Greenlandite: Commemorating the Two-Hundredth Anniversary of Eudialyte (1819–2019). *Minerals*, 2019, V. 9(8), pp. 497–510. DOI:10.3390/min9080497.

Поступила в редакцию / Received 29.12.2020



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 552. 5

DOI: 10.19110/geov.2021.1.3

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПЕСЧАНИКОВ ТАЯОКУЯХИНСКОЙ СВИТЫ ВЕРХНЕГО ДЕВОНА НА ЮГО-ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ КРЯЖА КАНИН КАМЕНЬ (ПОЛУОСТРОВ КАНИН)

Н. Ю. Никулова¹, М. А. Павлова²¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар²ВСЕГЕИ, Санкт-Петербург

nikulova@geo.komisc.ru, Milana_Pavlova@vsegei.ru

Приведены результаты изучения литологических и геохимических характеристик песчаников таяокуяхинской свиты верхнего девона юго-восточной части полуострова Канин. Накопление упомянутых песчаников происходило в мелководном бассейне при отсутствии вулканической деятельности, в условиях незначительных периодических колебаний уровня моря, приводящих к изменению степени зрелости, сортировки и соотношения в породах глинистой и песчаной составляющих. Рассматриваемая толща образовалась за счет разрушения слабыветрелых в условиях умеренно теплого климата метаморфических пород. Установлено, что на формирование состава песчаников оказали влияние не менее чем два источника обломочного материала — гранатосодержащие кристаллические сланцы и метаморфизованные в зеленосланцевую фацию полевошпат-кварцевые песчаники. Последние, по всей видимости, являются источником обнаруженных в составе таяокуяхинской свиты знаковых содержаний золота.

Ключевые слова: таяокуяхинская свита, песчаники, химический состав, обломочный материал, источники сноса, условия осадконакопления.

SPECIFIC FEATURES OF SANDSTONES OF UPPER DEVONIAN TAYOKUYAKHINSKAYA FORMATION ON SOUTHEASTERN SLOPE OF THE KANIN KAMEN RANGE (KANIN PENINSULA)

N. Yu. Nikulova¹, M. A. Pavlova²¹Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar²VSEGEI, St. Petersburg

The results of studying the lithological and geochemical characteristics of sandstones of the Upper Devonian Tayaokuyakhinskaya Formation in the southeastern part of the Kanin Nos Peninsula are presented. The accumulation of sandstones of the Tayaokuyakhinskaya Formation occurred in the absence of volcanic activity in a shallow basin with small periodic fluctuations in sea level, which led to a change in the degree of maturity, sorting, and the ratio of clay and sandy components in the rock. The accumulation of the psammitic strata occurred due to the destruction and redeposition of weakly weathered sedimentary rocks in a moderately warm climate. It was established that the formation of the composition of sandstones was influenced by at least two sources of clastic material — garnet-bearing crystalline shales and feldspar-quartz sandstones metamorphosed into the greenschist facies. The latter, most likely, were the source of the indicative gold contents found in the Devonian clastic rocks.

Keywords: sandstone, chemical composition, clastic material, source of demolition, area of formation, conditions of sedimentation.

Актуальность изучения песчаников таяокуяхинской свиты, являющейся базальной толщей глобального седиментационного цикла, обусловлена отсутствием данных об их геохимических особенностях, позволяющих уточнить генетическую принадлежность, выявить особенности и закономерности осадконакопления для важного рубежа геологического развития территории. Практический и научный интерес к терригенным верхнедевонским образованиям этого района обусловлен сходством геологической ситуации в рассматриваемой зоне межформационного контакта

„фундамент/чехол” с ранее известными проявлениями золота и алмазов на Тимане. Отделом региональной геологии и полезных ископаемых полярных и приполярных территорий ФГБУ «ВСЕГЕИ» в ходе экспедиционных работ в 2018 г. проведено описание и опробование контакта протерозойских и верхнедевонских отложений, а также разрезов верхнего девона в береговых обнажениях р. Таянояха (рис. 1), в результате которых в грубообломочных породах таяокуяхинской свиты установлено присутствие единичных знаков золота.

Для цитирования: Никулова Н. Ю., Павлова М. А. Особенности вещественного состава песчаников таяокуяхинской свиты верхнего девона на юго-восточном склоне кряжа Канин Камень (полуостров Канин) // Вестник геонаук. 2021. № 1(313). С. 21—29. DOI: 10.19110/geov.2021.1.3.

For citation: Nikulova N. Yu., Pavlova M. A. Specific features of sandstones of upper devonian Tayokuyakhinskaya Formation on southeastern slope of the Kanin Kamen range (Kanin Peninsula). Vestnik of Geosciences, 2021, 1(313), pp. 21—29, doi: 10.19110/geov.2021.1.3.

Потенциальная золотоносность изучаемых пород так же определяет необходимость выяснения палеогеоодинамических и палеогеографических условий, существовавших во время формирования толщи, как и источников поступления обломочного вещества.

Целью проведенных нами исследований являлось установление литологических и геохимических характеристик, определение источников обломочного материала и условий формирования песчаников таяокуяхинской свиты.

Особенности геологического строения полуострова Канин

Изученные отложения верхнего девона с несогласием залегают на рифейских породах, составляющих ядро Канинского горст-антиклинория, расположенного на юго-восточном склоне кряжа Канин Камень в восточной части полуострова Канин (рис. 1). Основной тектонической структурой, определяющей геологическое строение полуострова Канин, является Канино-Северотиманский мегавал — северо-восточное продолжение Тиманской гряды*. Линейно-блоковое строение территории обусловлено глубинными разломами северо-западного простирания. Основным элементом тектонического плана территории является Канинский горст, ограниченный зонами Северного и Главного разломов и совпадающий с современным поднятием Канин Камень, в пределах которого на дневную поверхность выходят рифейские образования (рис. 1). Девонские отложения, представленные нижним и верхним подъярусами франского яруса, залегают на неравномерно размытой поверхности пород рифея, венда, реже — кембрия, ордовика. К нижнему подъярису относятся таврояхинская (D_3^{tv}) свита, сложенная песчаниками, алевролитами, базальтами с редкими прослоями гравелитов, конгломератов, туфопесчаников и туфоалевролитов, и таяокуяхинская (D_3^{tk}), в составе которой преобладают песчаники и гравелиты, подчиненное положение занимают алевролиты и конгломераты. Общая мощность свит составляет 230 м. Верхний подъярус общей мощностью более 300 м представлен воронежским горизонтом (D_3^{vr}), сложенным песчаниками, туфоалевролитами, углями, и рыбнорецкой свитой (D_3^{rb}), состоящей из песчаников и алевролитов.

Наиболее полные разрезы таяокуяхинской (D_3^{tk}) свиты, с угловым и стратиграфическим несогласием залегающей на породах мязгинской свиты среднего рифея (RF_2^{mz}), расположены на западном крыле Канинского

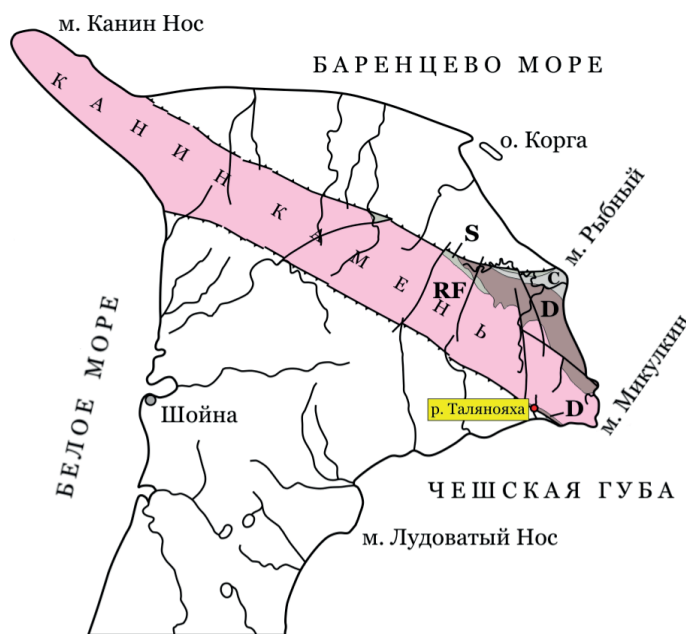


Рис. 1. Распространение девонских отложений (серый цвет) на юго-востоке полуострова Канин по [2]

Fig.1. Scheme of spread of Devonian deposits [2]

антиклинория, на побережье Чешской губы, в устьях рек Бол. Ойва, Тальяноха и Немазягуаха.

Объект и методы исследования

Объектом исследования являются песчаники таяокуяхинской свиты верхнего девона, описанные и опробованные в ряде коренных выходов в приустьевых участках долины р. Тальяноха, на юго-восточном склоне Канино-Северотиманского мегавала в ходе полевых работ Канинской партии отдела региональной геологии и полезных ископаемых полярных и приполярных территорий ВСЕГЕИ в 2018 году (рис. 2).

В строении разреза чередуются конгломераты, гравелиты, песчаники, алевролиты, аргиллиты. При этом в нижней и средней частях (таяокуяхинская свита) преобладают песчаники, а в верхней (немазягуахинская свита) возрастает доля тонкозернистых пород.

Значительная часть разреза таяокуяхинской свиты сложена песчаниками различного гранулометрического состава — от тонко- до грубозернистых. Они слагают преимущественно тонкогоризонтально-слоистые седиментационные ритмы мощностью до нескольких метров в составе сложно построенной песчано-конгломератовой толщи [1]. Песчаники характеризуются бластописаммитовой структурой, полосчатой текстурой, образованной ориентировкой слюистых минералов — биотита, в том числе существенно глинизированного, и мусковита. Преимущественно неокатанные и слабоокатанные обломки представлены кварцем, редко кислым плагиоклазом. В песчаниках присутствуют органические остатки животного и растительного происхождения.

В разрезе Тальяноха-2, расположенном в устье р. Тальяноха, вскрыт несогласный контакт метаморфических пород мязгинской свиты среднего рифея и терригенных образований девона [2, 3]. Рифейская часть разреза сложена двуслюдяными альбит-кварцевыми и

*Здесь и далее геологическое строение территории приведено по: Отчет о групповой геологической съемке м-ба 1:50000 и поисках, проведенных на территории листов R-38-111-Г, 123Б, 124АБВГ, 125АВГ, 126ВВг, Гвг, 137Аб, Баб, 138АБ, Гб, 139АБ, Ваб, Габг, 140Авг, Бвг, В, Г, 141ВГ, 142В; Q-38-8-Баб, 9АВГ, 10АВ на п-ве Канин / Архангельское ПГО, Тиманская ГРЭ, Нарьян-Мар, 1984. Отв. исполн. Б. А. Горностай.

*Hereinafter, the geological structure of the territory is given according to: Report on the group geological survey at scale 1: 50,000 and searches conducted on the territory of sheets R-38-111-Г, 123Б, 124АБВГ, 125АВГ, 126ВВг, Гвг, 137Аб, Баб, 138АБ, Гб, 139АБ, Ваб, Габг, 140Авг, Бвг, В, Г, 141ВГ, 142В; Q-38-8-Баб, 9АВГ, 10АВ on the Kanin Peninsula. Arkhangelsk Geological Association, Timan Geological Expedition, Naryan-Mar, 1984. B. A. Gornostay.

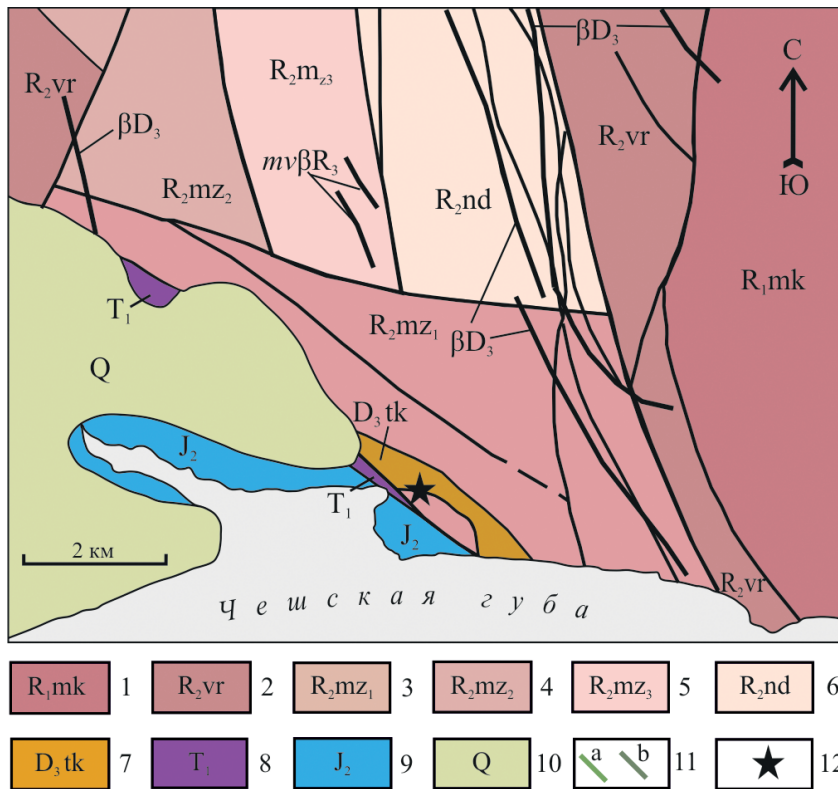


Рис. 2. Схематическая геологическая карта юго-восточной части полуострова Канин (по: Отчет, 1984 г.). Условные обозначения: 1–6 — свиты рифейских отложений: 1 — микулкинская; 2 — варысальская; 3–5 — подсвиты мязгинской; 6 — нюдерская; 7 — верхнедевонские отложения; 8 — нижний отдел триаса; 9 — средний отдел юры; 10 — четвертичная система; 11 — дайки: а — базальты верхнего девона, б — габбро-диабазы рифея; 12 — разрез контакта „рифей/девон” Таланояха-2

Fig. 2. Schematic geological map of the southeastern part of the Kanin Peninsula (after Gornostay, 1984 y.). Legend: 1 — Mikul'skaya Formation; 2 — Varysal'skaya Formation; 3–5 — Myazginskaya Formation; 7 — Devonian section, middle-upper Formation; 8 — Triassic section, lower section; 9 — Jurassic section, middle section; 10 — Quaternary system; 11 — dikes: a — Late Devonian basalts; b — Late Riphean metamorphosed gabbro-diabases; 12 — section of the Riphean / Devonian contact zone Talanoyakha-2

альбит-хлорит-кварцевыми кристаллосланцами с редкими зернами граната. Контакт рифейских и верхнедевонских пород резкий, неровный — волнистый или зубчатый (рис. 3, а). Девонские отложения представлены олигомиктовыми кварцево-сланцевыми тонко- и мелкозернистыми песчаниками (рис. 3, б) с базальным слюисто-глинистым (с пятнами карбонатного) цементом. Петрографический состав песчаников изучался в прозрачных шлифах, в работе использованы также описания Е. А. Котельникова. Содержания породообразующих оксидов определялись весовым химическим методом в ЦКП «Геонаука» Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН (г. Сыктывкар). Для интерпретации результатов химических анализов использованы различные петрохимические модули и индикаторные соотношения породообразующих оксидов, позволяющие провести реконструкцию палеогеографических и палеотектонических условий формирования отложений [4–15].

Геохимическая характеристика песчаников

Содержания главных породообразующих оксидов, литохимические модули и индикаторные соотношения, использованные для характеристики отложений и реконструкции условий их образования, приведены в таблице.

Для типизации песчаников использована классификация Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис [7], основанная на количественной оценке гипергенных изменений осадочных пород — выщелачивания и гидролиза — с помощью гидролизатного модуля (ГМ), дополненная петрографическими наблюдениями. По значениям гидролизатного модуля песчаники характеризуются как нормо-, мио-, гипосилиты, нормо- и суперсиалиты [7]. К сиалитам относятся песчаники существенно кварцево-

го состава с различным содержанием полевошпатовой и слюистой компонент. Песчаники, относящиеся к сиалитам, отличаются железистостью. Представленный в этой группе песчаник обр. 3000-4 характеризуется максимальным содержанием базального слюистого цемента, составляющего на отдельных участках более половины площади шлифа, и выделяющимся на фоне основной ткани густками и пятнами с существенно железистым цементом.

На диаграмме $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ — ГМ выделяются три группы (кластеры) фигуративных точек, обладающих сходными параметрами, и пять точек вне кластеров, отличающиеся некоторыми особенностями состава, но относящиеся к одному из выделенных литологических типов (рис. 4, а).

