Апрель 2019 г., № 4 (292)



Вестник

Института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН

Научно-информационное издание, основанное академиком Н. П. Юшкиным в 1995 г.

Содержание

Научные статьи

Вещественный состав миоценовых отложений Саитовского песчано-гравийного месторождения (Южное Предуралье)
И. Р. Рахимов 3

О некоторых текстурных о собенностях глубоководных отложений палеозоя Пайхойского антиклинория
К. П. Рязанов 11

Петрографический состав обломочного материала тиллов гряды с напорным моренным основанием у д. Мосеево (западная часть Терских Кейв, Кольский полуостров)
О. Ю. Носова, А. А. Вашков 17

A new species of shallow-water *Siphonodella* (Conodonta) from the Tournaisian (Lower Carboniferous) of Pechora-Kozhva Uplift, Timan-Pechora Basin
A. V. Zhuravlev 25

Проявление шунгитоподобного углерода Ручейное (Приполярный Урал)
М. Ю. Сокерин, Е. А. Голубев, А. А. Уткин, Н. В. Сокерина 29

Хиральные соединения в уролитах
В. И. Каткова, С. Н. Шанина 38

Минералогические критерии выбора технологии переработки руд редких металлов
Е. Г. Лихникевич, Е. Г. Ожогина, А. С. Фатов 42

Хроника, события, факты

Коллекционные образцы кварца и кальцита из месторождений Дальнегорска в музее Дальневосточного геологического института
В. А. Соляник 49

Хроника

7 апреля — День геолога

9 апреля — Геологический музей им. А. А.Чернова посетил заместитель председателя Госсовета Республики Татарстан по законности и правопорядку Р. Г. Нугуманов с делегацией из Комитета по законодательству и местному самоуправлению Госсовета РК.

10 апреля — старший инженер-химик лаборатории минерального сырья Е. Ф. Малахова и старший лаборант лаборатории палеонтологии З. Г. Скок награждены Знаком отличия Республики Коми «За безупречную службу Республике Коми».

16–18 апреля — состоялся XVII Геологический съезд Республики Коми.

18 апреля — старший научный сотрудник геофизической обсерватории «Сыктывкар» Н. В. Конанова награждена почетной грамотой Уральского отделения Российской академии наук.

19 апреля — Геологический музей им. А. А.Чернова посетил вице-президент Торгово-промышленной палаты РФ М. А. Фатеев с делегацией руководителей в Ассоциации ТПП Северо-Западного федерального округа.

Главный редактор А. М. Асхабов, **зам. главного редактора** О. Б. Котова,
ответственный секретарь Т. М. Безносова, **тех. редактор** Г. Н. Каблис, **зав. редакцией** Т. А. Некучаева

Редакционный совет — 2019:

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
Р. И. Конеев, Ташкент, Узбекистан
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



April, No 4 (292), 2019

Vestnik

Institute of Geology of Komi Science Center of Ural Branch RAS

Scientific information edition founded by Academician N. P. Yushkin in 1995

Content

Scientific articles

Material composition of Miocene sediments of the Saitovo sand-gravel deposit (Southern Pre Urals)
I. R. Rakhimov 3

On some textural features of Paleozoic deep-water deposits of Pay-Khoy anticlinorium
K. P. Ryazanov 11

Petrographic composition of till debris of the ridge with push moraine basement near the Moseevo Village (western part of the Terskie Keivy, the Kola Peninsula)
O. Yu. Nosova, A. A. Vashkov 17

A new species of shallow-water *Siphonodella* (Conodonta) from the Tournaisian (Lower Carboniferous) of Pechora-Kozhva Uplift, Timan-Pechora Basin
A. V. Zhuravlev 25

Rucheynoye occurrence of shungite-like carbon (Subpolar Urals)
M. Yu. Sokerin, Ye. A. Golubev, A. A. Utkin, N. V. Sokerina 29

Chiral connections in urolites
V. I. Katkova, S. N. Shanina 38

Mineralogical criteria for the selection of rare metals ore processing technology
E. G. Likhnikevich, E. G. Ozhogina, A. S. Fatov 42

Chronicle, events, facts

Collection quartz and calcite samples from Dalnegorsk deposits in the FEGI museum
V. A. Solyanik 49

Chronicle

April 7 — Geologist Day

April 9 — Geological Museum was visited by the Deputy Chairman of the State Council of the Republic of Tatarstan on Legality and Law R. G. Nugumanov with a delegation from the Committee on Legislation and Local Self-Government of the State Council of Komi Republic.

April 10 — Senior Engineer-Chemist of the Laboratory of mineral raw materials E.F. Malakhova and Senior Laboratory Assistant of the Paleontology laboratory Z.G. Skok were awarded the Komi Republic merit badge «For honorable service to the Komi Republic».

April 16–18 — the 17th Geological Congress of Komi Republic.

April 18 — N. V. Konanova, Senior Researcher at the Geophysical Observatory «Syktyvkar», was awarded a diploma of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

April 19 — Geological Museum was visited by the Vice-President of the Chamber of Commerce and Industry of the Russian Federation M.A. Fateev with a delegation of leaders in the Association of Chambers of Commerce and Industry of the North-Western Federal District.

Chief Editor A. M. Askhabov, **Deputy Chief Editor** O. B. Kotova,
Executive Editor T. M. Beznosova, **Technical Editor** G. N. Kablis, **Managing Editor** T. A. Nekuchaeva

2019 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. Voytekhovsky, Saint Petersburg, Russia
Alexey D. Gvishiani, Moscow, Russia
Irina V. Kozyreva, Syktyvkar, Russia
Marko Komac, Ljubljana, Slovenia
Rustam I. Koneev, Tashkent, Uzbekistan
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 Mannik, Tallinn, Estonia
Alexander M. Pystin, Syktyvkar, Russia
Constance M. Soja, Hamilton, NY, USA
Oksana V. Udoratina, Syktyvkar, Russia
Mikhail A. Fedonkin, Moscow, Russia

УДК 552.51: 552.52 DOI: 10.19110/2221-1381-2019-4-3-10

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ МИОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ САИТОВСКОГО ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ЮЖНОЕ ПРЕДУРАЛЬЕ)

И. Р. Рахимов

Институт геологии Уфимского ФИЦ РАН, Уфа

rigel92@mail.ru

Статья посвящена изучению осадочных образований среднего — позднего миоцена в Южном Предуралье на примере Саитовского песчано-гравийного месторождения в южной части Ашкадарско-Сухайлинской неогеновой залежи. Представлены первые данные минерально-геохимических исследований лимнических отложений данной залежи. В разрезе карьера месторождения выделены две гравийно-галечные пачки, представленные главным образом обломками кварцитов (до 95 %), и две алевропесчаные пачки, в пелитовой фракции которых методом рентгеновской дифракции установлены глинистые минералы: каолинит, хлорит, иллит. Накопление грубообломочных толщ обусловлено тектонической активностью области сноса. В периоды её затухания мелко- и тонкообломочные породы формировались как за счёт разрушения крупных обломков, так и за счёт участия других источников сноса (древних каолиновых/иллитовых кор выветривания). Высокие значения индекса химического выветривания пород (CIA $(Al_2O_3/(A_{l2}O_3+CaO+Na_2O+K_2O)_{molec} \times 100 = 90)$ свидетельствуют об их образовании в условиях тёплого гумидного климата. Проведённые исследования позволяют не только охарактеризовать источники сноса миоценовых отложений, но и в целом уточнить геологическую историю Предуралья в миоцене.

Ключевые слова: *Южное Предуралье, миоцен, песчано-гравийные отложения, гранулометрический состав, кварциты, глинистые минералы, литохимия.*

MATERIAL COMPOSITION OF MIOCENE SEDIMENTS OF THE SAITOVO SAND-GRAVEL DEPOSIT (SOUTHERN PRE-URALS)

I. R. Rakhimov

Institute of Geology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa

We studied Middle–Late Miocene sediments on the example of representative section in the South part of Ashkadar-Sukhaylya Neogene bed. The first data of mineralogical-geochemistry investigations of Miocene limnic sediments of Saitovo sand-gravel deposit were presented. In the section of quarry of deposit two gravel-pebble and two silt-sandy packs were distinguished. The rocks were mainly composed of quartzite clasts (to 95 %). In the fine fractions of sands with X-Ray diffraction method clay minerals were found: kaolinite, chlorite, illite. The accumulation of gravel-pebble packs reflected formation through tectonically active setting of source of detritus. During stagnant tectonic settings fine-clastic rocks were formed through destruction of coarse material and as well as through other sources (ancient kaolin/illite weathering crusts). High value of chemical weathering index $(Al_2O_3/(A_{l2}O_3+CaO+Na_2O+K_2O)_{molec} \times 100 = 90)$ of rocks indicated their formation under warm humid conditions of climate. Completed investigation allowed not only to characterize Miocene sediments source of detritus, but also to define the pre-Urals Miocene geology history.

Keywords: *Southern pre-Urals, Miocene, sand-gravel sediments, granulometric constitution, quartzites, clay minerals, lithochemistry.*

Введение

Отложения неогена в Южном Предуралье развиты в виде относительно небольших изометричных залежей лимнического генезиса на водоразделах или протяжённых аллювиальных залежей в долинах рек. Пик их изучения приходится на 40–60-е гг. прошлого века [14], и с тех пор сведения о них в опубликованной литературе встречаются крайне редко и в основном лишь в биостратиграфическом аспекте [1]. С ними связаны ценные месторождения бурых углей, стекольных и формовочных песков, огнеупорных глин, а также песчано-гравийного материала [9]. Вместе с тем геологическая история их формирования характеризует важный этап геодинамической эволюции Южно-Уральского региона, определивший современный облик его геолого-геоморфологического строения [6].

Объектом исследований автора является неогеновая залежь, расположенная на Ашкадарско-Сухайлинском водоразделе (рис. 1, а) и вытянутая более чем на 50 км при ширине менее 10 км и максимальной мощности 30–40 м. В данной статье приводятся результаты изучения южной части этой залежи, где в карьере Саитовского месторождения (рис. 1, b) вскрыт наиболее представительный разрез мощностью до 20 м. Разработка Саитовского месторождения велась в 1960–1980 гг., а полезной толщей служили в основном светлоокрашенные гравийно-галечные отложения. Геологическая информация об объекте известна лишь из производственного отчёта [2], в котором обозначен её среднепозднемиоценовый возраст. Под ней залегают пестроцветные глины нижнего миоцена мощностью не менее 14 м (предположительно – ворошиловская свита).

Цель исследований — изучение литолого-стратиграфических особенностей и вещественного состава отложений Ашкадарско-Сухайлинской неогеновой залежи на примере разреза Саитовского месторождения, которое уточнит геологическую историю Предуралья. Актуальность исследований обоснована тем, что отложения данной залежи практически лишены органических остатков и для установления их стратиграфической приуроченности определяющими становятся минералого-геохимические методы исследований.

Методы исследований

Гранулометрический состав пород определялся с помощью ситового анализа (фракции >10, 10–2, 2–1, 1–0.5, 0.5–0.2, 0.2–0.1и < 0.1 мм) и отмучивания в ди-

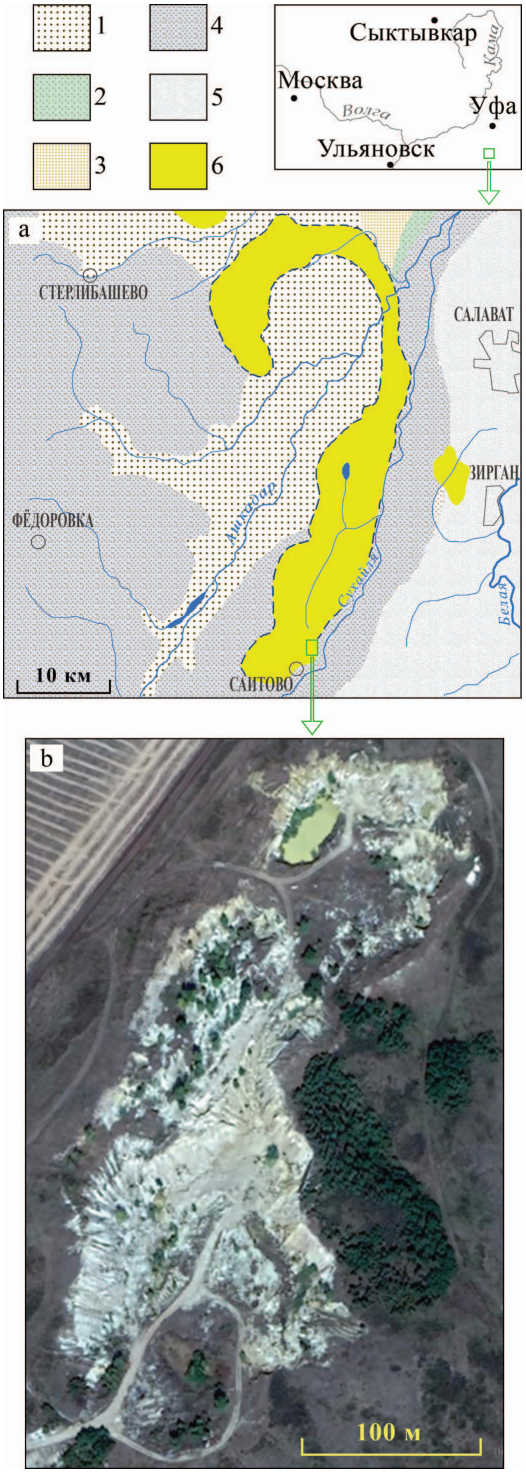


Рис. 1. Геологическая карта района развития Ашкадарско-Сухайлинской неогеновой залежи (обозначена пунктиром) (a) по [4] и спутниковый снимок Google Earth карьера Саитовского песчано-гравийного месторождения (b).
Условные обозначения: терригенные и терригенно-карбонатные отложения свит: 1 — шешминской (P_1), 2 — нежинской (P_1), 3 — соликамской (P_1), 4 — белебеевской (P_2), 5 — салмышской, гребенской, вязовской и кульчумовской объединённые (P_{2-3}), 6 — ворошиловской и ушкатлинской объединённые (N_1)