Кластеры и точки на этой диаграмме образуют два тренда, первый из которых отражает степень седиментационной зрелости пород — от существенно слюистых (рис. 3, с) до кварцевых, с редкими чешуйками слюды в цементе (рис. 3, д), песчаников. Второе направление соответствует изменению содержания в песчаниках граната (рис. 3, ф, г). Большая часть изученных образцов песчаников характеризуется значениями НКМ больше 0.3 (рис. 4, б), являющегося, по данным Я. Э. Юдовича и М. П. Кетрис, критерием присутствия в породе неизмененного калиевого полевого шпата [7]. Значения НКМ меньше 0.3 характерны только для песчаников, содержащих гранат. На диаграмме ГМ — ТМ, отражающей зависимость первичной титанистости пород от динамических факторов седиментогенеза, прослеживается зависимость между железистостью и титанистостью для девонских песчаников: наименее железистые и слюистые хорошо сортированные песчаники являются наиболее титанистыми. В то же время незначительным содержанием TiO_2 характеризуются хорошо сортированные гранат-кварцевые песчаники (рис. 4, с). По значению титанового модуля к нормотитанистым



Содержание породообразующих оксидов в песчаниках, мас. %

Content of rock-forming oxides in metasandstones, wt. %

№ обр.	3000 (2)-3	3000 (2)-4	3000 (2)-5	3000 (2)-9	3000 (2)-10	3000 (2)-11	3000 (2)-13	3000 (2)-15	3000 (2)-16	3000 -4	3000 -11	3000 -13	3000 -16	3000 -19	3000 -23	8007 -10	8007 -8	8007 -9
Оксиды Oxides	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂	71.74	81.98	80.18	71.60	64.00	68.50	72.99	76.92	67.64	49.11	68.55	80.32	59.48	60	71.15	63.96	59.88	62.69
TiO ₂	1.32	3.21	1.45	1.09	0.98	1.20	1.62	1.26	0.67	0.71	1.16	1.66	0.74	0.70	1.10	0.94	0.96	0.92
Al ₂ O ₃	10.20	4.63	6.45	10.62	13.90	11.92	9.69	7.06	12.19	20.40	11.57	6.50	15.45	16.60	8.97	9.61	16.43	15.41
Fe ₂ O ₃	3.10	2.30	3.45	2.82	2.30	1.84	2.33	4.05	1.85	8.19	4.64	2.50	2.55	3.58	4.96	2.04	5.23	1.52
FeO	2.97	2.70	1.85	2.91	8.36	6.45	5.02	2.21	7.52	2.26	2.59	1.90	10.43	3.83	3.15	2.18	3.08	2.46
MnO	0.05	0.11	0.06	0.04	0.89	0.27	0.32	0.05	0.37	0.10	0.07	0.078	1.34	0.044	0.044	0.14	0.079	0.063
MgO	0.43	1.05	0.84	1.64	1.48	1.43	1.24	1.09	1.69	2.93	2.00	1.04	1.58	2.58	1.88	1.61	1.95	1.91
CaO	2.52	0.21	0.53	0.53	1.60	1.28	0.96	0.53	1.28	0.20	0.10	0.10	1.32	0.01	0.60	7.00	1.20	2.60
Na ₂ O	2.52	0.97	1.48	2.14	1.38	1.20	0.98	1.02	1.30	3.42	1.87	1.08	1.40	2.98	1.25	2.41	4.03	4.01
K ₂ O	2.30	1.10	1.47	3.32	1.85	1.93	2.15	1.86	1.83	5.14	2.87	1.64	1.77	3.73	2.34	2.43	3.61	3.79
P ₂ O ₅	0.10	0.04	0.05	0.20	0.08	0.09	0.08	0.10	0.07	0.49	0.16	0.073	0.084	0.11	0.15	0.068	0.16	0.13
Ппп / Poi	3.97	1.92	2.58	5.05	3.22	3.85	3.33	3.61	3.38	7.17	4.45	2.68	3.25	5.65	4.84	7.63	3.47	4.87
Сумма / Sum	101.22	100.21	100.39	100.96	100.04	99.96	100.70	99.76	99.79	100.12	100.03	99.57	99.40	99.81	100.43	100.02	100.08	100.37
№ обр.	3000 (2)-3	3000 (2)-4	3000 (2)-5	3000 (2)-9	3000 (2)-10	3000 (2)-11	3000 (2)-13	3000 (2)-15	3000 (2)-16	3000 -4	3000 -11	3000 -13	3000 -16	3000 -19	3000 -23	8007 -10	8007 -8	8007 -9
Модули Modules																		
log(Na ₂ O/K ₂ O)	0.04	-0.05	0.00	-0.19	-0.13	-0.21	-0.34	-0.26	-0.15	-0.18	-0.19	-0.18	-0.10	-0.10	-0.27	0.00	0.05	0.02
log(SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	0.85	1.25	1.09	0.83	0.66	0.76	0.88	1.04	0.74	0.38	0.77	1.09	0.59	0.56	0.90	0.82	0.56	0.61
log(Fe ₂ O ₃ _{общ} /K ₂ O)	0.13	0.32	0.37	-0.07	0.09	-0.02	0.03	0.34	0.00	0.20	0.21	0.18	0.16	-0.02	0.33	-0.08	0.16	-0.40
F1	-1.46	-5.71	-3.74	-0.87	-2.99	-1.87	-3.46	-3.38	-1.47	1.98	-1.94	-3.92	-3.53	-0.01	-2.35	-0.16	0.32	1.15
F2	-1.61	6.49	2.22	-0.21	-4.28	-2.82	-0.90	1.91	-4.88	1.58	1.60	3.56	-5.39	-1.37	1.07	-0.13	-1.57	-1.14
F3	8.85	27.45	12.29	11.39	2.46	4.52	8.75	11.28	2.92	6.67	8.68	13.55	1.00	6.16	9.82	9.81	7.01	8.19
F4	5.89	43.79	14.12	9.06	4.32	6.76	11.43	13.11	4.59	4.40	8.99	17.38	2.76	4.82	11.66	8.26	4.19	4.64
SiO ₂ /Al ₂ O ₃	7.03	17.71	12.43	6.74	4.60	5.75	7.53	10.90	5.55	2.41	5.92	12.36	3.85	3.61	7.93	6.66	3.64	4.07
K ₂ O/Na ₂ O	0.91	1.13	0.99	1.55	1.34	1.61	2.19	1.82	1.41	1.50	1.53	1.52	1.27	1.25	1.87	1.01	0.90	0.95
Al ₂ O ₃ /SiO ₂	0.14	0.06	0.08	0.15	0.22	0.17	0.13	0.09	0.18	0.42	0.17	0.08	0.26	0.28	0.13	0.15	0.27	0.25
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.23	0.24	0.23	0.31	0.13	0.16	0.22	0.26	0.15	0.25	0.25	0.25	0.12	0.22	0.26	0.25	0.22	0.25
CIA	48	60	56	57	66	65	63	60	65	64	64	63	70	65	61	33	56	50
ICV	1.6	2.5	1.7	1.5	1.0	1.0	1.3	1.7	1.1	1.2	1.4	1.6	0.9	1.1	1.7	2.7	1.4	1.5
CIW	54	70	65	70	73	73	74	73	73	77	78	77	77	77	74	37	65	58
Fe/Mn	83	33	60	111	10	27	19	88	22	59	71	38	9	121	121	22	68	49
(Fe+Mn)/Ti	4	1	3	4	12	7	4	4	14	9	5	2	19	9	5	4	6	4
Al/(Al+Fe+Mn)	0.6	0.5	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.7	0.6	0.6	0.5	0.7	0.5	0.7	0.7	0.8
HKM	0.47	0.45	0.46	0.51	0.23	0.26	0.32	0.41	0.26	0.42	0.41	0.42	0.21	0.40	0.40	0.50	0.47	0.51
ГМ	0.25	0.14	0.17	0.24	0.41	0.32	0.26	0.19	0.33	0.64	0.29	0.16	0.51	0.41	0.26	0.23	0.43	0.32
ТМ	0.13	0.70	0.23	0.10	0.07	0.10	0.17	0.18	0.06	0.04	0.10	0.26	0.05	0.04	0.13	0.10	0.06	0.06

Примечания (Notes): 1) образцы 1–15 — таяокуяхинская свита верхнего девона (samples 1–15 belong to Upper Devonian Tayaokuyakhinskaya formation); 16–18 — мязгинская свита среднего рифея (16–18 — Upper Riphean Myazginskaya formation);

2) F1=0.303–0.447SiO₂–0.972 TiO₂+0.008Al₂O₃–2.67Fe₂O₃+0.208 FeO+0.082MnO+0.14MgO+0.195CaO+0.719Na₂O–0.032K₂O+7.51P₂O₅;

F2=43.57–0.421SiO₂+1.988TiO₂–0.526Al₂O₃–0.551Fe₂O₃–1.61FeO+2.72MnO+ 0.881 MgO –0.907CaO–0.177Na₂O–1.84K₂O+7.244P₂O₅;

F3=30.638TiO₂/Al₂O₃–12.54Fe₂O₃_{общ}/Al₂O₃+7.329MgO/Al₂O₃+12.031NaO/Al₂O₃+35.402K₂O/Al₂O₃–6.382;

F4= 56.5TiO₂/ Al₂O₃–10.897 Fe₂O₃_{общ}/Al₂O₃+30.875 MgO/Al₂O₃–5.404 Na₂O/Al₂O₃+11.112 K₂O/Al₂O₃–3.89.

ГМ=Al₂O₃+TiO₂+Fe₂O₃+FeO+MnO)/SiO₂; HKM=N₂O+K₂O/Al₂O₃, ТМ=TiO₂/Al₂O₃; CIA=100Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO+Na₂O+K₂O), ICV+ (Fe₂O₃+K₂O+Na₂O+Ca₂O+ Mg₂O=TiO₂)/Al₂O₃, CIW=100Al₂O₃/(Al₂O₃+CaO+Na₂O) (молекулярные количества).

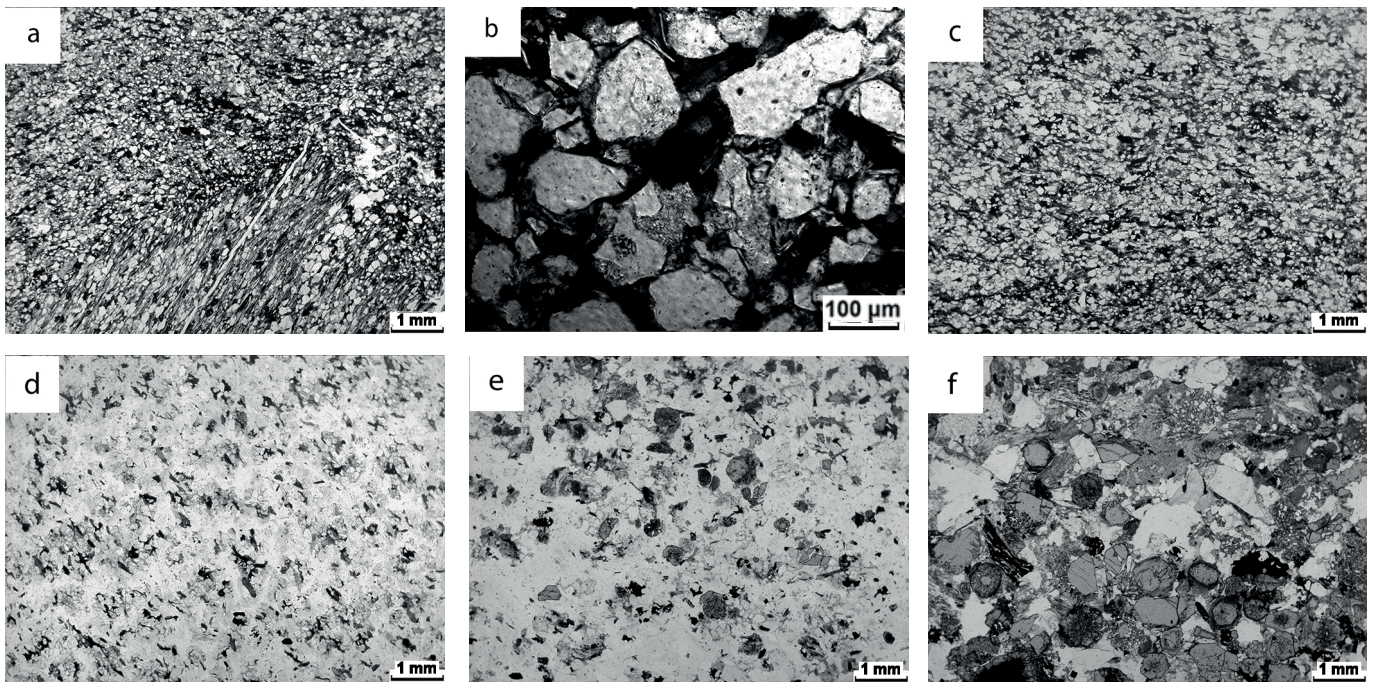


Рис. 3. Структурно-текстурные особенности песчаников: а — зубчатый контакт рифейских кристаллосланцев и песчаников таяокуяхинской свиты, обр. 8007-4; б–ф — песчаники таяокуяхинской свиты: б — с базальным слюдястым и глинистым цементом, обр. 8007-9; с — мелкозернистый полевошпат-кварцевый песчаник с глинисто-слюдястым цементом, обр. 3000-11; д — кварцевый песчаник с редкими чешуйками слюды в цементе, обр. 3000(2)-4; е — песчаник с зернами граната, обр. 3000(2)-13; ф — кварцевый песчаник с гранатом, обр. 3000-16

Fig. 3. Structural and textural features of sandstones: а — jagged contact of Riphean crystal schists and sandstones of the Tayaokuyakhinskaya Formation, sample 8007-4; б–ф — sandstones of the Tayaokuyakhinskaya Formation: б — basal mica and clay cement, sample 8007-9; с — fine-grained feldspar-quartz sandstone with clay-mica cement, sample 3000-11; д — quartz sandstone with rare mica flakes in cement, sample 3000(2)-4; е — sandstone with garnet grains, sample 3000(2)-13; ф — garnet-quartz sandstone, sample 3000-16

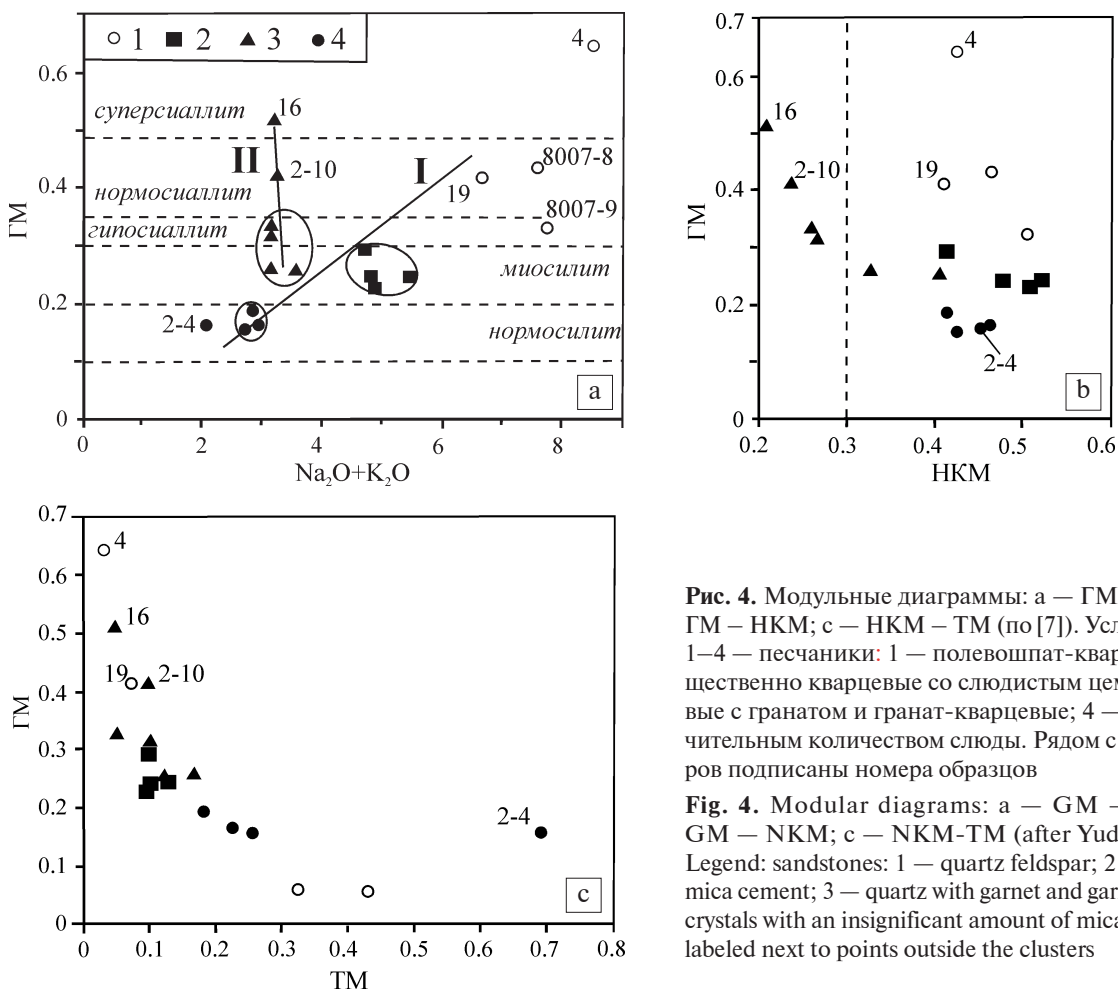


Рис. 4. Модульные диаграммы: а — ГМ — $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; б — ГМ — НКМ; в — НКМ — ТМ (по [7]). Условные обозначения: 1–4 — песчаники: 1 — полевошпат-кварцевые; 2 — преимущественно кварцевые со слюдястым цементом; 3 — кварцевые с гранатом и гранат-кварцевые; 4 — кварцевые с незначительным количеством слюды. Рядом с точками вне кластеров подписаны номера образцов

Fig. 4. Modular diagrams: а — GM — $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$; б — GM — НКМ; в — НКМ — ТМ (after Yudovich, Ketris, 2000). Legend: sandstones: 1 — quartz feldspar; 2 — mostly quartz with mica cement; 3 — quartz with garnet and garnet-quartz; 4 — quartz crystals with an insignificant amount of mica. Sample numbers are labeled next to points outside the clusters

относится большая часть сиаллитов, к супертитанистым — по два образца сиалитов и сиаллитов, к гипертитанистым — большинство сиалитов. Значение титанового модуля рифейских кристаллосланцев соответствует средним значениям для метапесчаных пород рифея. Девонские песчаники, относящиеся к классу сиалитов, по этому показателю сходны с типичными палеозойскими псаммитами, а песчаники, относящиеся к сиаллитам, немного превышают этот показатель или близки к вулканомиктовым отложениям. Повышенная титановость рифейских песчаников обусловлена, по всей видимости, наложениями факторов гидродинамической сортировки и особенностей петрофонада.

На диаграмме $K_2O - Na_2O$ [4] большинство фигуративных точек девонских псаммитов находятся в поле аркозов (рис. 5, а). Вблизи условной границы раздела аркозов и граувакк расположены три точки гранатосодержащих песчаников из разреза в устье р. Тялянояха и обе точки рифейских полевошпат-кварцевых песчаников, отличающихся значительно более высокими содержаниями обеих щелочей. На диаграмме $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Na_2O/K_2O)$ [12] эти же породы оказались в полях граувакк (рис. 5, б), а большинство точек девонских песчаников распределены в полях аркозов, лититов и сублититов.