Fig. 1. Geological map of Ashkadar-Sukhaylya Neogene strata distribution region (marked by a dotted line) (a) and satellite image Google Earth of Saitovo sand-gravel deposit career (b).
Legend: terrigenous and terrigenous-carbonate sediments of: 1 — Sheshma suite (P_1), 2 — Nezhinka suite (P_1), 3 — Solikamsk suite (P_1), 4 — Belebey suite (P_2), 5 — Salmysh, Grebenka, Vyazovka, and Kul'chumovo suites common (P_{2-3}), 6 — Voroshilovka, and Ushkatly suites common (N_1)

стиллированной воде (фракции 0.1–0.05, 0.05–0.005 и < 0.005 мм) по методике [5]. Контроль размерности обломков при отмучивании проводился с помощью предметного стекла на оптическом микроскопе Axioskop 40 A Pol (Carl Zeiss). На этом же приборе изучались полированные шлифы из образцов галек.

Рентгенофлуоресцентный анализ проводился на спектрометре VRA-30 (Carl Zeiss) в ИГ УФИЦ РАН (г. Уфа) с использованием рентгеновской трубки с W-анодом (30 кВ, 40 мА). Атомно-абсорбционным методом (спектрофотометр «Спектр-5») определялись содержания Cr, Co, Ni, Cu, Zn и Pb. Рентгенофазовый анализ порошковых проб выполнялся на дифрактометре Shimadzu XRD6000 в CuKα-излучении (40 кВ, 30 мА). Съёмка осуществлялись с шагом 0.02° и временем счёта 10 с. Результаты были обработаны в программе «Match!» Crystal Impact.

Литологические критерии определялись с использованием известных коэффициентов: морфология обломков оценивалась по визуальной шкале Рассела и Тэйлора [17]; коэффициент сферичности рассчитывался по формуле Паев $\psi p=\sqrt{b/a}$, где a – длинная ось, b – короткая ось максимальной проекции обломка [11]; степень сортировки S_o вычислялась по методу квартилей ($\sqrt{Q3/Q1}$) П. Траска [19].

Для геохимической характеристики исследуемых пород и палеоклиматической реконструкции обстановок их формирования использовались петрохимические модули Я. Э. Юдовича, М. П. Кетрис [12], а также индекс химического выветривания $CIA=(Al_2O_3/(Al_2O_3+CaO+Na_2O+K_2O)_{molec}\times 100$ [16].

Для удобства использования в графических и табличных данных наименований литологических пачек применялись терминологические сокращения на основе англоязычного названия породы с присвоением номера согласно положению в разрезе (снизу вверх): sand-gravel (SG-1, SG-2), aleurite-sand (A-1, A-2).

Характеристика объекта исследований

В геологическом строении района Саитовского месторождения участвуют пермские и неоген-четвертичные отложения осадочного чехла Восточно-Европейской платформы [4, 9]. Пермские отложения представлены полимиктовыми песчаниками с прослоями известняков и мергелей, относимых к шешминской, соликамской, белебеевской свитам ранней — средней перми. К неогеновым образованиям отнесены пестроцветные глины (предположительно нижнемиоценовые), светлоокрашенные галечники с прослоями кварцевых песков (предположительно средне- и верхнемиоценовые). Маломощные четвертичные образования развиты вдоль русел рек Ашкадар и Сухайля.

В изученном разрезе автором были выделены 4 литостратиграфические пачки: 2 гравийно-галечные (SG-1 и SG-2) и 2 алевропесчаные (A-1 и A-2) (рис. 2). Подстилающие пестроцветные глины карьером не вскрыты. По геолого-литологическим характеристикам исследуемые образования нами предварительно были отнесены к озёрным отложениям тятерской толщи ушкатлинского горизонта среднего — верхнего миоцена (N_1^{2-3} uš) [8].

Нижняя пачка (SG-1) мощностью 4–13 м сложена светло-серыми и рыжеватыми гравийными галечниками с прослоями среднезернистых песков. Выше залегает