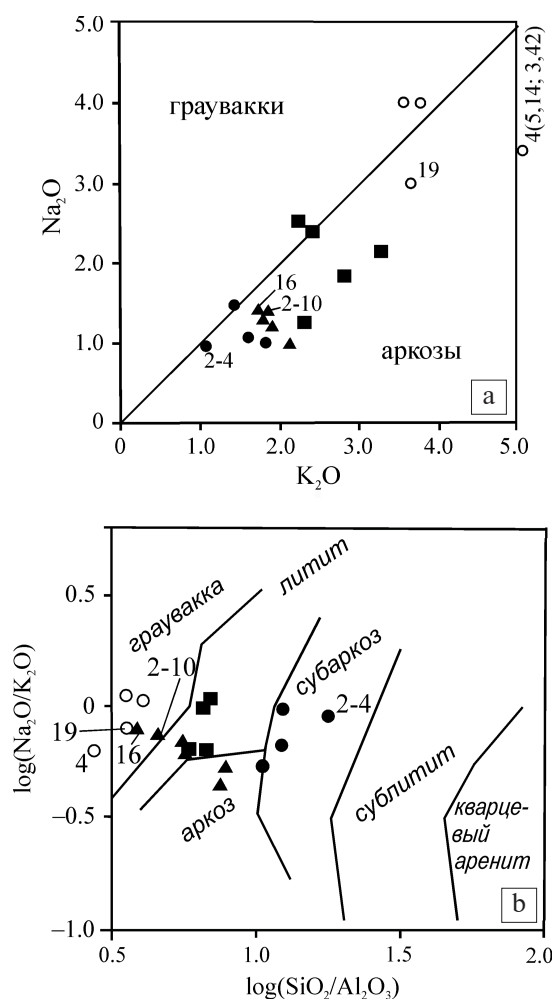


Рис. 5. Классификационные диаграммы: а — $K_2O - Na_2O$ (по [4]); б — $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Na_2O/K_2O)$ (по [12]). Условные обозначения см. на рис. 4, а

Fig. 5. Classification diagrams: а — $K_2O - Na_2O$ (after [4]); б — $\log(SiO_2/Al_2O_3) - \log(Na_2O/K_2O)$ (after [12]). Legend in Fig. 4, а

На диаграмме F3 – F4 [15], отражающей источники обломочного материала, все точки псаммитов таяокуяхинской свиты и рифейских кристаллосланцев расположены в поле богатых кварцем осадочных образований (рис. 6). Наиболее близко к полям изверженных пород располагаются точки, соответствующие девонским песчаникам с гранатом и рифейским кристаллосланцам, отличающимся минимальным содержанием кварца. Наиболее удаленное положение от полей изверженных пород занимают наименее слюдистые мюнокварцевые разновидности песчаников. Значения индекса химического выветривания CIA [14] для большинства изученных образцов соответствуют слабовыветрелым породам со значениями CIA 55–60 (см. таблицу). Максимальное значение индекса CIA (70) имеют песчаники с наибольшим содержанием граната, минимальное (33) — песчаники, у которых в цементе присутствует карбонат. Индекс изменения состава ICV [10] только у трех образцов гранатосодержащих песчаников не превышает пороговое значение 1, что характеризует эти отложения как наиболее зрелые. Для остальных девонских и рифейских песчаников характерно присутствие незрелого обломочного материала (см. таблицу). Максимальной степенью изменения размываемых пород гранатосодержащие песчаники выделяются и на диа-

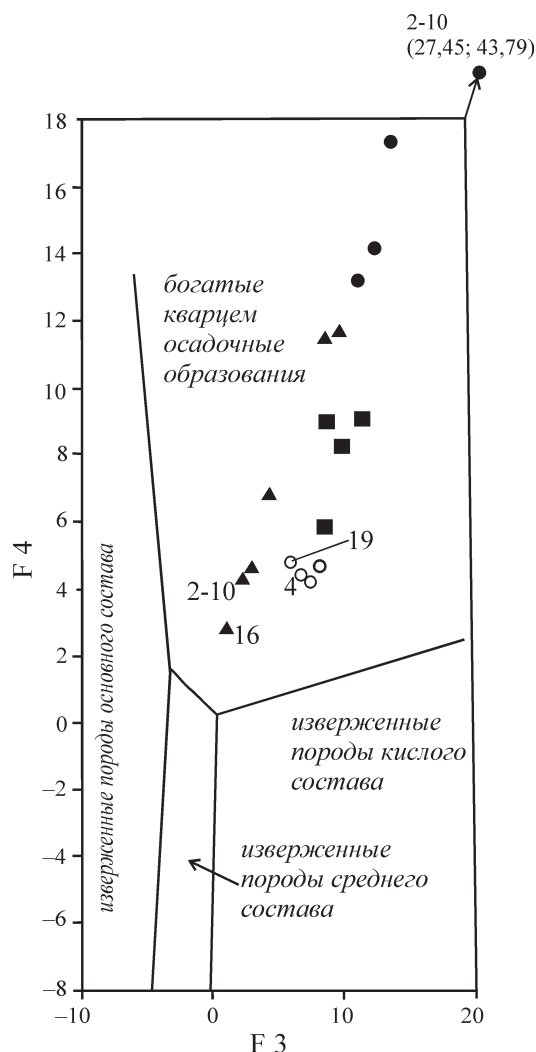


Рис. 6. Положение точек составов песчаников на диаграмме F3 – F4 (по: [15]). Условные обозначения см. на рис. 4, а

Fig. 6. Positions of sandstone composition points in the F3 – F4 diagram (after [15]). Legend in Fig. 4, а



грамме ICV – CIA [13], где большинство фигуративных точек занимают промежуточное положение между линиями, соответствующими составам размываемых основных и кислых пород, а точки наименее слюистых песчаников находятся за линией базальтового тренда (рис. 7). Отдельно располагается фигуративная точка обр. 3000(2)-4, отличающегося максимальной титанистостью, обусловленной, по всей видимости, как субстратным, так и седиментационным фактором.

Индекс выветривания CIW [11], отражающий степень выветрелости материала на палеоводосборах, для большинства образцов песчаников составляет 73–77, что характерно для слабой и средней степеней разложения исходных пород, а минимальные значения (54 и 37) соответствуют песчанкам с карбонатным цементом (см. таблицу).

Соотношение Fe/Mn [5], используемое в качестве фациального индикатора для осадочных отложений, в рассматриваемых песчанках изменяется от 9 до 83, что соответствует относительно глубоководным (для карбонатсодержащих песчаников) и мелководным морским (для хорошо сортированных кварцевых песчаников) отложениям. Большинство значений этого индикаторного соотношения для изученных песчаников соответствует породам, образованным в прибрежно-морских условиях, минимальные значения характерны для гранатосодержащих песчаников. Мы считаем, что повышенные содержания марганца в данном случае определяются больше особенностями петрофонда, нежели накоплением его в глубоководных условиях.

Титановый модуль $(Fe+Mn)/Ti$ [6] в интервале 1–19 и алюминевый модуль $Al/(Al+Fe+Mn)$ [9] в интервале 0.5–0.8 характеризуют породы как не содержащие примесей экзотического материала (см. таблицу).

Значения калиевого модуля K_2O/Al_2O_3 [10] 0.13–0.26 соответствуют породам, сформированным преимущественно за счет рециклированного материала (см. таблицу), а максимальное значение 0.31 у обр. 3000(2)-9 объясняется незначительным, в пределах погрешности анализа, преобладанием калия над натрием.

На диаграмме $SiO_2 - K_2O/Na_2O$ [15] фигуративные точки кварцевых девонских песчаников с незначительным содержанием слюды расположены в поле пород, образованных в условиях пассивной континентальной окраины (рис. 8, а). Точки девонских песчаников как с

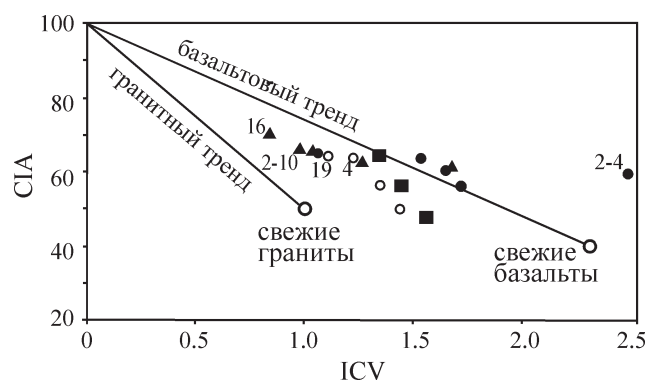


Рис. 7. Положение фигуративных точек песчаников на диаграмме ICV – CIA (по [13]). Условные обозначения см. на рис. 4, а

Fig. 7. Position of the figurative points of the sandstones in the ICV–CIA diagram (after [13]). Legend in Fig. 4, a

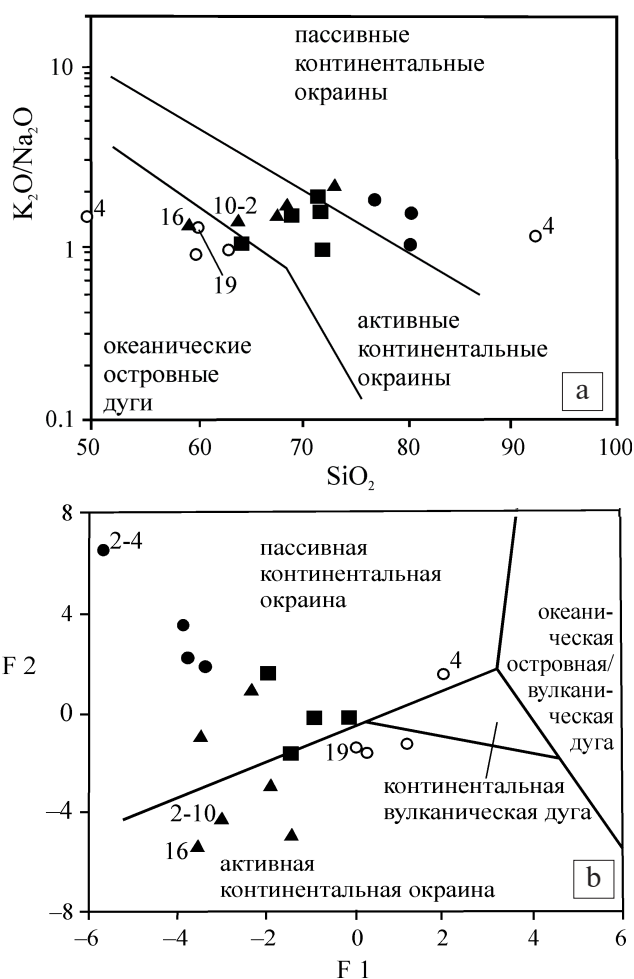


Рис. 8. Положение фигуративных точек составов песчаников на диаграммах: а – $SiO_2 - K_2O/Na_2O$ (по [15]); б – $F1 - F2$ (по [8]). Условные обозначения см. на рис. 4, а

Fig. 8. Position of figurative points of sandstone compositions on the diagram: а – $SiO_2 - K_2O/Na_2O$ (after [15]); б – $F1 - F2$ (after [8]). Legend in Fig. 4, a

гранатом, так и с карбонатным цементом попали в поле активной континентальной окраины, а точки полевошпат-кварцевых и одного образца гранатосодержащего песчаников – в поле пород, образованных в условиях океанической островной дуги, что объясняется слабой геохимической переработкой существенно вулканомиктового обломочного материала. На диаграмме $F1 - F2$ [8] в поле пассивной континентальной окраины находятся фигуративные точки относительно хорошо сортированных кварцевых и карбонатсодержащих девонских песчаников (рис. 8, б). Точки рифейских пород, а также слюистые и гранатосодержащие разновидности девонских песчаников оказались в поле активной континентальной окраины.

Заключение

Анализ индикаторных соотношений, петрохимических модулей и характера расположения фигуративных точек составов на различных диаграммах позволил выделить и охарактеризовать несколько разновидностей песчаников таяокуяхинской свиты. На классификационных и дискриминационных диаграммах фигуративные точки образуют соответствующие лито- и хемотипам отдельные группы песчаников: полево-

шпат-кварцевые слюдистые, по составу близкие рифейским метаосадочным породам; с глинисто-слюдистым, участками карбонатным цементом; хорошо сортированные песчаники монокварцевого состава; с базальным слюдисто-глинистым цементом и редкими зернами граната; гранатосодержащие песчаники с содержанием граната до 75 %.

На диаграммах, применяемых для реконструкции палеогеодинамических обстановок, фигуративные точки составов песчаников попадают в поля, соответствующие обстановкам активной и пассивной континентальных окраин (рис. 8). Расположение фигуративных точек песчаников в поле активной континентальной окраины в данном случае объясняется присутствием в составе существенного количества слабоизмененного вулканогенного материала и показывает зависимость изменения состава песчаников от смены обстановок осадконакопления и источников обломочного материала — уменьшения влияния подстилающих отложений, углубления бассейна и вовлечения в область размыва гранат- или карбонатсодержащих пород.

Петрохимические особенности песчаников верхнедевонской таяокуяхинской свиты обусловлены особенностями состава подстилающих рифейских отложений: в области размыва в различные временные интервалы преобладали высокометаморфизованные гранатосодержащие кристаллические сланцы или слабо-метаморфизованные, на уровне зеленосланцевой фации, полевошпат-кварцевые песчаники. В поле развития таких песчаников залегают рифейские, вендские и кембрийские интрузивные образования основного состава, в экзоконтактах которых установлено золото. В девонских породах золото присутствует в песчаниках и не содержащих гранат слабослюдистых разновидностях кварцевых песчаников. Можно предполагать, что источником золота были полевошпат-кварцевые песчаники горелорецкой или подлейской свит, распространенных к северо-западу от изучаемого района. Периодическое вовлечение в область размыва гранатосодержащих метаморфитов влекло за собой появление значительных количеств устойчивого к выветриванию граната в составе отдельных слоев девонских песчаников.

Накопление песчаников таяокуяхинской свиты происходило в отсутствие активной вулканической деятельности в условиях мелководья, при периодических колебаниях глубины бассейна и смене источников поступления обломочного материала, приводящих к изменению степени зрелости, сортировки, соотношения глинистой и песчаной составляющих и минерального состава. Петрохимические характеристики песчаников отражают также изменение седиментационной зрелости осадка — от относительно железистых и глиноземистых со значительным количеством слабовыветрелого вулканомиктового материала, образованных в крайне мелководных активных гидродинамических условиях, до хорошо сортированных, сформированных в спокойных гидродинамических условиях мелкозернистых разновидностей кварцевых песчаников, в цементе которых нередко присутствует карбонат. Единичные знаки золота установлены в слабослюдистых хорошо сортированных песчаниках, в формировании которых принимали участие продукты размыва пород горелорецкой

или подлейской свит, выходы которых в современном структурном плане располагаются северо-западнее изученного разреза.

Литература

1. Безносков П. А., Снигиревский С. М., Сивкова А. П., Павлова М. А., Зархидзе Д. В. Осадочный комплекс девонских отложений восточной части полуострова Канин // Материалы XVII Геол. съезда Республики Коми. Сыктывкар, 2019. С. 29–32.
2. Зархидзе Д. В., Богатырев Л. И., Цыбульская А. Е., Павлова М. А. Зона межформационного контакта рифея и позднего девона на крыльях Канинского антиклинория // Там же.
3. Павлова М. А., Зархидзе Д. В., Богатырев Л. И., Цыбульская А. Е. Межформационный контакт рифейских и верхнедевонских образований полуострова Канин // Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента: Материалы 27-й научн. конф. Сыктывкар, 2018. С. 166–171.
4. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 536 с.
5. Розен О. М., Журавлев Д. З., Ляпунов С. М. Геохимические исследования осадочных отложений Тимано-Печорской провинции // Разведка и охрана недр. 1994. № 1. С. 18–21.
6. Страхов Н. М. Проблемы геохимии современного океанского литогенеза. М.: Наука, 1976. 300 с.
7. Юдович Я. Э., Кемпис М. П. Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.
8. Bhatia M. R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones // The Journal of Geology. 1983. V. 91. № 6. P. 611–627.
9. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganese active ridge sediments / Stockholm Contrib. Geol. 1973. V. 27. No. 2. P. 148–243.
10. Cox R., Lowe D. R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review / J. Sed. Res. 1995. V. 65. P. 1–12.
11. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering / Sed. Geol. 1988. V. 55. No. 3/4. P. 319–322.
12. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data / J. Sed. Petrol. 1988. V. 58. P. 820–829.
13. Lee Y. I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea // Sedimentary Geology. 2002. V. 149. P. 219–235.
14. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites / Nature. 1982. V. 299. P. 715–717.
15. Roser B. P., Korsch R. J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. The Journal of Geology. 1986. V. 94. № 5. P. 635–650.

References

1. Beznosov P. A., Snigirevsky S. M., Sivkova A. P., Pavlova M. A., Zarhidze D. V. *Osadochny kompleks devonskikh otlozhenii vostochnoi chasti poluoostrova Kanin* (Sedimentary complex of Devonian deposits of the eastern part of the Kanin Peninsula). Proceedings of Geological congress. Syktyvkar, 2019, pp. 29–32.
2. Zarhidze D. V., Bogatyrev L. I., Tsybul'skaya A. E., Pavlova M. A. *Zona mezhformatcionnogo kontakta rifeia i pozdnego devona na*



kryliakh Kaninskogo anticlinoria (Zone of interformational contact between Riphean and Late Devonian on the wings of the Kaninsky anticlinorium). Proceedings of Geological congress. Syktyvkar, 2019, pp. 29–32.

3. Pavlova M. A., Zarhidze D. V., Bogatyrev L. I., Tsybul'skaya A. E. *Mezhformatcionny kontakt rifeiskikh i verkhnedevonskikh obrazovaniy poluostrova Kanin* (Interformational contact of the Riphean and Upper Devonian formations of the Kanin Peninsula). *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severouralskogo segmenta* (Structure, matter, history of lithosphere of Timan-Northern Ural segment). Proceedings of conference. Syktyvkar, 2018, pp. 166–171.

4. Pettidzhon F., Potter P., Siver R. *Peski i peschaniki* (Sands and sandstones). Moscow: Mir, 1976, 536 p.

5. Rozen O. M., Guravlev D. Z., Lyapunov S. M. *Geokhimicheskie issledovaniya osadochnykh otlozheniy Timano-Pecherskoy provincii* (Geochemical studies of sedimentary deposits in the Timan-Pechora province). *Razvedka i ochrana nedr* (Exploration and protection of mineral resources), 1994, No 1, pp. 18–21.

6. Strachov N. M. *Problemy geokhimii sovremennogo okeanskogo litogeneza* (Problems of Geochemistry of modern oceanic lithogenesis). Moscow: Nauka, 1976, 300 p.

7. Yudovich Y. E., Ketris M. P. *Osnovy litokhimii* (Basics lithochemistry). St. Petersburg: Science, 2000, 479 p.

8. Bhatia M. R. Plate tectonic and geochemical composition of sandstones. *The Journal of Geology*, 1983, V. 91, No. 6, pp. 611–627.

9. Bostrom K. The origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments. *Stockholm Contrib. Geol.* 1973, V. 27, No. 2, pp. 148–243.

10. Cox R., Lowe D. R. Controls of sediment composition on a regional scale: a conceptual review. *J. Sed. Res.*, 1995, V. 65, pp. 1–12.

11. Harnois L. The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sed. Geol.*, 1988, V. 55, No. 3/4, pp. 319–322.

12. Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *J. Sed. Petrol.*, 1988, V. 58, pp. 820–829.

13. Lee Y. I. Provenance derived from the geochemistry of late Paleozoic-early Mesozoic mudrocks of the Pyeongan Supergroup, Korea. *Sedimentary Geology*, 2002, V. 149, pp. 219–235.

14. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, V. 299, pp. 715–717.

15. Roser B. P., Korsch R. J. Determination of tectonic setting of sandstone-mudstone suites using SiO₂ content and K₂O/Na₂O ratio. *The Journal of Geology*, 1986, V. 94, No. 5, pp. 635–650.

Поступила в редакцию / Received 17.11.2020



ПРОИСХОЖДЕНИЕ КРУПНЫХ АЛМАЗОВ В КИМБЕРЛИТАХ

В. С. Шкодзинский

Институт геологии алмазов и благородных металлов СО РАН, Якутск

shkodzinskiy@diamond.ysn.ru

Получены доказательства существования и фракционирования на Земле глобального магматического океана, позволяющие выделить два этапа образования крупных алмазов. Алмазы-гиганты возникали на раннем этапе кристаллизации и фракционирования придонного перидотитового слоя магматического океана, который в это время был перекрыт еще горячими верхними слоями, поэтому остывал и кристаллизовался очень медленно и длительно. Ультрамафит-мафитовый состав этого слоя и низкая вязкость слагающих его магм обусловили октаэдрическую форму алмазов-гигантов. Кристаллизовавшиеся позже ромбододекаэдрические алмазы имеют повышенные размеры за счет процессов роста их на ранних октаэдрических кристаллах.

Ключевые слова: генезис алмазов, алмазы-гиганты, магматический океан, горячая аккреция.

ORIGIN OF LARGE DIAMONDS IN KIMBERLITE

V. S. Shkodzinskiy

Institute of Geology of Diamonds and Noble Metals SB RAS, Yakutsk

The evidence of the existence and fractionation of the global magmatic ocean on the Earth allows us to distinguish two stages of the formation of diamonds of increased size. The largest giant diamonds arose at an early stage of crystallization and fractionation of the peridotite layer of the magmatic ocean, since its bottom layer at that time was blocked by still hot upper ones and therefore cooled and crystallized very slowly and long. The mafic composition of this layer and the low viscosity of its magmas caused mainly octahedral cutting of the formed giant diamonds. Later crystallized mainly rhombododecahedral diamonds have increased coarseness due to the formation mainly by the growth of early octahedral crystals.

Keywords: diamond genesis, giant diamonds, magmatic ocean, hot accretion.

Введение

Ценность крупных алмазов, особенно алмазов-гигантов, несоизмерима с сопоставимыми объемами мелких кристаллов, поэтому выяснение их генезиса весьма важно для эффективного прогноза и поиска алмазосодержащих месторождений. Однако до настоящего времени эта проблема не имела убедительного решения и даже обычно не обсуждалась в публикациях. Например, из более чем полутора тысяч расширенных тезисов докладов в материалах четырех международных кимберлитовых конференций, прошедших за последние 20 лет, нет ни одного, посвященного происхождению таких алмазов. Это в значительной степени обусловлено отсутствием обоснованного решения проблемы генезиса кимберлитов и неэффективностью гипотезы холодной гомогенной аккреции Земли, которая в явной или неявной форме обычно используется при рассмотрении природы глубинных геологических процессов. Полученные доказательства образования Земли путем горячей гетерогенной аккреции создают возможность детального анализа генезиса крупных алмазов.

Доказательствами горячего образования Земли являются расчетные данные об импактном разогреве вещества на 34 000 °С при аккреции [8], существование трендов магматического фракционирования в мантийных ксенолитах и раннедокембрийских кристаллических комплексах, уменьшение температуры формирования и изотопного возраста их различных пород в соответствии с последовательностью возникновения

при фракционировании, проекции ранних геотермических градиентов в область очень высокой температуры (до 1000 °С) на земной поверхности и множество других данных [9, 10]. Содержание в мантийных породах хорошо растворимых в металлическом железе сидерофильных элементов [8] и кислорода [14], в сотни — тысячи раз большее, чем в случае химического равновесия их с железом, распространение на Земле воды и углекислоты, а не H_2 и CO свидетельствуют, что силикатные и железные частицы никогда не были перемешаны в земных недрах и, следовательно, аккреция могла быть только гетерогенной. При этом ядро образовалось раньше мантии в результате быстрого объединения железных частиц под влиянием мощных магнитных сил [10, 13].

Происхождение кимберлитов и ранних алмазов-гигантов

При таком формировании Земли после завершения аккреции на ней существовал слоистый магматический океан с максимальной глубиной около 250 км [9]. Длительное остывание и кристаллизация его верхнего кислого и глубинных базит-гипербазитовых слоев привели к образованию соответственно кислой кристаллической коры и литосферы древних платформ. Всплытие остаточных расплавов из этих слоев обусловило формирование сначала различных гранитоидов и кислых вулканитов, затем средних и основных

Для цитирования: Шкодзинский В. С. Происхождение крупных алмазов в кимберлитах // Вестник геонаук. 2021. № 1(313). С. 30—34. DOI: 10.19110/geov.2021.1.4.

For citation: Shkodzinskiy V. S. Origin of large diamonds in kimberlite. Vestnik of Geosciences, 2021, 1(313), pp. 30—34, doi: 10.19110/geov.2021.1.4.



магматических пород различной щелочности и, наконец, щелочно-ультраосновных карбонатитсодержащих магматических серий.

Кимберлиты образовались в результате фракционирования придонного перидотитового слоя. Кристаллизация магматического океана сверху вниз привела к формированию кимберлитов в наиболее поздние циклы (их изотопный возраст в среднем составляет 236 миллионов лет [9, 12]). Раздвижение родоначальных для кимберлитов нижних частей континентальной литосферы поднимавшимися мантийными плюмами при формировании океанических областей объясняет отсутствие кимберлитов в этих и складчатых областях (правило Клиффорда). Широко распространенные в кимберлитах мантийные ксенолиты различного состава являются кумулатами фракционировавшихся перидотитовых магм.

Алмаз кристаллизовался в результате накопления углерода в остаточном расплаве придонного перидотитового слоя магматического океана, поскольку этот компонент почти не входил в состав формировавшихся порообразующих минералов. Первые кристаллы алмаза образовались около 3.5 миллиардов лет назад еще при гарцбургитовом составе расплава, что объясняет наиболее древний изотопный возраст включений в них гарцбургитового парагенезиса [10]. В дальнейшем состав остаточного расплава и включений эволюционировал до лерцолитового, пироксенитового, эклогитового и, наконец, кимберлитового (рис. 1). Наиболее низкая вязкость перидотитового расплава (десятые доли пуаз [4, 7]) обусловила большую скорость диффузии углерода в нем. Поэтому большинство его атомов успевало достигнуть торцов слоев роста кристаллов алмаза и присоединялась к ним, поскольку именно здесь обнажалось больше ковалентных связей, чем на гранях. Вследствие этого рост кристаллов был послойным и возникали идеальные плоскогранные островершинные октаэдры алмазов с зеркально-гладкими гранями [11].

В дальнейшем накопление кремния, алюминия и других многовалентных элементов в остаточном расплаве приводило к увеличению его вязкости в тысячи раз и примерно во столько же раз — к уменьшению скорости диффузии в них углерода. Вследствие этого слои на кристаллах росли все медленнее. Возрастание степени пересыщения расплава углеродом обусловило все более быстрое зарождение новых слоев. В результате этого грани покрывались сокращавшимися по площади слоями и формировались слоистые, полицентрические, блочные и округло-ступенчатые октаэдры. В дальнейшем на месте ребер и вершин октаэдров возникали грани соответственно ромбододекаэдра и куба, формируя, таким образом, кристаллы этих морфологий (рис. 1). Вследствие увеличения степени пересыщения расплавов углеродом послойный рост сменялся радиальным, что привело к образованию разнообразных скульптур на кристаллах и возникновению алмазных агрегатов. Накопление в остаточных расплавах второстепенных компонентов обусловило рост содержания примесей от ранних алмазов к поздним и уменьшение в них величины удельной интенсивности рентгенолюминесценции примерно от 1.8 до 0 условных единиц [9].

При подобном механизме образования наиболее крупные алмазы-гиганты массой в десятки — сотни карат формировались на самой ранней стадии кристалли-

зации перидотитового слоя. Кристаллизация его происходила вначале медленно, поскольку до рубежа в 1.5 миллиарда лет назад он был перекрыт горячими верхними слоями магматического океана (рис. 1). Вследствие еще небольшого пересыщения расплава углеродом и очень медленного снижения температуры новые зародыши кристаллов возникали редко и происходило преимущественно укрупнение за счет разрастания ранее возникших алмазов. Небольшая вязкость расплава обусловила в это время формирование октаэдрических алмазов, что объясняет резкое преобладание среди алмазов-гигантов кристаллов данной морфологии. Например, из 330 изученных К. П. Аргуновым таких алмазов из месторождений Якутии 227 было представлено октаэдрами и только 3 (около 1 % кристаллов) — ромбододекаэдрами [1, 2].

Очевидно, что размер кристаллов-гигантов должен увеличиваться от ранних к поздним. Это подтверждается тем, что в изученных К. П. Аргуновым алмазах-гигантах Якутской кимберлитовой провинции средний вес гладкогранных октаэдров равен 46 каратам, полицентрических октаэдров — 50 каратам, слоистых — 72 каратам, изредка встречающихся среди них ромбододекаэдров — 151 карату (рис. 2). Количественное преобладание среди алмазов-гигантов октаэдров и увеличение их среднего размера от ранних кристаллов к поздним подтверждает их формирование на ранней стадии кристаллизации перидотитового слоя магматического океана.

Среди кимберлитов по составу выделяются две разновидности (рис. 3). В Якутской кимберлитовой провинции они содержат пониженное количество кремнекислоты (23—33 %) и имеют карбонатитовую тенденцию дифференциации. Для африканских кимберлитов характерно более высокое среднее содержание кремнекислоты, достигающее в трубке Премьер 46.78 %, и лампроитовая тенденция фракционирования. Экспериментальными исследованиями установлено, что скорость образования зародышей алмазов в вязкой среде в несколько раз ниже, чем в маловязкой.

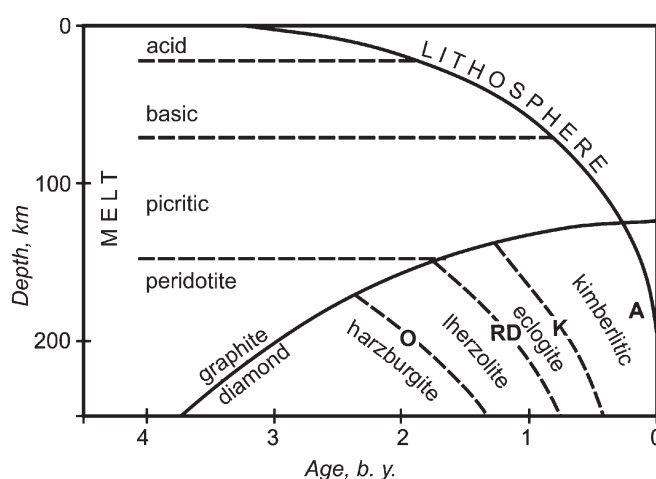


Рис. 1. Эволюция магматического океана, состава остаточных расплавов его перидотитового слоя и морфологии кристаллизовавшихся в них алмазов от октаэдрической (O) к ромбододекаэдрической (RD), кубической (K) и к агрегатам (A)

Fig. 1. The evolution of the magma ocean, the composition of residual melts of its peridotite layer and the morphology of the crystallized diamonds in them from octahedral (O) to rhombododecahedral (RD), cubic (K) and the aggregates (A)

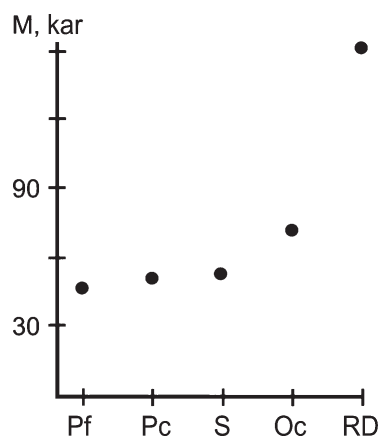


Рис. 2. Средняя масса (M) ромбододекаэдров (RD) и октаэдров плоскогранных (Pf), полицентрических (Pc), со штриховкой (S), округло-ступенчатых (Oc) среди алмазов-гигантов из трубок и россыпей Якутии (по данным [1, 2])

Fig. 2. Average weight (M) of the rhombic-dodecahedron (RD) and plane-octahedra (Pf), polycentric (Pc), with shading (S), rounded-step (Oc) among diamond giants of pipes and placers of Yakutia. Built according to data [1, 2]

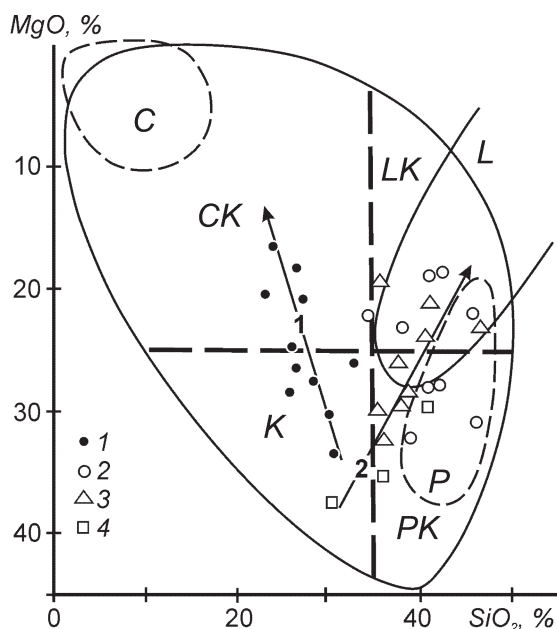


Рис. 3. Поля составов кимберлитов (K), карбонатитов (C), карбокимберлитов (CK), лампроитов (L), лампрокимберлитов (LK), пикритов (P) и пикрокимберлитов (PK) на диаграмме MgO — SiO₂. Точки — средний состав трубок Якутии (1), Архангельской провинции (2), Африки (3) и Канады (4). Стрелки — карбонатитовый (1) и кимберлитовый (2) тренды фракционирования (по [9])

Fig. 3. Fields of compositions of kimberlites (K), carbonatites (C), carbokimberlites (CK), lamproites (L), lamprokimberlites (LK), picrites (P) and picrokimberlites (PK) on the MgO — SiO₂ diagram. Points — average composition of pipes in Yakutia (1), Arkhangelsk province (2), Africa (3), and Canada (4). Arrows — carbonatite (1) and kimberlite (2) fractionation trends [9]

Это указывает на то, что в вязких исходных расплавах богатых кремнекислотой африканских кимберлитов на начальных стадиях алмазообразования возникало меньшее количество зародышей алмазов, чем в бедных кремнекислотой якутских кимберлитах. Дальнейшая кристаллизация возникающих в них алмазов обусло-

вила их повышенную крупность. Это объясняет гораздо больший размер алмазов-гигантов в трубке Премьер (в среднем в несколько раз) по сравнению с якутскими трубками (рис. 4).

Происхождение поздних крупных алмазов

В рассмотренной выше модели поздние алмазы в кимберлитах являются в основном ромбододекаэдрическими и образовались они в значительной мере путем укрупнения октаэдров под влиянием увеличения вязкости остаточных расплавов. Из этого следует, что ромбододекаэдрические кристаллы должны быть в среднем крупнее, чем главная масса октаэдрических алмазов. Это подтверждается статистикой в Якутской кимберлитовой провинции: большим содержанием ромбододекаэдров в крупных фракциях алмазов по сравнению с мелкими в кимберлитах [2, 5], а также большей крупностью ромбододекаэдрических алмазов-гигантов (в среднем 151 карат) по сравнению с октаэдрическими (46—72 карат) (рис. 2).

Вследствие возрастания содержания кремнекислоты и вязкости в большинстве поздних остаточных расплавов магматического океана при фракционировании на гранях ромбододекаэдров происходило образование уменьшающихся по площади центральных частей и они становились выпуклыми, а кристаллы округлыми. Дискуссия о формировании округлых алмазов в кимберлитах путем антискелетного роста или растворения длится уже более ста лет. Полученные результаты указывают на образование алмазов в результате антискелетного роста. Такой генезис подтверждается присутствием в них иногда округлых ростовых зон, увеличением среднего размера алмазов по мере возрастания в них доли округлых кристаллов (рис. 5), прямой корреляцией содержания округлых алмазов с количеством кремнекислоты в кимберлитах (рис. 6) и обратной — с величиной структурного фактора расплава. Величина структурного параметра уменьшается при фракциони-

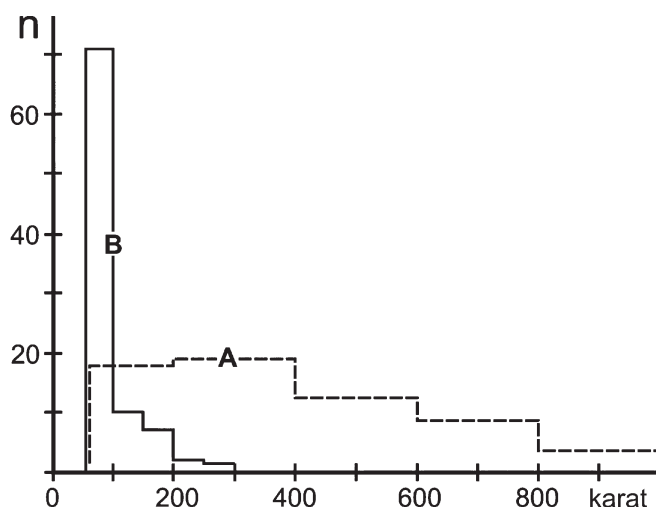


Рис. 4. Гистограмма частоты встречаемости алмазов-гигантов различного размера в кимберлитах Африки (A) и Якутии (B). По данным [1, 2]

Fig. 4. Histogram of the frequency of occurrence of giant diamonds of various sizes in the kimberlites of Africa (A) and Yakutia (B). Built according to data [1, 2]

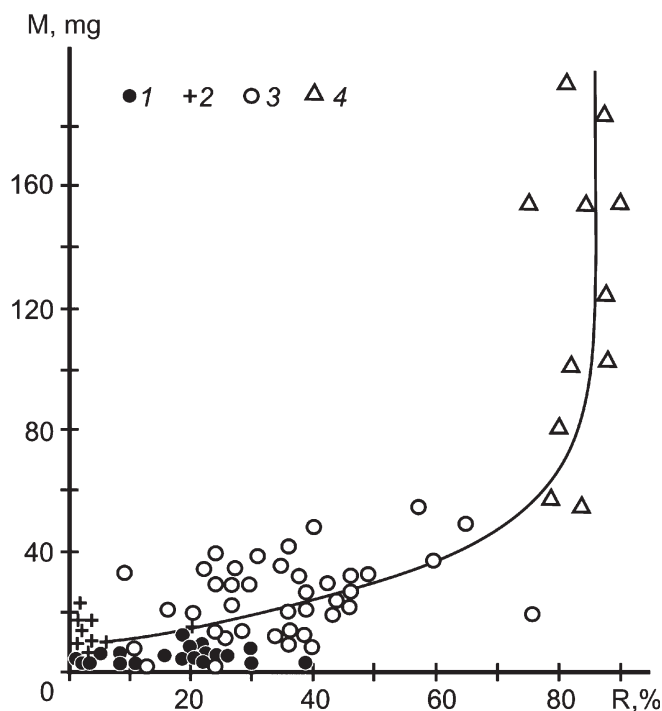


Рис. 5. Соотношение доли округлых кристаллов (R) среди алмазов с их средним весом (M): в кимберлитовых трубках (1), в россыпях в районе кимберлитовых полей (2), в россыпях, удаленных от кимберлитовых трубок Якутии (3), в россыпях Вишерского Урала (4). По данным [1, 5]

Fig. 5. The ratio of the proportion of rounded crystals (R) among diamonds with their average weight (M) in kimberlite pipes (1), in placers in the area of kimberlite fields (2), in placers remote from the kimberlite pipes of Yakutia (3), in placers of the Vishersky Urals (4). Constructed from data [1, 5]

ровании магм [7], то есть обратно изменению содержания в них кремнекислоты.