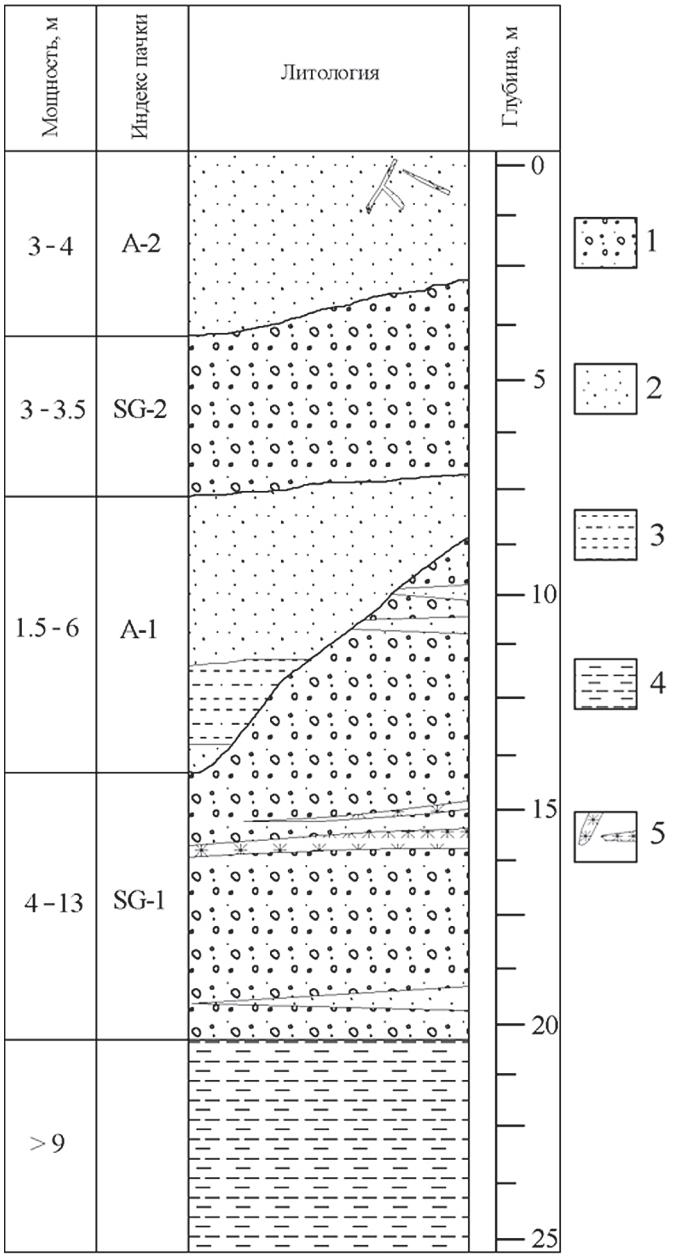


Рис. 2. Схема литологического расчленения отложений Саитовского месторождения: 1 — гравийно-галечные отложения, 2 — алевропески, 3 — глинисто-алевритовые пески, 4 — глины жирные, 5 — жилы и прослои бурых железняков
Fig. 2. Scheme of lithology of Saitovo deposit. Legend: 1 — gravel-pebble sediments, 2 — aleurite-sands, 3 — clay-aleurite-sands, 4 — greasy clay, 5 — brown iron veins and bands

пачка светло-серых и охристо-рыжеватых алевропесков (A-1) мощностью от 1.5 до 7 м. Выше вновь развита пачка гравийных галечников (SG-2), аналогичных SG-1, мощностью 3.5 м. Верхняя пачка (A-2) представлена алевритовыми песками буровато-светло-серого цвета мощностью 3–4 м. Кровлей разреза служит неравномерная по мощности современная кора выветривания (0.4–2 м) и почвенно-растительный слой (0.1–0.3 м).

Слоистость в отложениях выражена слабо и связана с незначительным проявлением гранулометрических градаций. Залегание слоёв имеет субгоризонтальный (~3°) характер, хотя углы варьируют от 0 до 9°. Разрез осложнён системой мелких разрывных нарушений сбросового типа с восточным падением и амплитудой смещения крыльев до 3 м [8].

Результаты исследований

По результатам гранулометрического анализа в гравийно-галечных отложениях выявились некоторые вариации, связанные с переменным преобладанием обломков галечной либо гравийной размерности (табл. 1). Заполнителем обычно служит среднезернистый песок, доля фракции >100 мм не вычислялась, поскольку обломки валунной размерности в толщах немногочисленны. Галька и гравий представлены фрагментами кварцитов (90–95 об. %) и фтанитов (5–10 об. %). Изредка в галечниках встречаются включения-окатыши голубовато-серых опесчаненных глин диаметром до 10 см. Обломки кварцитов имеют среднюю и хорошую окатанность (2–4 балла) и высокую степень сферичности (0.9–1), тогда как обломки фтанитов слабо- или среднеокатанны (1–2 балла), степень сферичности низкая (0.7–0.8).

В алевропесчаных отложениях ведущей является фракция 0.1–0.2 мм (песок мелкозернистый). Количество алевритовой фракции (0.005–0.05 мм) варьирует от 12.4 до 31.8 %, а доля глинистой фракции (< 0.005 мм) – от 4.1 до 31.9 %. Степень окатанности большинства песчаных зёрен по шкале Рассела и Тэйлора — 1. Сортировка отложений характеризуется как средняя и хорошая, коэффициент сортировки S_o варьирует от 1.3 до 1.9. Учитывая широкое распространение в них не просто кварца, а обломков кварцитов, по петрографическим признакам их следует относить к кремнёвым граувакка м и ваккам [10, 13].

В отложениях Саитовского карьера выявлены многочисленные участки постседиментационного ожелезнения, проявленные в гравийных галечниках в виде тёмно-бурых полос и линз — скоплений тонкодисперсных минералов железа (рис. 3, a). Ширина полос варьирует от 1–5 до нескольких десятков сантиметров. Также встречаются прослои железистых конгломератов (галечник, сцементированный гидроксидно-железистым минеральным матриксом) мощностью до 40 см, извилистые пропластки (рис. 3, b) и жилы бурых железняков толщиной до 3–5 см. Пропластки имеют субгоризонтальную ориентировку и распространены в гравийно-галечной пачке SG-2, тогда как жильные тела заполняют трещины в алевропесчаной пачке A-2.

Главным минералом исследуемых отложений является кварц, преобладающий во всех гранулометрических фракциях, кроме глинистой. В галечных, гравийных и песчаных фракциях кварц содержится в количестве не менее 90 % (до 98 %), в алевритовой фракции его доля составляет 80–85 %, в глинистой — 24–35 %. Помимо кварца в песчаной фракции присутствуют полевые шпаты, мусковит, хлорит и другие минералы.

В тонких фракциях псаммитов (0.1–0.05, 0.05–0.005, < 0.005 мм) по результатам рентгенофазового анализа выявлены глинистые минералы групп каолинита, иллита, хлорита (рис. 4). Среди них обычно преобладает каолинит (до 47 мас. % во фракции < 0.005 мм), который идентифицируется по основным рефлексам 7.2, 3.6, 2.4, 2.3, 1.5 Å. Иллит диагностируется по пикам 10.0, 4.5, 3.9, 2.9 Å в пелитовой фракции (до 14 мас. %). Хлорит (до 6 %) также в основном характерен для фракции < 0.005 мм, определяясь по пикам 7.17, 2.49, 2.00 Å. Установлено значительное количество мусковита (до 4 % — в тонкой песчаной фракции, до 6 % – в алевритовой, до 17 % – в пелитовой) с рефлексами 2.57, 10.0,

Таблица 1. Гранулометрический состав пород Саитовского месторождения, мас.%
Table 1.Granulometric composition of Saitovo deposit, wt. %

Фракции, мм Fractions, mm	Индексы пачек и № проб / Indices of members and Nos of samples								
	SG-1					A-1			A-2
	D_5-29	D_5-33	D_5-34	D_5-35	D_5-41	D_5-50	D_5-51	D_5-52	D_5-56
10–100	41.59	51.13	35.16	59.59	25.24	0	0	0	0
2–10	27.73	22.64	54.35	29.90	38.45	0.03	0	0	0.04
1–2	4.44	4.49	2.34	1.97	4.27	0	0.03	0	0.01
0.5–1	4.48	4.07	1.13	0.74	4.21	0.03	0.01	0	0.01
0.2–0.5	18.28	12.94	4.57	6.06	22.33	2.22	0.12	2.18	11.29
0.1–0.2	1.99	2.32	0.46	0.59	3.24	29.94	3.10	20.12	42.38
<0.1	1.49	2.42	1.98	1.15	2.25	67.79	96.74	77.71	46.27
0.05–0.1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	21.94	33.04	51.48	22.04
0.005–0.05	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	23.62	31.80	12.38	20.15
<0.005	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	22.23	31.90	13.85	4.08
Сумма Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Примечание: «n.d.» — фракции не определялись. Представленные в пачках SG-1 и A-1 пробы отбирались снизу вверх через равный интервал.
Note: «n.d.» — fraction was not determined. Samples in SG-1 and A-1 were selected bottom upward through equal interval.