При рассматриваемом механизме образования наиболее глубокие кимберлитовые магмы должны содержать повышенное количество химических компонентов ультраосновных пород (магния, хрома, никеля) и пониженное количество литофильных компонентов (кремнекислоты, глинозема, щелочей). Поэтому в возникших из них кимберлитах должны присутствовать повышенное количество октаэдрических алмазов и пониженное количество всех других их морфологических разновидностей. Средний размер алмазов в них должен быть пониженным, а содержание — повышенным. Именно из таких магм сформировалось большинство продуктивных кимберлитов Якутской провинции.

Кимберлиты Якутской провинции по сравнению с зарубежными и архангельскими содержат меньше кремнекислоты (35.21 % в среднем по 30 трубкам [9]) и образуют карбонатитовый тренд фракционирования, на котором не происходило накопление кремнекислоты в поздних остаточных расплавах (рис. 3). Таким образом, эти магмы формировались из расплавов самого нижнего максимально фемического перидотитового слоя магматического океана. Этим объясняется резкое преобладание октаэдрических алмазов в высокопродуктивных якутских кимберлитах (75.4 % — в трубке Интернациональной, 61.1 % — в трубке Мир), их повышенное содержание (8.57 карат на тонну в среднем по трубке Интернациональной [3]) и небольшая крупность кристаллов (обычно это первые миллиграммы).

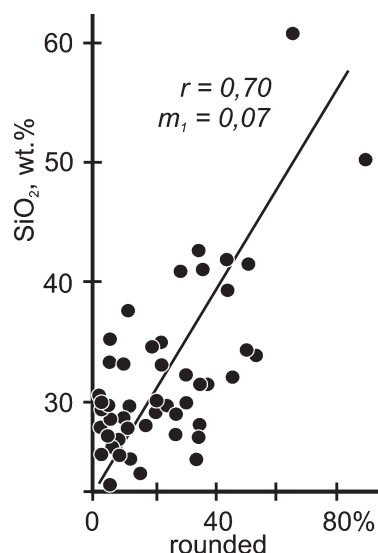


Рис. 6. Соотношение доли округлых кристаллов среди алмазов с содержанием кремнекислоты в кимберлитах: r — величина коэффициента корреляции, m_1 — ошибка этого коэффициента. По данным [1, 2, 6]

Fig. 6. Ratio of the proportion of rounded crystals among diamonds with the content of silicic acid in kimberlites [1, 2, 6]

В Якутской кимберлитовой провинции этот слой имел большую мощность, поскольку в продуктивных полях относительно малоглубинные неалмазоносные кимберлиты являются также низкокислотными и имеют близкий к карбонатитам состав.

Судя по повышенному содержанию кремнекислоты, архангельские (41.16 % SiO_2 в среднем по 9 трубкам) и африканские (38.94 % SiO_2 в среднем по 9 трубкам) [9] продуктивные кимберлиты образовались из более вязких частей перидотитового слоя магматического океана, чем кимберлиты Якутской провинции. Это объясняет более низкое содержание в них октаэдрических алмазов (5.1—32.3 % в архангельских и 5—50 % в африканских) и пониженную алмазоносность (чаще всего десятые доли карата на тонну). В этих кимберлитах наблюдается лампроитовый тренд фракционирования с накоплением кремнекислоты в поздних дифференциатах (рис. 3).

В кимберлитах северных частей Якутской провинции в среднем содержится повышенное количество литофильных компонентов, уменьшается содержание алмазов и увеличивается среди них доля ромбододекаэдрических кристаллов. Это указывает на пониженную глубину образования их магм, видимо вследствие эрозии глубинных частей литосферы астеносферными течениями на окраине Сибирской платформы.

Заключение

Таким образом, в свете полученных доказательств существования и фракционирования на Земле глобального магматического океана выявлены два этапа образования алмазов повышенного размера.

Самые крупные алмазы-гиганты возникали на раннем этапе кристаллизации и фракционирования перидотитового слоя, поскольку глубинные части магматического океана в это время были перекрыты еще горячими верхними, остывали очень медленно и кристаллизовались весьма длительно.



Насыщенный мафический состав этого слоя и низкая вязкость его расплава обусловили преимущественно октаэдрическую огранку алмазов-гигантов.

Кристаллизовавшиеся позже ромбододекаэдрические алмазы имеют повышенную крупность вследствие того, что образовались в значительной мере путем разрастания ранних октаэдрических кристаллов.

Литература

1. Аргунов К. П. Дефектные алмазы и их диагностика. Якутск: Изд. СО РАН, 2004. 216 с.
2. Аргунов К. П. Алмазы Якутии. Новосибирск: Изд. СО РАН, 2006. 402 с.
3. Белов С. В., Лапин А. В., Толстов А. В., Фролов А. А. Минералогия платформенного магматизма (траппы, карбонаты, кимберлиты). Новосибирск: Изд. СО РАН, 2008. 537 с.
4. Волярович М. П., Корчемкин П. И. Связь между вязкостью расплавленных горных пород и кислотностью по Ф. Ю. Левинсон-Лессингу // Доклады АН СССР. 1937. Т. 17. № 8. С. 413—418.
5. Граханов С. А., Шаталов В. И., Штыров В. А. и др. Россыпи алмазов России. Новосибирск: ГЕО, 2007. 457 с.
6. Зинчук Н. Н., Коптиль В. И. Типоморфизм алмазов Сибирской платформы. М.: Недра, 2003. 603 с.
7. Персиков Э. С. Вязкость магматических расплавов. М.: Наука, 1984. 160 с.
8. Рингвуд А. Е. Происхождение Земли и Луны. М.: Недра, 1982. 294 с.
9. Шкодзинский В. С. Генезис литосферы и алмазов. Модель горячей гетерогенной аккреции Земли. Saarbrücken: Palmarium academic publishing, 2015. 687 с.
10. Шкодзинский В. С. Глобальная петрология по современным данным о горячей гетерогенной аккреции Земли. Якутск: Изд. СВФУ, 2018. 244 с.
11. Шкодзинский В. С., Бескрованов В. В. Природа разнообразия алмазов в кимберлитах // Записки РМО. 2019. № 4. С. 100—114.
12. Шкодзинский В. С., Толстов А. В. Генезис кимберлитовых магм и алмазов по результатам корреляции их кристалломорфологии с составом вмещающих кимберлитов // Записки РМО. 2009. № 103. С. 1—14.
13. Harris P. G., Tozer D. C. Fractionation of iron in the Solar system // Nature. 1967. V. 215. № 5109. P. 1449—1451.
14. O'Neill H. S. Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth // Meteoritics. 1990. V. 25. № 4. P. 395.

References

1. Argunov K. P. *Defectivnye alması i ih diagnostika* (Defective diamonds and their diagnostics). Yakutsk: SB RAS, 2004, 216 p.
2. Argunov K. P. *Alması Yakutii* (Yakutia diamonds). Novosibirsk: SB RAS, 2006, 402 p.
3. Belov C. V., Lapin A. V., Tolstov A. V., Frolov A. A. *Mineralogia platformennogo magmatizma (trappy, karbonatity, kimberlity)* (Mineralogy of platform magmatism: traps, carbonatites, kimberlites). Novosibirsk: SB RAS, 2008, 537 p.
4. Volarovith M. P., Korchemkin M. I. *Svjas megu vjaskostju rasplavlennyh gornyh porod i kislotnostju po F. Ju. Levinson-Lessingu* (Relation between viscosity and acidity of melted rocks according to Levinson-Lessing). Doklady AS USSR, 1937, V. 17, No. 8, pp. 413—418.
5. Grahonov S. A., Shatalov V. I., Shtyrov V. A. et al. *Rossypi almasov Rossii* (Diamond placers of Russia). Novosibirsk: GEO, 2007, 457 p.
6. Sinchuk N. N., Koptil V. I. *Tipomorfizm almasov Sibirskoj platfortmy* (Typomorphism of diamonds of the Siberian platform). Moscow: Nedra, 2003, 603 p.
7. Persikov E. C. *Vjaskost magmaticeskikh rasplavov* (Viscosity of magmatic melts) Moscow: Nauka, 1984, 160 p.
8. Ringwood A. T. *Proishogdenie Semli i Luny* (Genesis of the Earth and Moon). Moscow: Nedra, 1982, 294 p.
9. Shkodzinskiy V. S. *Genesis litosfery i almasov. Model gorjachei akkrezii Semli*. (Genesis of lithosphere and diamonds. Model of hot heterogeneous accretion of the Earth). Saarbrücken: Palmarium academic publishing, 2015, 687 p.
10. Shkodzinskiy V. S. *Globalnaja petrologija po sovremennym dannym o gorjachei akkrezii Semli* (Global petrology according modern data about hot heterogeneous accretion of the Earth). Yakutsk: SVFU, 2018, 244 p.
11. Shkodzinskiy V. S., Beskrovanov V. V. *Priroda rasnoobrasija almasov v kimberlitah* (Genesis of different diamonds in kimberlites). Proceedings of RMS, 2019, No. 4, pp. 100—114.
12. Shkodzinskiy V. S., Tolstov A. V. *Genesis kimberlitovyh magm i almasov po rezultatam korreljazii ih kristallomorfologii s sostavom vmeshchajushchih kimberlitov* (Genesis of kimberlite magmas and diamonds as a result of analysis of correlation of diamond crystal morphology with kimberlite composition). Proceedings of RMS, 2009, No. 103, pp. 1—14.
13. Harris P. G., Tozer D. C. Fractionation of iron in the Solar system. Nature, 1967, V. 215, No. 5109, pp. 1449—1451.
14. O'Neill H. S. Oxygen fugacity and siderophile elements in the Earth's mantle: implications for the origin of the Earth. Meteoritics, 1990, V. 25, No. 4, pp. 395.

Поступила в редакцию / Received 12.11.2020



ЖЕНЩИНА — УЧЕНЫЙ-ПАЛЕОНТОЛОГ

О. В. Мартиросян

Геологический институт РАН, Москва
mov@ginras.ru

Статья посвящена научной деятельности одной из первых русских женщин — геологов-палеонтологов Татьяны Алексеевны Добролюбовой в связи с юбилейной датой — 130-летием со дня рождения (1891–1972). Показаны этапы в истории геологических исследований природных богатств Северного Урала, а также палеонтологического изучения кораллов карбона и перми Русской платформы и Урала, связанных с именем Т. А. Добролюбовой. Освещены важнейшие направления ее научной работы и наиболее крупные достижения, а также этапы жизненного пути.

Ключевые слова: женщины-ученые, Т. А. Добролюбова, Печорский край, палеонтология, кораллы *Rugosa*.

WOMAN-SCIENTIST, PALEONTOLOGIST

O. V. Martirosyan

Geological Institute of RAS, Moscow

The article is devoted to the scientific activities of one of the first Russian women geologists, paleontologists — Tatyana Alekseevna Dobrolyubova in connection with the anniversary date — the 130th birthday anniversary. A whole stage in the history of geological studies of the natural resources of the Northern Urals, as well as paleontological studies of the Carboniferous and Permian corals of the Russian Platform and the Urals, are associated with her name. The most important directions of her research and the most significant achievements, as well as the stages of her life, are briefly highlighted.

Keywords: women-geologists, T. A. Dobrolyubova, Pechora Territory, paleontology, corals.

*Не мраморные вестибюли создают
величие ученого, но его душа и ум.
Ал. Флеминг*

Введение

Вплоть до середины 80-х гг. XIX в. геологические, палеонтологические, стратиграфические и другие исследования в области естественных наук были в России прерогативой мужчин. Однако с конца 1860-х гг. женщинам представилась возможность получить высшее образование на Высших женских курсах, открывшихся в Санкт-Петербурге, Москве и других крупных городах. Это означало равный доступ к различным профессиям, в том числе к профессии ученого. В дальнейшем не все выпускницы получили ученые степени, но были такие, которые стремились к научной работе, даже в области геологических наук, бывшей до того интересом исключительно мужчин. Среди первых в нашей стране женщин-геологов, посвятивших свою жизнь палеонтологии, была Татьяна Алексеевна Добролюбова — «лучший в Советском Союзе специалист по ругозам карбона», как охарактеризовал ее академик А. А. Борисяк [15, с. 125].

Родилась Татьяна Алексеевна в г. Лукьянове Нижегородской губернии 25 января 1891 г. Ее отец, Алексей Алексеевич (1856–1904), был юристом, судебным следователем Нижегородского окружного суда; умер, когда Тане было 13 лет. Мать, Анна Николаевна (до замужества Декапольская) (1859–1942), по образованию фельдшер-акушер. После того как в 1885 г. вышла за

муж за А. А. Добролюбова, занималась детьми и вела домашнее хозяйство [16].

Т. А. Добролюбова получила хорошее образование. После окончания в 1909 г. Нижегородской женской гимназии она решила поступить на Московские высшие женские курсы на естественное отделение физико-математического факультета, поэтому семья переехала в Москву (рис. 1). Высшие женские курсы она закончила в 1915 г. с дипломом первой степени.

Первые шаги в науке

Татьяна Алексеевна заинтересовалась геологией еще во время учебы на Высших женских курсах. Она входила в геологическую группу вместе с Е. Д. Сошкиной, М. И. Шульгой-Нестеренко и В. А. Варсанофьевой. Преподавателем группы была А. Б. Миссуна, которая вела практические занятия по петрографии, палеонтологии и исторической геологии, а полевыми работами руководил А. А. Чернов. Позже эти курсистки составили костяк так называемой черновской группы, группы профессора А. А. Чернова, которая 10 лет, с 1923–1932 годы, проводила научно-исследовательскую работу в Печорском крае. Будущие члены группы впервые побывали там в 1911 г., но это была только краткая ознакомительная поездка, организованная А. А. Черновым по просьбе В. А. Варсанофьевой [15]. В составе геолого-разведочной экспедиции Татьяна Алексеевна приехала в Печорский край уже после окончания гражданской войны, в 1921 г. Исследования проводились от Северной научно-промысловой экспеди-



Рис. 1. Слева: здание аудиторного корпуса Московских высших женских курсов (1913 г.) по ул. Малой Царицынской (ныне — Малая Пироговка). Парадный вход. Справа: Т. А. Добролюбова-курсистка [15]

Fig. 1. Left: The Auditorium building of the Moscow Higher Courses for Women (1913) on the Malaya Tsaritsynskaya street (now — Malaya Pirogovka). Front entrance. Right: T. A. Dobrolyubova, student [15]

ции (основанной в 1920 г.), деятельность которой была направлена на открытие новых месторождений полезных ископаемых, их предварительную разведку и общие геологические исследования труднодоступных районов Севера. Такие крупные экспедиционные работы на территории Печорского края с участием Т. А. Добролюбовой проводились до 1931 г.

Результаты научно-исследовательской деятельности в Печорском крае

В результате проведенных горно-поисковых работ в различных районах Печорского края Т. А. Добролюбовой совместно с другими членами черновской группы удалось впервые составить десятиверстные геологические и геоморфологические карты почти не известных ранее областей Северного Урала, собрать богатейшие палеонтологические коллекции, которые позже легли в основу многих монографий палеонтологов, а также обобщить ценные данные по стратиграфии палеозоя, тектонике и геоморфологии (рис. 2).

Первая научная работа Т. А. Добролюбовой, опубликованная в 1926 г., была посвящена исследованию тектоники и стратиграфии каменноугольных отложений по р. Подчерем в бассейне р. Печоры [3]. В ней она впервые по естественным выходам детально описала горизонт карбона и отметила необычную фациальную изменчивость отдельных горизонтов карбона, вызванную регрессивным движением бассейна с запада на восток.

Важным моментом полевых работ 1925 г. является обнаружение Т. А. Добролюбовой нового вида угля в бассейне р. Вуктыл, соответствующему по возрасту и положению кизелковским углям на Среднем Урале [3].

Выполненные Т. А. Добролюбовой научные работы показывают, как скрупулезно и ответственно подходила она к выполнению стоящих перед ней задач. Все свои выводы она подвергала глубокой и многократной проверке, в дальнейшем корректируя в своих последующих работах. Так, спустя 11 лет она пишет, что в статье [3] «содержатся ряд ошибок, которые повели за собой неверное представление о тектонике низо-

вий р. Подчерема» или в работе [2] «неправильно понимается Вуктыльское поднятие, вся толща пермских пород называется артинской, турнейский ярус остаётся неустановленным. Неправильно понято геологическое строение коренных берегов верхнего течения р. Веркьян-йюля» [6].

До 1932 г. научные работы в основном были посвящены геологическим исследованиям на Северном Урале. Их итогом стала опубликованная в 1935 г. совместно с Е. Д. Сошкиной «Общая геологическая карта европейской части СССР (Северный Урал)» [6], в которой впервые было сделано детальное геологическое описание 123-го листа десятиверстной карты СССР. Авторы обстоятельно представили геоморфологию, тектонику и гидрографию описываемой территории, подробно описали стратиграфию слагающих ее метаморфических и изверженных пород, силурийских и девонских отложений, развитых на востоке, и каменноугольных и пермских отложений на западе (рис. 3).

Татьяна Алексеевна никогда не прерывала связи с исследователями Печорского края, безвозмездно



Рис. 2. Печорский тракт (в телеге — М. И. Шульга-Нестеренко, Т. А. Добролюбова). Фото А. А. Чернова. 1924 г.

Фонд Геологического музея им. А. А. Чернова

Fig. 2. Pechora tract (in the cart — M. I. Shulga-Nesterenko, T. A. Dobrolyubova). Photo by A. A. Chernov. 1924.

Fund of the Geological Museum, named after A. A. Chernov



определяя коллекции ископаемых органических остатков и давая ценные консультации и советы. Н. В. Калашников из Института геологии Коми НЦ УрО РАН на основании дневников Т. А. Добролюбовой, переданных ему Н. В. Кабакович, достаточно полно охарактеризовал трудный путь Татьяны Алексеевны в первые годы ее становления как геолога и палеонтолога [14].

Результаты исследований в области палеонтологии. Кораллы *Rugosa*

Уже в первые годы своей научной деятельности Т. А. Добролюбова акцентирует внимание и придает огромное значение фауне, особенно кораллам *Rugosa*, поскольку на них видно развитие вида с самых начальных стадий. Закончив работу на Северном Урале и увлекшись палеонтологическими исследованиями, Т. А. Добролюбова вместе с Е. Д. Сошкиной сначала работала в Нефтяном геолого-разведочном институте (НГРИ), в палеонтологическом отделе. В 1934 г. НГРИ переехал в г. Ленинград и Татьяна Алексеевна перешла в палеонтологическую группу ВИМСа. Здесь она проработала два года.

Уже первая ее публикация, связанная с изучением колониальных кораллов *Rugosa*, опубликованная в 1935 г. [4], показала их важное стратиграфическое и эволюционное значение для Подмосковского бассейна. Эта работа содержит исчерпывающий материал по изучению распространенных и руководящих видов. На основании полученных данных в этом же году был издан «Определитель колониальных кораллов *Rugosa* среднего карбона Подмосковского бассейна» [5], содержащий результаты обработки важнейших таксонов и позволяющий использовать эти данные для полевых и буровых работ, а также как руководство по специальным курсам палеозоологии для студентов вузов.

В 1936 г. усилиями академика АН СССР А. А. Борисьяка организуется Палеонтологический институт АН СССР (ПИН). Алексей Алексеевич был очень требовательным к будущим кадрам и приглашал к себе только самых лучших специалистов. Опубликовав работы по кораллам *Rugosa* Подмосковского бассейна и Среднего Урала, Т. А. Добролюбова к этому времени зарекомен-

довала себя как серьезный палеонтолог. Вместе с ней в ПИН была приглашена Е. Д. Сошкина, а чуть позднее — М. И. Шульга-Нестеренко. Прежняя «черновская команда» снова была в сборе (кроме В. А. Варсанюфьевой, которая продолжала свои исследования в Коми АССР). С 1 июля 1936 г. по 1 июня 1965 г. научно-исследовательская деятельность Татьяны Алексеевны была связана с Палеонтологическим институтом [16].

Ученый совет Московского геолого-разведочного института в 1938 г. присудил Т. А. Добролюбовой степень кандидата геолого-минералогических наук без защиты диссертации (по совокупности научных работ). Это была достойная оценка ее научной работы. В отзыве на труды Татьяны Алексеевны А. А. Чернов высказал мнение, что она имеет полное право на ученую степень доктора геологических наук. Позже академик А. А. Борисьяк призывал Т. А. Добролюбову подготовиться к защите докторскую. В письме к нему она писала: «Относительно докторской диссертации говорить не стоит. Мне не хочется тратить время на нее, и так его много пропало. Работается и без докторского звания недурно. Для правильной оценки работы даже полезнее быть недоктором. То, что делает доктор, меньше критикуется, чем то, что делает небольшой рядовой работник, а критика для моей работы необходима. Я хочу знать истину» [15, с. 129].

Мировое признание получает фундаментальный труд «Пермские *Rugosa* европейской части СССР» [7], написанный в соавторстве с Е. Д. Сошкиной и Г. С. Порфирьевым и вышедший в печать в 1941 г. В этой работе сделана попытка свести воедино имеющийся фактический материал по всем видам *Rugosa*, известным в литературе из пермских отложений европейской части СССР, а также описано большое число новых видов. Для этого Т. А. Добролюбовой были использованы коллекции, полученные от многих учреждений и геологов нашей страны, где были охвачены весь Урал, Русская платформа, Донецкий бассейн и Закавказье.

Военные годы

В годы войны ПИН был эвакуирован из Москвы в Алма-Ату, но Татьяна Алексеевна оставлена уполномоченной по ПИН в Москве. Она и ее коллега Наталья Васильевна Кабакович самоотверженно берегли невыезженное имущество института и коллекции. Когда еще не все разъехались, в ноябре 1941 г., Т. А. Добролюбова обратилась к А. А. Борисьяку с научными вопросами, которые, впрочем, пришлось отложить до лучших времен. Тогда она отмечала: «Значительная часть времени ушла у нас на разные хозяйственные дела, переписку коллекций, их упаковку, переселение из комнаты в комнату и другие дела. Сравнительно немного времени было занято научной работой, но зато работа казалась нам наслаждением. Как далека она от всех современных забот, опасений и ужасов. Занимаясь ей, начинаешь чувствовать себя нормальным человеком и смотреть на все происходящее как на временный кошмар, который рано или поздно кончится и все встанет на свое место...» Позднее, когда Татьяна Алексеевна стала уполномоченным, научные вопросы «ушли» от нее. «Передо мной другого характера вопросы — как отопить Музей, свезти ящики в подвалы Президиума или



Рис. 3. Обложки научных работ Т. А. Добролюбовой с соавторами

Fig. 3. Covers of papers by T. A. Dobrolyubova et al

оставить их на месте и т. д. Две несовместимые области, и как будто я стала совсем другим человеком...» Особенно трудно было в начале, тем более что завхоз института помогал ей очень мало и до середины января 1942 г. болела Н. В. Кабакович (открытая форма туберкулеза) [1].

В июле 1942 г. ушла из жизни мать Татьяны Алексеевны, но даже это обстоятельство не позволило ей хотя бы несколько дней не ходить в институт. В марте 1943 г. в Москву вернулась из эвакуации Т. Г. Сарычева, Т. А. Добролюбова и Н. В. Кабакович были освобождены от возложенных на них в конце 1941 г. функций и смогли полностью вернуться к научной работе [1] (рис. 4).

В 1953 г. она была награждена орденом Ленина и медалями «За оборону Москвы» и «За доблестный труд в годы Великой Отечественной войны 1941–1945 гг.». И это были заслуженные награды.

Онто- и филогенез и эволюция кораллов

Понимание Т. А. Добролюбовой важности процессов эволюции, развития, изменчивости, онтогенеза и филогенеза привело к расширению ее исследований и приданию им биологического направления. В дальнейшем ее работы стали дополняться исследованиями, посвященными темпам и направлению эволюции кораллов, а также их связи со средой обитания.

Т. А. Добролюбовой было установлено, что в одних случаях, когда ругозы переживали быструю эволюцию, их онтогенез усложнялся, в других (при медленной эволюции) он был простым [11, С. 288].

В 1948 г. вышла монография, посвящённая стратиграфическому распределению и эволюции кораллов *Rugosa* среднего и верхнего карбона Подмосковского бассейна [8], появлению которой предшествовали многолетние исследования. В работе был установлен систематический состав коралловой фауны, выявлено ее распространение в разных горизонтах карбона бассейна, изменения в вертикальном направлении и причины таких изменений. В дальнейшем предметом ее исследований стали и другие типы кораллов [9–12].

Даже после выхода на пенсию в 1965 г. Т. А. Добролюбова не переставала вести научную деятельность. Последняя ее работа была напечатана в 1970 г. [13].

Татьяна Алексеевна любила путешествовать. Еще до войны она исходила весь Кавказ и Крым. После того как вышла на пенсию, вместе с коллегой Н. В. Кабакович они побывали в Грузии и на Украине. Своей семьи у Татьяны Алексеевны не было. Ее семьей были ученики и кораллы. Скончалась Татьяна Алексеевна Добролюбова 24 июля 1972 г. в Москве после тяжелой болезни и похоронена на Даниловском кладбище рядом с матерью и братом.

Заключение

Татьяна Алексеевна Добролюбова занимает достойное место среди первых в СССР женщин-геологов, которые, несмотря на все жизненные перипетии, тяжелые военные и послевоенные годы, не изменили выбранной профессии.

Результаты работ Т. А. Добролюбовой, полученные в ходе научных экспедиций, в значительной сте-



Рис. 4. Т. А. Добролюбова, Т. Г. Сарычева, Е. Д. Сошкина (сидят). Н. В. Кабакович, А. Н. Сокольская (стоят). 1946 г. [1]

Fig. 4. T. A. Dobrolyubova, T. G. Sarycheva, E. D. Soshkina (sitting). N. V. Kabakovich, A. N. Sokolskaya (standing). 1946 [1]

пени определили направление дальнейших исследований в Печорском крае и внесли важный вклад в открытие и изучение Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. При этом особенное значение имеют выделенные ею на правобережье средней Печоры три крупные антиклинальные структуры, одна из которых — Вуктыльская — наиболее перспективная на каменный уголь, нефть и газ. Спустя годы именно здесь были открыты месторождение каменного угля и газоконденсатное месторождение.

Научные исследования Т. А. Добролюбовой по кораллам *Rugosa* карбона и перми Русской платформы и Урала внесли существенный вклад в разработку концепции онто- и филогенеза, а также в изучение их родового и видового состава.

В истории палеонтологии имя Т. А. Добролюбовой как одной из первых женщин-палеонтологов останется навсегда. Напоминанием о выдающихся заслугах Татьяны Алексеевны является названный ее именем вид коралла *Timania dobrolyubovae Kossovaja sp. nov.*, найденного на Среднем Урале (правый берег р. Чусовой, разрез «Камень-плакун», гжельский ярус, зона *Daixina sokensis*).

Литература

1. Бодылевская И. Н. Академик А. А. Борисак и Палеонтологический институт в годы войны 1941–1945 гг. М.: ПИН РАН, 2008. 110 с.
2. Добролюбова Т. А. Геологические исследования по р. Вуктылу в бассейне Печоры // Тр. Ин-та по изучению Севера. 1926. № 153. Вып. 32. С. 33–61.
3. Добролюбова Т. А. Тектоника и стратиграфия каменноугольных осадков по р. Подчерему в бассейне р. Печоры // Тр. Ин-та по изучению Севера. 1926. № 153. Вып. 32. С. 5–32.
4. Добролюбова Т. А. Колониальные кораллы *Rugosa* среднего карбона Подмосковского бассейна. М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. 68 с. (Тр. ВИМС; Вып. 81).
5. Добролюбова Т. А. Определитель колониальных кораллов *Rugosa* среднего карбона Подмосковского бассейна. М.; Л.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. 29 с. (ГГГ ГУ НКТП СССР, ВИМС).



6. Добролюбова Т. А., Сошкина Е. Д. Общая геологическая карта Европейской части СССР (Северный Урал). Лист 123. Л.: М.: ОНТИ НКТП СССР, 1935. 195 с. (Тр. Ленингр. геол.-гидро-геодез. треста; Вып. 8.).

7. Добролюбова Т. А., Порфирьев Г. С., Сошкина Е. Д. Палеонтология СССР. Т. 5. Ч. 3. Вып. 1: Пермские *Rugosa* Европейской части СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1941. 304 с.

8. Добролюбова Т. А. Стратиграфическое распределение и эволюция кораллов *Rugosa* среднего и верхнего карбона Подмосковного бассейна. М., Л.: Наука, 1948. 62 с. (Тр. ПИН; Т. 11, Вып. 4).

9. Добролюбова Т. А. Кораллы рода *Gangamophyllum* из нижнего карбона Подмосковной котловины // Тр. ПИН. 1952. Т. 40. С. 51–70.

10. Добролюбова Т. А. Кораллы рода *Lonsdaleia* и их стратиграфическое значение в Подмосковной котловине // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1952. Т. 24. № 1. С. 96–108.

11. Сошкина Е. Д., Добролюбова Т. А., Кабакович Н. В. Подкласс *Tetracoralla*: Четырехлучевые кораллы // Основы палеонтологии: Губки, археоциаты, кишечнополостные. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 2. С. 286–356.

12. Добролюбова Т. А., Кабакович Н. В. Тип **Coelenterata**. Новосибирск: СНИИГиМС, 1962. С. 115–124. (Тр. СНИИГиМС; Вып. 21).

13. Добролюбова Т. А. Новые одиночные ругозы из нижнего карбона Русской платформы // Новые виды палеозойских мшанок и кораллов М.: Наука, 1970. С. 121–134.

14. Калашников Н. В. Геологические исследования Т. А. Добролюбовой в Печорском крае (1921–1931 гг.). Екатеринбург: УрО РАН, 2002. 99 с.

15. Наливкин Д. В. Наши первые женщины-геологи. Л.: Наука, 1978. 214 с.

16. Пухонто С. К. «Работать и без докторского звания не дурно» (Татьяна Алексеевна Добролюбова) // Российские женщины-ученые: наследие. М.: Янус-К, 2017. С. 223–229.

References

1. Bodylevskaya I. N. *Akademik A. A. Borisyak I Paleontologicheski institute v gody voyny 1941–1945 gg.* (Academician A. A. Borisyak and the Paleontological Institute during the war years 1941–1945). Moscow: PIN RAS, 2008, 110 p.

2. Dobrolyubova T. A. *Geologicheskie issledovaniya po r. Vuktylu v bassejne Pechory* (Geological Research on the River Vuktyl in the Pechora Basin). *Trudy Instituta po izucheniyu Severa* (Proceedings of the Institute for the Study of the North), 1926, No. 153, 32, pp. 33–61.

3. Dobrolyubova T. A. *Tektonika i stratigrafiya kamennougolnykh osadkov po r. Podcheremu v bassejne r. Pechory* (Tectonics and Stratigraphy of Carboniferous Sediments along the River Podheremy in the Pechora Basin). *Trudy Instituta po izucheniyu Severa* (Proceedings of the Institute for the Study of the North), 1926, No. 153, 32, pp. 5–32.

4. Dobrolyubova T. A. *Kolonialnye korally Rugosa srednego karbona Podmoskovnogo basseina* (Colonial corals *Rugosa* of the

middle Carboniferous of the Moscow region). Moscow; Leningrad: ONTI NKTP USSR, 1935, 68 p. (Proceedings of VIMS; Iss.81).

5. Dobrolyubova T. A. *Opredelitel kolonialnykh korallov Rugosa srednego karbona Podmoskovnogo basseina* (Key to colonial corals *Rugosa* of the Middle Carboniferous of the Moscow Basin). Moscow; Leningrad: ONTI NKTP USSR, 1935, 29 p.

6. Dobrolyubova T. A., Soshkina E. D. *Obshaya geologicheskaya karta Evropeiskoy chasti USSR (Severniy Ural)* (General geological map of the European part of the USSR (Northern Urals). Sheet 123. Moscow; Leningrad: ONTI NKTP USSR, 1935, 195 p. (Proceedings of the Leningrad. Geological-hydro-geodesic trust; Issue 8.).

7. Dobrolyubova T. A., Porfiriev G. S., Soshkina E. D. *Paleontologiya USSR* (Paleontology of the USSR). V. 5, V. 3, 1: *Permskie Rugosa Evropeiskoy chasti USSR* (Permian *Rugosa* of the European part of the USSR). Moscow, Leningrad: Publishing house AS USSR, 1941, 304 p.

8. Dobrolyubova T. A. *Stratigraficheskoe raspredelenie i evolutsiya korallov Rugosa srednego i verhnego karbona Podmoskovnogo basseina* (Stratigraphic distribution and evolution of *Rugosa* corals of the Middle and Upper Carboniferous of the Moscow Basin). Moscow, Leningrad: Nauka, 1948, 62 p. (Proceedings of the PIN; Vol. 11, Iss. 4).

9. Dobrolyubova T. A. *Korally roda Gangamophyllum iz niznego karbona Podmoskovnoi kotloviny* (Corals of the genus *Gangamophyllum* from the Lower Carboniferous of the Moscow Basin). Proceedings of PIN, 1952, V. 40, pp. 51–70.

10. Dobrolyubova T. A. *Korally roda Lonsdaleia i ih stratigraficheskoe znachenie v Podmoskovnoi kotlovine* (Corals of the genus *Lonsdaleia* and their stratigraphic significance in the Moscow Basin). Byull. MOIP, Dept. geol., 1952, V. 24, No. 1, pp. 96–108.

11. Soshkina E. D., Dobrolyubova T. A., Kabakovich N. V. *Podklass Tetracoralla: Chetyrehuglovie korally* (Subclass *Tetracoralla*: Four-beam corals). *Osnovy paleontologii: Gubki, arheoziaty, kishchnopolostnye* (Fundamentals of paleontology: Sponges, archaeocyates, coelenterates). V. 2, Moscow: Publishing house of the AS of the USSR, 1962, pp. 286–356.

12. Dobrolyubova T. A., Kabakovich N. V. *Tip Coelenterata* (Coelenterata type). Novosibirsk: SNIIGIMS, 1962, pp. 115–124. (Proceedings of the SNIIGIMS; Iss. 21).

13. Dobrolyubova T. A. *Novie odinochnie regozy iz niznego karbona Russkoi platformy* (New single rugoses from the Lower Carboniferous of the Russian Platform). *Novie vidy paleozoiskih mshanok i korallov* (New species of Paleozoic bryozoans and corals). Moscow: Nauka, 1970, pp. 121–134.

14. Kalashnikov N. V. *Geologicheskie issledovaniya T. A. Dobrolyubovoi v Pechorskoy krae (1921–1931)* (Geological research by T.A. Dobrolyubova in the Pechora region (1921–1931). Ekaterinburg: Ural Branch of the RAS, 2002, 99 p.

15. Nalivkin D. V. *Nashi perviy zhenshiny-geologi* (Our first female geologists). Leningrad: Nauka, 1978, 214 p.

16. Puhonto S. K. *Rabotat i bez doktorskogo zvaniya ne durno* («It's not bad to work without a doctoral degree») (Tatiana Alekseevna Dobrolyubova). Russian women scientists: heritage. Moscow: «Yanus-K», 2017, pp. 223–229.

Поступила в редакцию / Received 26.01.2021



ПРИРОДНЫЕ РЕЗЕРВУАРЫ В КАРБОНАТНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НИЖНЕГО КОМПЛЕКСА ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ (К ЮБИЛЕЮ Т. В. МАЙДЛЬ)

Н. Н. Тимонина, И. И. Даньщикова

Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

nntimonina@geo.komisc.ru

Статья посвящена исследованиям особенностей формирования и закономерностей распространения природных резервуаров в карбонатных отложениях Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции признанного специалиста в нефтегазовой геологии — Татьяны Викторовны Майдль. Проанализирован ее весомый вклад в разработку теоретических основ формирования карбонатных отложений региона, реконструкцию условий осадконакопления, выявление степени влияния вторичных преобразований на емкостные и фильтрационные свойства карбонатных пород, разработку основ для построения геологических моделей карбонатных резервуаров. В области изучения морфологии пустотного пространства в низкочастотных карбонатных коллекторах Т. В. Майдль установила, что наилучшими фильтрационными свойствами в нижнем силуре обладают доломиты с теневой биогермной структурой, в верхнем силуре — биокластовые известняки. Основной объем пустотного пространства в первом типе связан с кавернами и трещинами, во втором — с матричной пористостью. Показано, что результаты работы Т. В. Майдль имеют не только теоретическую, но и практическую значимость.

Ключевые слова: углеводороды, карбонатные породы, коллекторы нефти и газа, пустотное пространство, Т. В. Майдль.

RESERVOIRS IN CARBONATES OF THE LOWER OIL AND GAS-BEARING COMPLEX OF THE TIMAN-PECHORA PROVINCE (FOR THE ANNIVERSARY OF T. V. MAYDL)

N. N. Timonina, I. I. Danshchikova

Institute of geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The paper presents Tatyana V. Maydl's researches of formation and patterns of distribution of natural reservoirs in carbonate deposits of the Timan-Pechora oil and gas province. Tatyana Viktorovna Maydl is a recognized specialist in oil and gas geology. Her significant contribution to the development of the theoretical base of formation of carbonate deposits in the region, reconstruction of sedimentation conditions, finding degree of influence of secondary transformations on the reservoir and filtration properties of carbonate rocks, development of the basis for geological models of carbonate reservoirs, are analyzed. In the field of studying the morphology of the void space in low-capacity carbonate reservoirs, T. V. Maydl found that in the Lower Silurian dolomites with a shadow biohermal structure had the best filtration features, and in the Upper Silurian — bioclastic limestones. The main volume of the void space in the first type is associated with caverns and cracks, in the second — with matrix porosity. We showed that the results of T. V. Maydl's work were not only of theoretical, but also of practical importance.