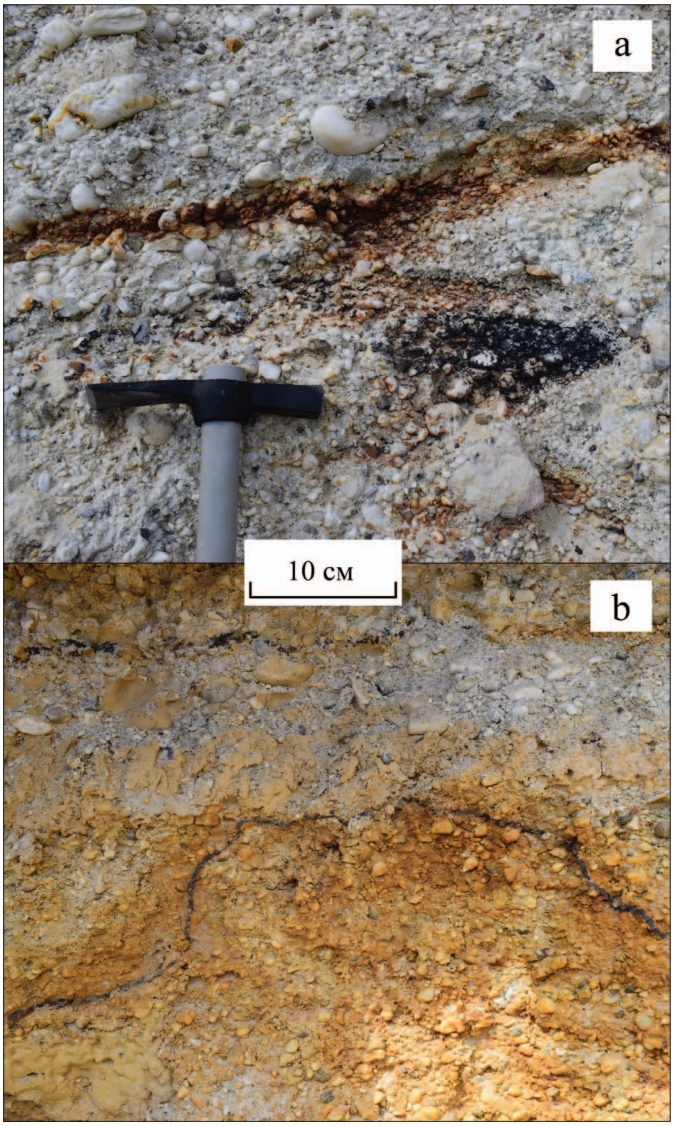


Рис. 3. Полосы ожелезнения (a) и пропластки бурых железняков (b) в гравийно-галечниках Саитовского месторождения
Fig. 3. Ferriferous bands (a) and seams of ironstone (b) in the Saitovo sand-gravel deposit

4.99, 2.99, 2.00 Å. Мусковит наравне с кварцем уверенно определяется в породах невооружённым взглядом. В небольшом количестве присутствуют полевые шпаты (микроклин, альбит). Во всех исследованных фракциях проявляются чёткие рефлексы кварца (3.34, 4.25, 1.82, 1.54, 1.37 Å).

Главными рудными минералами железистых новообразований являются гётит (30–40 %) и гематит (16–35 %). Содержание FeO_t ($FeO + Fe_2O_3$) в железистых конгломератах составляет около 11 %. В жильных рудах алевропесков диагностированы гётит (67 %), гематит (15 %), магнетит (4 %), лепидокрокит (1 %) и др. Содержание FeO_t в жильных рудах достигает 32 %.

Количество кремнезёма в гравийных галечниках составляет 91–96 % (табл. 2), а значение гидролизатного модуля (ГМ) не превышает 0.07 (гипер- и суперсилиты). Алевропески Саитовского месторождения характеризуются повышенным значением ГМ (0.14–0.27), относясь к классам нормо- и миосилитов. Содержание SiO_2 в них составляет 73.5–83.9 %. Модуль нормированной щёлочности (НКМ) в псефитах сильно варьирует (0.07–0.3), что связано с резкими колебаниями в них содержания Na_2O, тогда как в псаммитах его значение стабильно (0.07–0.09). На диаграмме ГМ – НКМ (рис. 5, a) выражено явное различие пород из разных пачек по типам корреляции индикаторных модулей: отрицательной в грубообломочных и положительной в мелкообломочных.

Разный характер распределения фигуративных точек наблюдается и на диаграмме ЖМ – ТМ, на которой грубообломочные пробы образуют тренд отрицательной корреляции, а алевропесчаные породы образуют компактное поле (рис. 5, b). Обе разновидности пород относятся к нормотитанистым по величине титанового модуля (ТМ) (в среднем 0.07), но сильно различаются по железному модулю (ЖМ): гравийные галечники относятся к супер- и гипержелезистым (ЖМ 0.9–2.5), а алевропески — к гипожелезистым (ЖМ 0.07–0.14) силитам.

Помимо вышеуказанных отличий, грубообломочные и мелкообломочные отложения Саитовского ме-

Таблица 2. Химический состав пород Саитовского месторождения и их тонких фракций (оксиды — в мас.%, элементы — в г/т)

Table 2. Chemical composition of Saitovo deposit and its fine fractions (oxides in wt. %, elements in ppm)