Keywords: hydrocarbons, carbonate rocks, oil and gas reservoirs, pore space, T. V. Maydl.

Введение

Татьяна Викторовна Майдль приступила к работе в Институте геологии Коми филиала АН СССР в должности старшего лаборанта после окончания геологического факультета Ленинградского государственного университета. В 1986 году во ВНИГРИ защитила кандидатскую диссертацию на тему «Условия формирования карбонатных коллекторов нижнепалеозойского комплекса Печорского нефтегазоносного бассейна». Область ее интересов — литология нижнепалеозойских отложений северо-востока европейской части России. Ею детально изучено строение толщ верхнеордовикских и нижнедевонских отложений ТПП, проведена корреляция разрезов этих отложений в различных структурных зонах и выделены основные коллекторские толщи, предложена фациальная модель нижнепалеозойского седиментационного бассейна и разработаны литологические критерии прогноза коллекторов [10,11]. Результаты исследова-

ний Татьяны Викторовны могут быть использованы при разработке программ геологического изучения региона, постановке разведочного бурения, а также выборе методов разработки месторождений. Примером внедрения результатов работ Т. В. Майдль на практике может служить открытие в составе группы ученых Института геологии Верхневоезского нефтяного месторождения в Республике Коми.

Природные резервуары в карбонатных отложениях ордовикско-нижнедевонского нефтегазоносного комплекса

Согласно существующим региональным представлениям формирование карбонатных отложений на данной территории во время силура и раннего девона происходило в условиях эпиконтинентальной платформы, полого погружающейся на восток в сторону Уральского палеоокеана.

Для цитирования: Тимонина Н. Н., Даньщикова И. И. Природные резервуары в карбонатных отложениях нижнего комплекса Тимано-Печорской провинции (к юбилею Т. В. Майдль) // Вестник геонаук. 2021. № 1(313). С. 40—43. DOI: 10.19110/geov.2021.1.6.

For citation: Timonina N. N., Danshchikova I. I. Reservoirs in carbonates of the lower oil and gas-bearing complex of the Timan-Pechora Province (for the anniversary of T. V. Maydl). Vestnik of Geosciences, 2021, 1(313), pp. 40—43, doi: 10.19110/geov.2021.1.6.



Образование верхнесилурийско-нижнедевонского карбонатного комплекса происходило при общем режиме погружения, сопровождавшемся трансгрессией со стороны Уральского палеоокеана. В работах Т. В. Майдль показано, что в нижнепалеозойских отложениях четко проявлена крупная цикличность, связанная с эвстатическими колебаниями уровня моря. В результате чередующихся трансгрессивных и регрессивных фаз развития седиментации внутреннего мелководного шельфа сформировался комплекс отложений с фациальной принадлежностью к различным батиметрическим обстановкам карбонатной платформы: сублиторали, отмельной зоны, литорали. Проведенное Татьяной Викторовной литологическое исследование пород доказало, что основными процессами в изученных разрезах являются: перекристаллизация с увеличением размера зерен, доломитизация, выщелачивание, стилолит- и трещинообразование, пиритизация, реже сульфатизация, окремнение и кальцитизация [1, 10, 11].

В последние годы большое внимание уделяется районам сложного геологического строения, к числу которых относятся складчато-надвиговые зоны. Одним из таких объектов является гряда Чернышева, перспективы карбонатного нижнепалеозойского нефтегазонального комплекса (НГК) которой до сих пор не ясны.

Нефтеносность ордовикско-нижнедевонских отложений северных и южных территорий гряды Чернышева установлена открытием залежей на Усино-Кушшорской, Южно-Степковожской, Заостренской и Хоседаю-Неруюской площадях, а также результатами бурения поисково-оценочных скважин 1-, 2-Адакской, 1-Харутамыльской.

Во многом этим можно объяснить тот факт, что Татьяна Викторовна уделяет особое внимание изучению фациальной природы силурийско-нижнедевонских отложений поднятия Чернова и гряды Чернышева [1, 4, 6]. В качестве основы она использовала фациальную модель, наиболее полно отражающую особенности процессов накопления карбонатных осадков в мелководных шельфовых (перикратонных) бассейнах. Седиментация в таких бассейнах вследствие их мелководности сильно зависит от расчлененности рельефа дна.

В ходе работ [3, 7, 8] доказано, что при моделировании резервуаров складчато-надвиговых зон необходимо учитывать фактор тектонического стресса, так как карбонатные породы весьма подвержены изменениям гидродинамических обстановок и связанных с ним гидрохимических условий залегания толщ. Формирование залежей углеводородов в осадочных бассейнах обусловлено в значительной степени процессами эпигенеза, а переформирование залежей и формирование сложных резервуаров — преимущественно тектогенезом и эпигенезом наложенного типа. В связи с этим основное внимание уделялось исследованию эпигенетических стадийальных и наложенных изменений пород по керну скважин, вскрывших эти надвиговые зоны. В ходе этих исследований был выделен ряд диагностических признаков, позволяющих судить о преобладающем характере тектонических режимов (сжатия или растяжения), характере эпигенетических процессов (тип эпигенеза) и их влияния на коллекторские свойства пород. Татьяна Викторовна показала, что различия в морфологии, структуре и характере соотношения слагающих

породы слоевых единиц в конечном счете проявляются в структуре пустотного пространства и фильтрационно-емкостных свойствах коллекторов. Помимо тектурно-структурных особенностей, закладывающих основу первичной пористости осадков, условия осадконакопления и особенности бассейна седиментации — его типа и характера развития, определялись трансформации этого первичного пустотного пространства на разных стадиях литогенеза. Особенности силурий-



Начало трудовой деятельности Т. В. Майдль в Институте геологии (1976 г.)

Beginning of T. V. Maydl's career at the Institute of geology (1976)

ско-раннедевонского бассейна проявились также в значительном негативном влиянии факторов и процессов на формирование и сохранение коллекторских свойств пород. В своих работах Татьяна Викторовна показала, что к факторам, действующим уже на ранних стадиях диагенеза, относятся повышенное содержание глинистой составляющей, значительное количество карбонатного ила (микрита), высокое содержание в осадке микроорганизмов, приводящих к микритизации карбонатных зерен, изменение структуры осадка, в том числе и биотурбация, ранняя цементация зернистых прослоев. Были выявлены также и другие негативные факторы, до настоящего времени мало исследованные, однако существенно понижающие пористость и проницаемость коллекторов. К ним можно отнести процессы глинизации палеокарстовых пустот и трещин в районах, подверженных воздействию предфранского размыва, и разрушения коллекторов вследствие дилатансии [7, 9].

Татьяна Викторовна активно использует новые методы, в частности современный метод компьютерной микротомографии, для изучения пустотного пространства коллекторов [2, 5]. Для выбора эффективного метода разработки месторождений на территории со сложным тектоническим строением весьма актуальным является разработка адекватной фильтрационной модели, которая невозможна без исследования геометрии пустотного пространства. С этой целью Т. В. Майдль были поставлены исследования пустотного пространства двух групп характерных литотипов. Первая группа характеризует коллекторы из надвиговых зон (Адакская площадь), вторая — более стабильные территории (Средне-



Т. В. Майдль на р. Падымейтивис (1982 г.)

T. V. Maydl in the field trip at the Padimeityvis river (1982)

макарихинская площадь). В ходе исследований было установлено, что фациальный аспект определяется зависимостью характера первичной пористости и проницаемости породы от количества и характера слагающих ее компонентов осадка. Т. В. Майдль показала, что наилучшими коллекторскими свойствами обладают породы с высокой долей граноморфных (форменных) компонентов и структурой грейстоунов-пакстоунов. Породы с преобладанием микробияльного и пелитоморфного компонентов и структурой вакстоунов и мадстоунов, как правило, характеризуются низкой пористостью.

В результате проведенных исследований Татьяне Викторовне удалось показать, что структура пустотного пространства нижнепалеозойских отложений региона определяется условиями осадконакопления и характером постседиментационных преобразований. В то же время наиболее сильное негативное влияние на формирование емкостных и фильтрационных свойств оказывают такие вторичные процессы, как перекристаллизация с увеличением размера зерен, доломитизация, выщелачивание, стилолит- и трещинообразование, пиритизация, реже сульфатизация, кремнеение и кальцитизация. Большинство из них приводят к уплотнению пород и потере первичной пористости.

Заключение

Одним из важнейших результатов работ Т. В. Майдль является выявление связи условий формирования и постседиментационных преобразований с емкостными и фильтрационными свойствами пород в отложениях нижнего палеозоя севера Тимано-Печорской провинции. В процессе проведенных исследований предложены площади, перспективные для проведения поисковых и разведочных работ, где могут быть выявлены интервалы пород с улучшенными коллекторскими свойствами, в частности Усино-Кушшорская, Салюкинская, Среднемакарихинская, Адакская и Воргамусюрская.

В настоящее время в активное освоение вовлечены запасы только пяти нефтегазоносных комплексов

(НГК) осадочного чехла Тимано-Печорской провинции. При этом выработанность начальных извлекаемых запасов (НИЗ) как нефти, так и свободного газа по каждому из этих комплексов различная. Что касается O_2-D_1 -карбонатного НГК, его выработанность довольно низкая — 14.4 % от начальных извлекаемых запасов. На его долю приходится 31.3 % извлекаемых запасов нефти, находящихся на государственном балансе в Республике Коми, причем они сконцентрированы в 18 месторождениях, среди которых Салюкинское, Среднемакарихинское и ряд других.

Этот комплекс является резервом для увеличения объемов добычи нефти в Тимано-Печорской провинции, несмотря на сложное геологическое строение и значительную глубину залегания. Изучению именно этого комплекса и посвящены многолетние исследования Т. В. Майдль.

Исследования Татьяны Викторовны Майдль имеют поистине огромное значение, ее вклад в изучение условий образования и размещения карбонатных резервуаров нижнепалеозойского карбонатного комплекса Тимано-Печорской провинции трудно переоценить. Полученные ею результаты могут быть использованы при проведении поисковых и разведочных работ, а также позволят создать более корректную фильтрационно-емкостную модель строения резервуара, способствуя созданию рациональной системы разработки залежей углеводородов.

Литература

1. Безносова Т. М., Лукин В. Ю., Мянник П., Майдль Т. В., Матвеев В. А. Условия осадконакопления и биота на рубеже лlandoвер и венлока (поднятие Чернова) // Вестник ИГ Коми НЦ. 2014. № 3. С. 14–18.
2. Даныщикова И. И., Майдль Т. В., Журавлев А. В., Стеценко Е. О., Филиппов В. Н. Микроморфология пустотного пространства в карбонатных коллекторах на севере Тимано-Печорской провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2017. Т. 12. № 1. DOI: http://www.ngtp.ru/rub/2/5_2017
3. Даныщикова И. И., Майдль Т. В., Митюшева Т. П. Эпигенетические изменения карбонатных пород и их связь с химическим составом воды в верхнеордовикско-нижнедевонском нефтегазоносном комплексе гряды Чернышева и восточного борта Хорейверской впадины // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 4.
4. Даныщикова И. И., Майдль Т. В. Условия формирования пород-коллекторов силурийских отложений центральной части гряды Чернышева // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2019. Т. 14. № 2. DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/20_2019
5. Даныщикова И. И., Майдль Т. В., Журавлев А. В., Рязанов К. П. Структура пустотного пространства в силурийских карбонатных породах северо-востока Тимано-Печорской провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2020. Т. 15. № 3. http://www.ngtp.ru/rub/2020/32_2020.html
6. Котик И. С., Майдль Т. В., Котик О. С., Пронина Н. В. Нефтегазоматеринские отложения силура поднятия Чернова (Тимано-Печорский бассейн) // Георесурсы. 2020. Т. 22. № 3. С. 12–20. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs/2020.3.12-20>
7. Майдль Т. В., Даныщикова И. И. Роль тектогенеза в формировании коллекторов нижнепалеозойских карбонатных отложений в центральной части поднятия Чернышева // Вестник ИГ Коми НЦ. 2015. № 10. С. 3–10.



8. **Майдль Т. В.,** Лютое В. П., Даньщикова И. И., Головатая О. С. Использование электронного парамагнитного резонанса для выявления признаков тектонических преобразований в карбонатных породах надвиговых зон (на примере силурийско-ордовикских отложений скв. 1-Адакская, центральная часть гряды Чернышева) // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 2. С. 29–40. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-2-29-40

9. **Майдль Т. В.,** Жемчугова В. А., Наумчев Ю. В. Геохимические предпосылки выделения предфранского несогласия в девонском разрезе Тимано-Печорского осадочно-порodного бассейна // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 9. С. 30–38. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-9-30-38

10. **Тимонина Н. Н., Майдль Т. В.,** Рябинкина Н. Н., Котик И. С., Котик О. С., Даньщикова И. И. Перспективы развития сырьевой базы нефтегазовой отрасли Тимано-Печорской провинции // Известия Коми научного центра УрО РАН. 2018. № 4. С. 12–24.

11. Soroka Elena; Leonova Lyubov; Pritchkin Mikhail; **Maidl Tatyana.** Fossil Algae as Indicators of the Depositional Environment // Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017: Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources. — Filodiritto International Proceedings, Bologna, Italy. P. 320–324. http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=OneClickSearch&qid=14&SID=D6TGsnt197Vyp6dY2y2&page=5&doc=43

References

1. Beznosova T. M., Lukin V. Yu., Myannik P., **Maydl T. V.,** Matveyev V. A. *Usloviya osadkonakopleniya i biota na rubezhe llandovery i venloka (podnyatiye Chernova)* (Sedimentation conditions and biota at the boundary between Llandovery and Venlock (Chernov Swell)). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2014, No. 3, pp. 14–18.

2. Danshchikova I. I., **Maydl T. V.,** Zhuravlev A. V., Stetsenko Ye. O., Filippov V. N. *Mikromorfologiya pustotnogo prostranstva v karbonatnykh kollektorakh na severe Timano-Pechorskoy provintsii* (Micromorphology of void space in carbonate reservoirs in the north of the Timan-Pechora province). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2017, V. 12, No. 1. DOI: http://www.ngtp.ru/rub/2/5_2017

3. Danshchikova I. I., **Maydl T. V.,** Mityusheva T. P. *Epigene-ticheskiye izmeneniya karbonatnykh porod i ikh svyaz s khimicheskimi sostavom vody v verkhneordoviksko-nizhnedevonskom neftegazonosnom komplekse gryady Chernysheva i vostochnogo borta Khoreyverskoy vpadiny* (Epigenetic changes in carbonate rocks and their relationship with the chemical composition of water in the Upper Ordovician-Lower Devonian oil and gas complex of the Chernyshev ridge and the eastern side of the Khoreyver depression). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2019, V. 14, No. 4 http://www.ngtp.ru/rub/2019/44_2019.

4. Danshchikova I. I., Maydl T. V. *Usloviya formirovaniya porod-kollektorov siluriyskikh otlozheniy tsentral'noy chasti gryady Chernysheva* (Conditions for the formation of reservoir rocks of the Silurian deposits in the central part of the Chernyshev ridge).

Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika, 2019, V. 14, No. 2 DOI: https://doi.org/10.17353/2070-5379/20_2019

5. Danshchikova I. I., **Maydl T. V.,** Zhuravlev A. V., Ryazanov K. P. *Struktura pustotnogo prostranstva v siluriyskikh karbonatnykh porodakh severo-vostoka Timano-Pechorskoy provintsii* (The structure of the void space in the Silurian carbonate rocks of the northeast of the Timan-Pechora province). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2020, V. 15, No. 3 http://www.ngtp.ru/rub/2020/32_2020.html

6. Kotik I. S., Maydl T. V., Kotik O. S., Pronina N. V. *Neftegazomaterinskiye otlozheniya silura podnyatiya Chernova (Timano-Pechorskiy basseyn)* (Oil and gas source sediments of the Silurian uplift of Chernov (Timan-Pechora basin)). *Georesursy* (Georesources), 2020, V. 22, No. 3, pp. 12–20 DOI: <https://doi.org/10.18599/grs/2020.3.12-20>

7. **Maydl T. V.,** Danshchikova I. I. *Rol tektonogeneza v formirovani kolektorov nizhnepaleozoyskikh karbonatnykh otlozheniy v tsentralnoy chasti podnyatiya Chernysheva* (The role of tectogenesis in the formation of reservoirs of the Lower Paleozoic carbonate deposits in the central part of the Chernyshev uplift). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2015, No. 10, pp. 3–10.

8. **Maydl T. V.,** Lyutovoyev V. P., Danshchikova I. I., Golovata O. S. *Ispolzovaniye elektronnoy paramagnitnoy rezonans dlya vyyavleniya priznakov tektonicheskikh preobrazovaniy v karbonatnykh porodakh nadvigovykh zon (na primere siluriysko-ordovikskikh otlozheniy skv. 1-Adakskaya, tsentralnaya chast gryady Chernysheva)* (The use of electron paramagnetic resonance to identify signs of tectonic transformations in carbonate rocks of thrust zones (on the example of the Silurian-Ordovician deposits of the 1-Adakskaya well, the central part of the Chernyshev ridge)). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2017, No. 2, pp. 29–40 DOI: 10.19110/2221-1381-2017-2-29-40

9. **Maydl T. V.,** Zhemchugova V. A., Naumchev Yu. V. *Geokhimicheskiye predposylki vydeleniya predfranskogo nesoglasiya v devonskom razreze Timano-Pechorskogo osadochno-porodnogo basseyna* (Geochemical prerequisites for identifying the pre-Frank unconformity in the Devonian section of the Timan-Pechora sedimentary-rock basin). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2018, No. 9, pp. 30–38 DOI: 19110/2221-1381-2018-9-30-38

10. Timonina N. N., **Maydl T. V.,** Ryabinkina N. N., Kotik I. S., Kotik O. S., Danshchikova I. I. *Perspektivy razvitiya syryevoy bazy neftegazovoy otrasli Timano-Pechorskoy provintsii* (Prospects for the development of the raw material base of the oil and gas industry of the Timan-Pechora province). Proceedings of Komi SC UB RAS, 2018, No. 4, pp. 12–24.

11. Soroka E., Leonova L., Pritchkin M., **Maydl T.** Fossil Algae as Indicators of the Depositional Environment. Kazan Golovkinsky Stratigraphic Meeting, 2017: Advances in Devonian, Carboniferous and Permian Research: Stratigraphy, Environments, Climate and Resources. Filodiritto International Proceedings, Bologna, Italy, pp. 320–324 http://apps.webofknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=OneClickSearch&qid=14&SID=D6TGsnt197Vyp6dY2y2&page=5&doc=43.