№ п/п No	№ проб Sample No	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO_t	MnO	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	ППП poi	Сумма Total
1	**D_5-29**	95.62	0.14	1.54	1.50	0.02	0.41	0.16	0.40	0.06	0.04	0.47	100.42
2	D_5-29-1	91.35	1.56	3.63	1.77	0.05	0.48	0.07	0.39	0.17	0.06	0.86	100.74
3	**D_5-34***	91.53	0.09	1.56	4.05	0.06	0.20	0.04	0.20	0.06	0.14	1.21	99.23
4	D_5-34-1*	50.55	0.44	7.68	26.45	0.84	2.61	0.14	0.20	0.26	1.16	9.32	100.90
5	**D_5-35***	90.83	0.15	2.45	4.10	0.02	<0.1	0.03	0.10	0.06	0.04	1.50	99.41
6	D_5-35-1*	68.44	0.84	7.85	11.74	0.13	3.89	0.12	<0.1	0.29	0.09	5.92	101.03
7	**D_5-50**	76.84	1.10	16.10	1.77	0.02	0.10	0.15	<0.1	1.25	0.05	3.42	100.96
8	D_5-50a	55.36	1.67	26.64	2.33	0.02	1.24	0.35	0.26	2.42	0.09	10.43	100.84
9	D_5-50b	86.43	0.87	8.33	0.88	0.01	0.78	0.10	0.27	1.01	0.11	1.42	100.23
10	D_5-50c	94.72	0.80	2.24	0.65	0.02	0.34	0.07	0.10	0.17	0.12	0.68	99.91
11	**D_5-51**	73.55	1.24	17.64	1.28	0.02	1.08	0.19	0.12	1.50	0.06	4.24	100.91
12	D_5-51a	56.39	1.85	25.35	2.33	0.02	1.13	0.32	0.12	2.28	0.12	10.84	100.76
13	D_5-51b	84.22	1.01	9.37	1.00	0.01	1.07	0.11	0.12	1.26	0.09	1.91	100.18
14	D_5-51c	94.91	0.52	1.90	0.46	0.01	1.09	0.07	0.12	0.15	0.11	0.29	99.63
15	**D_5-52***	82.97	0.75	10.70	1.62	0.02	<0.1	0.15	0.10	0.67	0.11	3.11	100.23
16	D_5-52a*	52.81	1.59	24.53	6.19	0.02	1.55	0.35	0.26	1.94	0.16	11.11	100.53
17	D_5-52b*	80.36	1.42	11.81	2.18	0.02	0.22	0.13	0.12	1.24	0.07	3.00	100.58
18	D_5-52c*	96.00	0.53	1.88	0.55	0.02	<0.1	0.07	0.10	0.11	0.08	0.35	99.68
19	**D_5-56**	83.90	0.76	10.42	0.92	0.02	1.04	0.12	0.25	0.55	0.09	2.45	100.53
20	D_5-56a	54.51	2.13	25.43	2.45	0.02	2.44	0.22	0.24	1.43	0.21	10.22	99.33
21	D_5-56b	71.34	1.30	19.58	1.50	0.02	0.32	0.16	0.24	1.33	0.07	5.05	100.92
22	D_5-56c	95.29	0.58	1.83	0.63	0.02	0.73	0.06	0.25	0.09	0.03	0.28	99.81

Продолжение таблицы 2 / Continuation of table 2

№ п/п No	№ проб Sample No	**Sc**	**V**	**Cr**	**Co**	**Ni**	**Cu**	**Zn**	**Rb**	**Sr**	**Y**	**Zr**	**Nb**	**Ba**	**Pb**
1	**D_5-29**	11	32	100	3	16	17	5	<10	41	<10	74	16	<100	10
2	D_5-29-1	12	107	1180	<10	39	32	78	10	32	29	1404	12	<100	–
3	**D_5-34***	12	106	270	4	120	69	34	<10	40	29	77	16	<100	15
4	D_5-34-1*	104	1064	4400	530	1520	470	420	<10	10	76	100	5	375	24
5	**D_5-35***	10	49	370	13	72	49	20	16	42	27	86	13	431	24
6	D_5-35-1*	52	253	2885	84	220	137	111	13	35	<10	405	19	<100	–
7	**D_5-50**	9	111	220	5	65	12	13	83	54	32	443	16	244	30
8	D_5-50a	15	194	460	13	140	26	41	176	73	37	267	41	425	20
9	D_5-50b	13	65	150	<10	8	6	18	52	23	31	447	46	198	8
10	D_5-50c	8	35	300	<10	5	7	20	23	<10	20	840	37	122	10
11	**D_5-51**	15	102	240	7	46	10	20	68	<10	29	410	53	338	8
12	D_5-51a	8	175	340	10	110	32	920	161	32	34	287	54	436	24
13	D_5-51b	<5	61	160	<10	16	17	56	67	<10	47	454	47	234	12
14	D_5-51c	13	24	170	<10	7	8	8	<10	<10	21	461	61	<100	11
15	**D_5-52***	10	33	190	11	26	9	21	26	<10	32	307	79	170	5
16	D_5-52a*	25	226	440	25	140	57	61	96	<10	42	250	46	266	25
17	D_5-52b*	22	84	220	15	23	27	32	57	<10	41	414	34	<100	12
18	D_5-52c*	11	12	103	<10	5	5	13	13	<10	31	410	51	<100	7
19	**D_5-56**	29	41	150	<10	33	7	20	44	11	23	292	41	127	6
20	D_5-56a	10	177	450	12	170	67	1100	102	29	37	275	42	195	40
21	D_5-56b	9	93	250	6	85	67	43	71	<10	33	370	48	191	9
22	D_5-56c	<5	25	220	<10	<5	82	14	<10	<10	16	432	51	<100	6

Примечание: 2, 4, 6 — фракции < 0.1 мм; 8, 12, 16, 20 — фракции < 0.005 мм; 9, 13, 17, 21 — фракции 0.005–0.05 мм; 10, 14, 18, 22 — фракции 0.05–0.1 мм; * — ожелезнённые породы.

Note: 2, 4, 6 — fractions < 0.1 mm; 8, 12, 16, 20 — fractions < 0.005 mm; 9, 13, 17, 21 — fractions 0.005–0.05 mm; 10, 14, 18, 22 — fractions 0.05–0.1 mm;* — ferriferous rocks.

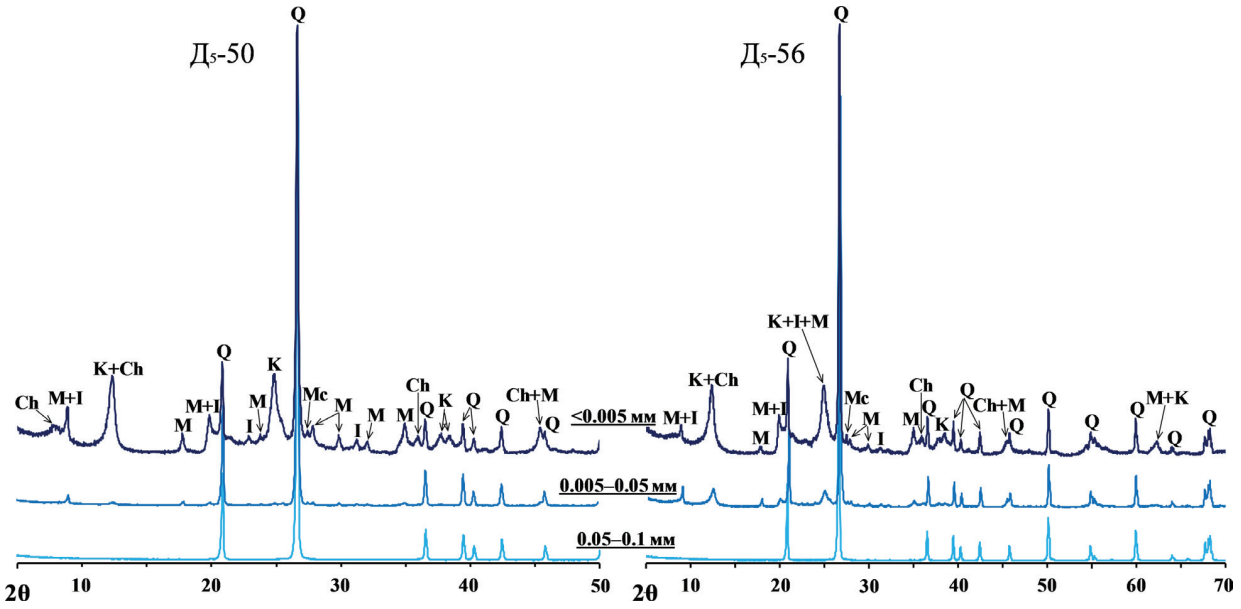


Рис. 4. Дифрактограммы порошковых проб тонких фракций песчаных пород Саитовского месторождения: Q — кварц, K — каолинит, M — мусковит, Ch — хлорит, I — иллит, Mc — микроклин

Fig. 4. XRD powder patterns of the fine fraction of Saitovo deposit sandy rocks: Q — quartz, K — kaolinite, M — muscovite, Ch — chlorite, I — illite, Mc — microcline

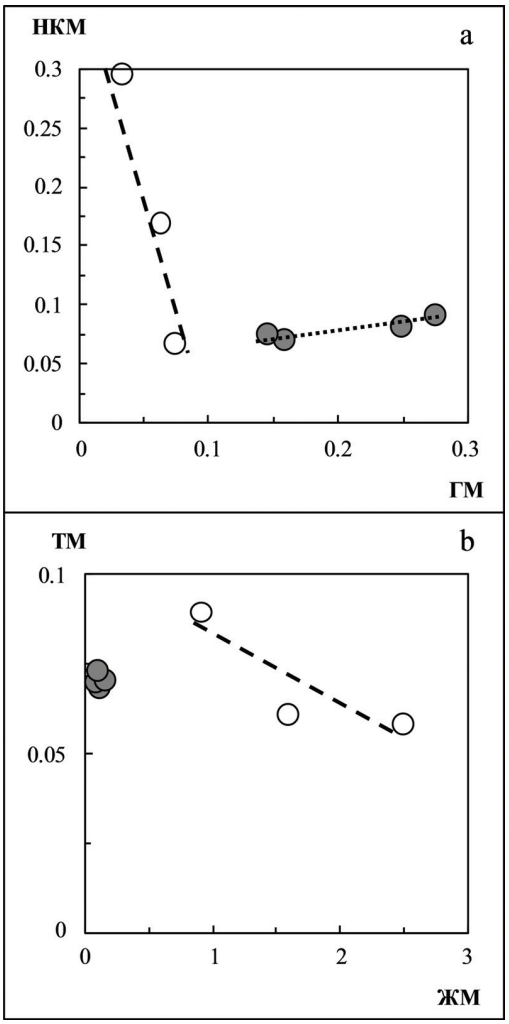


Рис. 5. Диаграммы ГМ – НКМ (a) и ЖМ – ТМ (b) для гравийно-галечных (незалитые кружки) и алевропесчаных (залитые кружки) пород Саитовского месторождения

Fig. 5. Diagrams ГМ – НКМ (a) and ЖМ – ТМ (b) for gravel-pebble (no painted circles) and silt-sandy (painted circles) Saitovo deposit sediments

сторождения различаются по величине алюмокремниевого (0.02 и 0.17 соответственно) и щелочного модулей (1.6–6.6 и 0.06–0.46 соответственно). По уровню средних концентраций микроэлементов гравийные галечники и алевропески значительно отличаются содержаниями Zr (79 против 363 г/т) и Nb (15 против 47 г/т). Для пород характерен высокий индекс химического выветривания CIA: 60–89 в псефитовых и 89–90 в псаммитовых отложениях, что свидетельствует о накоплении осадков в условиях гумидного климата. На это же указывает наличие небольших редких углистых включений в алевропесках.

В тонких фракциях гравийно-галечных и алевропесчаных отложений выявлены повышенные концентрации некоторых редких элементов (табл. 2): Cr (до 4400 г/т), Co (до 530 г/т), Ni (до 1520 г/т), Cu (до 470 г/т), Zn (до 1100 г/т), Zr (до 1404 г/т). Данное обстоятельство прежде всего связывается с минеральным составом тяжёлой фракции.

Обсуждение и выводы

Литологический состав отложений свидетельствует как минимум о двух этапах тектонической активности области сноса в период накопления изученного разреза, выраженных в формировании двух грубообломочных пачек. Механизмы переноса обломочного материала включали как гравитационные процессы, так и деятельность водных потоков, имевших высокую транспортирующую способность. В конечном счете материал осаждался в более низких участках рельефа (во впадине размером с крупное озеро), перемывался и разрушался в прибрежных условиях. Механически прочные кварцитовые кластиты испытывали незначительное разрушение и хорошо окатывались, тогда как хрупкие фтаниты активно разрушались на месте осаждения и не успевали хорошо окатываться. В промежутке и после тектонически активных этапов ослабевающие потоки привносили терригенный и глинистый материал из других источников, например из древних кор выве-

тривания. Об этом свидетельствуют литологические и структурно-текстурные особенности отложений (мощность и гранулометрическая выдержанность пачек, морфология обломков, степень сортировки), принципиальные различия минерального и химического состава пород (количество кварца по отношению к минералам-алюмосиликатам и др., величина петрохимических модулей) гравийно-галечных и алевропесчаных пачек. При этом нельзя исключать, что часть каолинита и иллита образовалась in situ при разложении полевых шпатов и мусковита [18].