Поступила в редакцию / Received 11.01.2021

ВИТАЛИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ПЕТРОВСКИЙ • VITALY ALEKSANDROVICH PETROVSKY (к 75-летию юбилею) (the 75th anniversary)

Vitaly Aleksandrovich Petrovsky celebrated his 75th Jubilee on January 01, 2021. He worked at the Institute of geology of Komi SC UB RAS for more than 45 years. Vitaly Petrovsky is a well-known expert in the field of experimental modeling of natural processes, self-organization processes in the crystal-medium system, the study of the real structure and crystal growth with the given properties.

Виталий Александрович Петровский — известный специалист в области экспериментального моделирования природных процессов. Отличительной особенностью его исследовательского подхода является умелое применение эксперимента для решения минералогенетических задач, создание и использование оригинальных экспериментальных методик. Одним из первых в СССР он внедрил в практику кристаллогенетических исследований голографические методы, а также ряд других современных методических решений. Впервые в мире им проведены модельные эксперименты с визуализацией происходящих процессов и прямым наблюдением протекающих явлений в ходе самого эксперимента в широком интервале термодинамических параметров. На этой основе удалось установить причинно-следственные связи в процессах минералообразования, о которых исследователи лишь догадывались.

В. А. Петровский родился 1 января 1946 г. в г. Новгород-Волынске (Украина). Трудовую деятельность начал в 1963 г. в г. Шахты в должности электромонтера. В 1966 г. поступил в Ростовский госунивер-

ситет на геологический факультет и работал на кафедре общей и исторической геологии Коми филиала АН СССР на должности старшего лаборанта. В 1971 г. после окончания (заочно) университета был переведён на должность младшего научного сотрудника и стал специализироваться в области моделирования минералообразующих процессов и роста кристаллов. В 1977 г. без отрыва от производства окончил аспирантуру. В 1981 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему «Экспериментальное моделирование процессов минералообразования в неоднородных средах» в Московском геологоразведочном институте. С 1984 г. В. А. Петровский — старший научный сотрудник отдела минералогии Института геологии Коми филиала АН СССР. В 1992 г. защитил докторскую диссертацию «Кристаллогенезис в неоднородных средах» в Санкт-Петербургском горном институте и был переведён на должность ведущего научного сотрудника.

В работах В. А. Петровского рассмотрена проблема строения реальных кристаллов в связи с состоянием кристаллообразующих сред, являющаяся одной из центральных при изучении природного минералообразования, а также для разработки технологий получения монокристаллических материалов для электроники, оптики, машиностроения и др. отраслей техники.

В. А. Петровским исследованы закономерности возникновения объёмных неоднородностей гидротермальных растворов в процессе кристаллообразования и изучены пограничные слои растущих кристаллов и особенности их формирования в растворах. Установлено ключевое положение о неоднородностях растворов, возникающих как результат собственного роста или растворения, а не под влиянием внешних по отношению к кристаллогенезису причин. Определены характеристики пограничных слоёв в зависимости от усло-



В кулуарах XI съезда ИМА (Новосибирск, 1978 г.) ведется обсуждение представленных докладов (V. Petrovsky, V. Ruzov and F. Bedarida)

On the sidelines of the 11th IMA Congress (Novosibirsk, 1978), V. Petrovsky, V. Ruzov and F. Bedarida are discussing reports



В. Гаранин и В. Петровский в Минералогическом музее им. А. Е. Ферсмана РАН (г. Москва) знакомятся с геологическими объектами совместных исследований

V. Garanin and V. Petrovsky in the Mineralogical Museum named after A. E. Fersman RAS (Moscow) get acquainted with the geological objects of joint researches



вий роста/растворения кристаллов и предложен теоретический анализ, согласующийся с экспериментом.

Измерения температурных, концентрационных и гидродинамических полей пограничного слоя кристалла и окружающего его раствора показали, что в системе возникают диссипативные структуры, влияющие на характер захвата примесей растущим кристаллом. На основе теории самоорганизации неравновесных процессов проанализированы нелинейные процессы массопереноса в подобных системах.

Отличительной чертой Виталия Александровича является умение создавать небольшие научно-исследовательские коллективы, в том числе с международным участием, для решения важных фундаментальных и научно-прикладных задач. Усилиями научной группы сыктывкарских и бразильских ученых-геологов при изучении алмазов Тимано-Уральского региона и бразильской алмазоносной провинции выделены новые типы ювенильных включений, которые могут быть эффективно использованы при реконструкции условий формирования алмазных месторождений, в том числе и в Республике Коми.

Микрокристаллические чёрные алмазы карбонадо более 100 лет волнуют специалистов-алмазников, поскольку затрагивают самые общие фундаментальные проблемы минерало- и пороодообразования. Изучению их В. А. Петровский отдал много лет — как один, так и в содружестве с бразильцами, на родине которых карбонадо особенно распространены. Были выявлены три типа фазовых примесей. Установлены и изучены сингенетические и эпигенетические включения более 130 минеральных видов и разновидностей. Получено подтверждение существования в природе поликомпонентных твердых растворов — минералов на основе циркона — иоцит-рутил-цирконовой ассоциации, типоморфной для высокобарической обстановки мантийного минералообразования. В микроиндивидах алмазной фазы



Алмазоносные метаконгломераты — образования Сопы-Брумадинью, известные специалистам всего мира как самое первое нахождение алмазов в таких породах. Зафиксированный пласт на фото (г. Диамантина, 2005 г.) является геологическим памятником и охраняется бразильским законом

Diamond-bearing metaconglomerates — Sopa-Brumadinho formations, known among experts around the world as the very first find of diamonds in such rocks. The stratum on the photo (Diamantina, 2005) is a geological monument and protected by Brazilian law



Юбиляр и его будущее (сын Дан и внучка Яна)

Celebrant and his future (son Dan and granddaughter Yana)

выявлены многочисленные флюидные и минеральные включения, размер которых варьируется от первых десятков нанометров до 1–3 мкм. Внутри алмазной фазы карбонадо установлены магнезиальные хромшпинелиды и магнезиально-железистые гранаты — важное свидетельство мантийной природы карбонадо. Карбонадо характеризуется большей на 1–3 порядка насыщенностью флюидными включениями по сравнению с монокристалльными алмазами. Газовая фаза, содержащаяся в карбонадо, является многокомпонентной и аномально обогащена угарным газом. Большинство алмазных микрополикристаллов не имеют аналогов не только среди продуктов корового пороодо-, рудо- и минералообразования, но и среди продуктов корово-мантийных взаимодействий.

В. А. Петровским совместно с коллегами из Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский), Института геологии Коми НЦ УрО РАН (Сыктывкар) и Горного университета (Санкт-Петербург) проведены петролого-минералогические исследования вулканитов Толбачинского трещинного извержения 2012–2013 гг., в результате которых обнаружены многочисленные алмазы. Установлено, что по комплексу свойств вулканиты отвечают не островодужным, а рифтогенным магматитам, образовавшимся за счет глубинно-мантийного очага магмы пикритового состава. В них преобладает силикатное стекло, широко варьирующееся по железистости. Кроме того, обнаружены необычные *шпинелидные твердые растворы* на основе магнетита, магноферрита, ульвита и купрошпинели. *Алмазы* представляют собой хорошо образованные изометричные кристаллы кубооктаэдрического габитуса размером до 700 мкм. Изотопный состав алмазного углерода колеблется в пределах –27...–22 ‰.

В. А. Петровский является автором более 450 работ, в том числе крупных монографических обобщений, получивших широкое признание специалистов. Положительный резонанс среди мировой кристаллографической общественности вызвали опубликованная в 1981 г. в журнале «Crystal Growth» фундаментальная статья В. А. Петровского с соавторами по проблеме



В. Петровский с сыном Даном в районе Толбачинского извержения 2012–2013 гг. (полуостров Камчатка)

V. Petrovsky with his son Dan in the area of the Tolbachik eruption 2012–2013. (Kamchatka Peninsula)

применения голографии к изучению систем «кристалл–среда», а также серия монографий и отдельных изданий: «Прямое наблюдение гидротермальных процессов в автоклавных системах» (1984), «Рост кристаллов в гетерогенных растворах» (1989), «Динамика пограничного слоя растущего и растворяющегося кристалла» (1990), «Взаимодействие кристалла и среды» (1992), «Роль колебательной симметрии в процессах самоорганизации системы „кристалл–среда“» (1996), «Микро- и нанодисперсные структуры минерального вещества» (1999), «Наноминералогия, ультра- и микродисперсное состо-

яние минерального вещества» (2005), «Минералогия карбоната и экспериментальные модели их образования» (2007), «Кристаллогенезис в неоднородных средах» (2011) и др. В этих работах Виталием Александровичем приведены материалы как самостоятельного, так и совместного с другими исследователями изучения фундаментальных проблем минералогии и кристаллографии. Высокую научную значимость имеют результаты по самостоятельно разрабатываемой В. А. Петровским на протяжении 45 лет весьма актуальной проблеме кристаллогенезиса в неоднородных средах.

В своих научных поисках Виталий Александрович прошел геологическими маршрутами по Уралу, Пай-Хою, Тиману, Вайгачу, Памиру, Дальнему Востоку, Болгарии, алмазоносным месторождениям Бразилии, вулканам Камчатки. Проводил совместные плодотворные исследования с сотрудниками Коми государственного педагогического института, Сыктывкарского государственного университета, ВНИИСИМС, ОАО «Техномаш», ИФВД РАН, Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Горного института (Санкт-Петербург), а также Федерального университета штата Минас-Жерайс (Бразилия). Виталий Александрович награжден Премией Коми комсомола в области науки (1977 г.), Премией Правительства Республики Коми (2007 г.), Премией им. академика Л. Д. Шевякова (за монографию 2012 г.), медалью им. А. Е. Ферсмана «За заслуги в геологии» (2014 г.) и другими дипломами и грамотами. За внедренные результаты научных достижений в производство он удостоен знака «Изобретатель СССР» и пяти медалей ВДНХ СССР.

Желаем юбиляру многих лет творческой жизни, новых достижений, оптимизма, благополучия, крепкого здоровья!

К. г.-м. н. А. Сухарев



ICAM 2021 AVEIRO



geobiotec
Geotecnologias, Geotecnologias e Geotecnologias



universidade de aveiro

DEAR COLLEAGUES! WELCOME TO AVEIRO, PORTUGAL!

The Organizing Committee invites you to the 15th International Congress on Applied Mineralogy (ICAM 2021), on 26–30 July 2021, at Aveiro University (www.icam2021aveiro.pt)

Scientific Program

Like in the previous ICAM meetings, contributions from all fields of Applied Mineralogy research are welcome.

The main Key-topics as well as Special-sessions will be announced in the First Circular.

Field-trips and Social events will deserve Very Special attention from the Organisers.

Provisional Key-topics:

- Advanced materials with improved characteristics
- Analytical methods, instrumentation and automation
- Biomimetic materials on a mineral basis, biomine-
ralogy
- Construction and building materials
- Cultural heritage, artifacts, archeometry and
preservation

- Environment and energy, Minerals for Climate
Action, CO₂ sequestration
- Geometallurgy and process mineralogy
- Industrial minerals, gems, ores, and mineral
exploration
- Medical mineralogy

Workshop on Critical Minerals and Circular Economy

Provisional Field-trips and Social events:

- Field-trip to kaolin deposits, exploitation and
processing
- Field-trip to Li pegmatite mine
- Visit to Vista Alegre porcelain Factory and Museum
- Congress diner on Wine Cellar and Museum

Fernando ROCHA, Chair of ICAM 2021



ОБЪЕДИНЕННЫЕ ЛИТОЛОГИЧЕСКИЕ ТЕМАТИЧЕСКИЙ И ПРАКТИЧЕСКИЙ СЕМИНАРЫ—2021



JOINT LITHOLOGICAL THEMATIC AND PRACTICAL SEMINARS—2021

7–10 апреля 2021 г. лаборатория литологии и геохимии осадочных формаций Института геологии им. академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН под эгидой НС ЛОПИ проводит тематический семинар «Изотопные характеристики карбонатных пород и их связь с условиями осадконакопления: проблемы и возможности» и практический семинар «Разнообразие генетических типов пород органогенных сооружений».

Научная программа

На тематическом семинаре предполагается обсуждение изотопных характеристик для целей реконструкции обстановок и условий карбонатакопления. Есть договоренность со специалистами по изотопной геохимии о выступлении с пленарными докладами. Желающих заявить свои доклады по данной тематике просим писать на электронную почту тематического семинара (указано в контактах).

Целью практического семинара является расширение знаний и повышение уровня научных исследований среди молодых ученых, в том числе знакомство:

- с коллекцией шлифов различных типов органогенных построек от верхнего ордовика до нижней перми;
- с коллекциями участников для обмена опытом, решения проблем и вопросов, касающихся каркасных организмов, биосеносов и т. д.
- с публикациями сотрудников лаборатории по тематике семинара.

Контрольные сроки:

Регистрация и прием аннотаций докладов на тематический семинар — **до 10 марта 2021 г.**

Проведение семинаров — **7–10 апреля 2021 г.**

Контакты

Институт геологии им. академика Н. П. Юшкина ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, ул. Первомайская, д. 54, Сыктывкар, 167982

Факс 8(8212)24-09-70

Телефоны: 8(8212)24-54-16 — лаборатория литологии и геохимии осадочных формаций

По вопросам участия в тематическом семинаре обращаться к Евгению Сергеевичу Пономаренко (lithseminar@geo.komisc.ru)

По вопросам участия в практическом семинаре обращаться к куратору семинара Андрею Николаевичу Сандуле (sandula@geo.komisc.ru) и руководителям семинара: Шмелёвой Любови Алексеевне (lyubov.shmeleva@inbox.ru.) или Наталье Александровне Матвеевой (nakaneva@geo.komisc.ru)

On April 7–10, 2021, the Laboratory of lithology and geochemistry of sedimentary formations of the Institute of geology named after Academician N. P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS under the auspices of Science Committee on Problems of Lithology and Sedimentary Minerals are holding a thematic workshop «Isotopic characteristics of carbonate rocks and their relationship with sedimentation conditions: problems and opportunities» and a practical seminar «Variety of genetic types of rocks of organogenic structures».

Scientific program

The thematic workshop will discuss isotopic characteristics for the purposes of reconstructing environments and conditions of carbonate accumulation. There is an agreement with specialists in isotope geochemistry to deliver plenary reports. Those wishing to submit their reports on this topic, please e-mail (indicated in the contacts).

The purpose of the workshop is to expand knowledge and improve the level of scientific researches among young scientists:

- acquaintance with the collection of thin sections of various types of organogenic structures from the Upper Ordovician to the Lower Permian;
- acquaintance with the collections of participants for the exchange of experience, solving problems and issues related to frame organisms, biocenoses, etc.
- acquaintance with publications of laboratory staff on the topic of the seminar.

Deadlines:

Registration and acceptance of titles and abstracts of reports for the thematic seminar **March 10, 2021.**

Workshops held on **April 7–10, 2021**

Contacts

Institute of geology named after Academician N.P. Yushkin FRC Komi SC UB RAS, 54 Pervomayskaya st., Syktivkar, 167982

Fax +7 (8212) 24-09-70

Phones: +7 (8212) 24-54-16 — Laboratory of lithology and geochemistry of sedimentary formations

For participation in the thematic seminar, contact Evgeny Sergeevich Ponomarenko (lithseminar@geo.komisc.ru)

For participation in the workshop, please contact the Seminar Curator Andrey Nikolaevich Sandula (sandula@geo.komisc.ru) or the workshop leaders: Lyubov Alekseevna Shmeleva (lyubov.shmeleva@inbox.ru) or Natalya Matveeva (nakaneva@geo.komisc.ru)



МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО- ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ТРИГГЕРНЫЕ ФАКТОРЫ ЭВОЛЮЦИИ ОРГАНИЧЕСКОГО МИРА»

16–17 февраля 2021 г. Институт геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН проводит Международную научно-образовательную конференцию на тему: «Триггерные факторы эволюции органического мира».

Программа конференции включает доклады и лекции приглашенных ведущих ученых и профессоров из разных стран мира (Россия, Великобритания, США, Швеция, Латвия), а также молодых ученых, в том числе студентов и аспирантов. Конференция будет проходить в форме дискуссии — обсуждения актуальных вопросов современности: эволюции органического мира и факторов, вызывающих изменения биосферы Земли.

В завершение конференции будет проведено рабочее совещание с целью определения конкретных задач и детального плана научных исследований на 2021 год в рамках российско-британского гранта «Как окружающая среда отреагировала на изменение климата в девонское время в европейской части Арктики?»

В связи со сложившейся санитарно-эпидемиологической ситуацией конференция будет проходить с использованием информационно-коммуникационных технологий в частично удаленном, дистанционном режиме.

Желающие могут ознакомиться с анонсом докладов (на русском и английском языках) и некоторыми статьями ведущих ученых — спикеров конференции — 15.02.2021г. на сайте ИГ.

Прямая трансляция — на youtube-канале Института геологии.

Контакты:

ИГ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН ул. Первомайская, д. 54, Сыктывкар, 167982

(8212) 24-53-53 — приемная директора

(8212) 44-71-51 — Козырева Ирина Владимировна (ученый секретарь Института геологии)

Факс: (8212) 24-09-70; 24-53-46

Эл. почта: kozyreva@geo.komisc.ru

Оргкомитет конференции

Редакторы издательства:

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

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL CONFERENCE «TRIGGER FACTORS OF THE EVOLUTION OF THE ORGANIC WORLD»

On February 16–17, 2021, the Institute of geology FRC Komi SC UB RAS is holding International Scientific and Educational Conference on the theme: «Trigger factors of the evolution of the organic world».

The conference **program** includes reports and lectures by invited leading researchers and professors from around the world (Russia, Great Britain, USA, Sweden, Latvia), as well as young scientists, including students and postgraduates. The conference will be held as a discussion of topical issues of our time — evolution of the organic world and factors causing changes in the Earth's biosphere.

At the end of the conference, a workshop will be held to identify specific tasks and a detailed plan for scientific researches 2021 within the framework of the Russian-British grant «How did the environment react to climate change during the devonian time in the european part of the arctic?»

Due to the current epidemiological situation, the conference will be held using information and communication technologies in a partially remote and remote mode.

Those interested can familiarize themselves with the announcement of reports (in Russian and English) and some articles by leading researchers — speakers of the conference on 15.02.2021 on the website of the Institute.

Live broadcasting on the Youtube channel of the Institute of geology.

Contacts:

IG FRC Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 54 Pervomayskaya st, Syktvykar, 167982

+7 (8212) 24-53-53 - Director Reception

+7 (8212) 44-71-51 - Kozyreva Irina Vladimirovna (Science Secretary of the Institute of geology)

Fax: +7 (8212) 24-09-70; 24-53-46

E-mail: kozyreva@geo.komisc.ru

Organizing committee of the conference

Компьютерная верстка:

Р. А. Шуктомов

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором. Отпечатано: 26.02.2021. Формат бумаги 60×84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6. Тираж 140. Заказ 1157. 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 И. Астаховой, А. Перетягина, П. Безносова, Е. Кушмановой