Псефитовые отложения являются практически мономинеральными кварцевыми породами (Q > 95 %), но в заполняющих гравийно-галечники песках (их объёмная доля варьирует от 10.5 до 36.3 %) в небольшом количестве присутствуют полевые шпаты, слюды и глинистые минералы. Такой минеральный состав обусловливает низкие значения гидролизатного и алюмокремниевого модулей, а также сильно варьирующие значения модуля нормированной щёлочности. В алевропесках из самостоятельных пачек также преобладает кварц (Q > 70 %), но и остальные минералы присутствуют в относительно постоянном количестве: полевые шпаты (2–6 %), слюды (5–9 %), глинистые минералы (13–18 %). Это и объясняет умеренно стабильные показатели многих петрохимических модулей в алевропесчаных отложениях. Вместе с тем и грубообломочные, и тонкообломочные породы имеют сопоставимые значения титанового модуля и индекса химического выветривания, что свидетельствует об однотипных климатических условиях их формирования (тёплый гумидный климат), а также, вероятно, об определённом единстве исходного субстрата. Возможно, грубый материал также содержал обломки не только силицитов, но и менее прочных (в механическом и химическом смысле) полевошпатсодержащих пород, которые подверглись значительному измельчению и разложению.

С аутигенным минералообразованием в отложениях Саитовского месторождения связано формирование железистых конгломератов и жил, произошедшее при иллювиальном осаждении железа, т. е. в процессе инфильтрации обогащённых гуминовыми кислотами сточных вод, обеспечивших растворение органических остатков и общую светлую окраску отложений [7, 15].

Источником сноса для формирования осадков Саитовского месторождения могли служить грубообломочные отложения близ гг. Мелеуз, Кумертау и с. Зирган, датированные на геологических картах триасом [4], а также переотложенные продукты древних кор выветривания (каолиновый и гидрохлоритовый горизонты [7]), располагавшихся ближе к складчатому Уралу. В связи с этим изученные отложения можно отнести к гибридной молассово-фалаховой формации [3]. Стоит отметить, что с тектонической активностью Предуральского и Западно-Уральского сегмента в неогене, к примеру, связывается воздымание пермского барьерного рифа, выраженного в виде цепочки шиханов [6].

Таким образом, особенности вещественного состава отложений Саитовского месторождения свидетельствуют о том, что они формировались в эпоху эпизодической тектонической активизации области сноса. В периоды затухания тектонической активности отлагались алевропесчаные породы (кремнёвые граувакки и вакки), образовавшиеся как за счёт разрушения местного грубообломочного материала в условиях гумидного климата, так и за счет постоянного привнесения глинисто-терригенного вещества из других источников (древние каолиновые/иллитовые коры выветривания). В дальнейшем процессы инфильтрации сточных вод при участии гуминовых кислот привели к растворению органического вещества и миграции отдельных химических элементов с образованием железистых рудных тел. Выявленные условия залегания, степень сортировки, а также морфология обломков пород характерны для литоральной и профундальной фациальных зон относительно крупного озера.

Работа выполнена при финансовой поддержке темы № 0252-2017-0012 Госзадания ИГ УФИЦ РАН и РФФИ (проект №18-35-00391). Автор выражает благодарность Р. М. Рахимову за оказанную помощь при полевых работах.

Литература

1. *Данукалова Г. А.* Стратотипы свит миоцена Южно-Уральского региона // Геологический сборник № 9. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2011. С. 74–90.

2. *Дунаев В. Ф.* Отчёт о результатах поисков месторождений песчано-гравийного материала для дорожного строительства на участках Сеитовском, Четырмане и Кузьминовском в Фёдоровском районе БАССР, проведённых Стерлитамакской партией в 1961 г. Уфа: БТГУ, 1962. Т. 1. 32 с.

3. *Елисеев А. И.* Геологические формации и методы формационного анализа. Сыктывкар: Геопринт, 2008. 36 с.

4. *Князев Ю. Г.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 листа N-40 (третье поколение). СПб.: ВСЕГЕИ, 2011.

5. *Никулин И. И.* Экспресс-приёмы выделения тонкодисперсных минералов из цемента осадочных пород // Вестник ВГУ. Серия: Геология. 2010. № 1. С. 286–292.

6. *Пучков В. Н.* Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.

7. *Разумова В. Н., Херасков Н. П.* Геологические типы кор выветривания и закономерности их размещения // Геологические типы кор выветривания и примеры их распространения на Южном Урале: Труды ГИН АН СССР. М., 1963. Вып. 77. С. 4–34.

8. *Рахимов И. Р., Данукалова Г. А.* Литология и стратиграфия миоценовых отложений Саитовского песчано-гравийного месторождения (Южное Предуралье) // Геология. Известия отделения наук о земле и природных ресурсов АН РБ. 2017. № 24. С. 14–23.

9. *Синицын И. И., Синицына Г. И.* Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, лист № 40-XXVI. М.: Министерство геологии, БТГУ, 1965. Т. 1. 170 л.

10. Систематика и классификации осадочных пород и их аналогов / *В. Н. Шванов, В. Т. Фролов, Э. И. Сергеева и др.* СПб.: Недра, 1998. 352 с.

11. *Шванов В. Н.* Песчаные породы и методы их изучения. Л.: Недра, 1969. 248 с.

12. *Юдович Я. Э., Кетрис М. П.* Основы литохимии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

13. *Юдович Я. Э., Никулова Н. Ю.* Петрографические этюды // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2005. № 7. С. 5–10.

14. *Яхимович В. Л., Адрианова О. С.* Кайнозой башкирского Предуралья. Уфа, 1959. Т. 1. Ч. 3. 301 с.

15. *Jansen B.* The mobility of aluminium, iron and organic matter in acidic sandy soils. Amsterdam: IBED, Universiteit van Amsterdam, 2003. 187 p.

16. *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.

17. *Russel R. D., Taylor R. E.* Roundness and shape of Missisippi river sands. Journ. geol., 1937. V. 45. № 3. P. 225–267.

18. *Ruiz Cruz M. D.* Genesis and evolution of the kaolin-group minerals during the diagenesis and the beginning of metamorphism / In: Fernando Nieto and Juan Jiménez-Millán, eds. «Diagenesis and Low-Temperature Metamorphism. Theory, Methods and Regional Aspects» Seminarios SEM. 2007. No. 3. P. 41–52.

19. *Trask P. D.* Origin and environment of source sediments of petroleum. Houston, 1932. 281 p.

References

1. Danukalova G. A. *Stratotipy svit miotsena Yuzhno-Ural'skogo regiona* (The stratotypes of Miocene suites in the South-Urals region). Geologicheskiy sbornik No. 9, Ufa: DizaynPoligrafServis, 2011, pp. 74–90.

2. Dunaev V. Ph. *Otchyot o rezul'tatakh poiskov mestorozhdeniy peschano-graviynogo materiala dlya dorozhnogo stroitel'stva na uchastkakh Seitovskom, Chetyrmane i Kuz'minovskom v Fyodorovskom rayone BASSR, provedyonnykh Sterlitamakskoy partiey v 1961 g* (Report on results of searching for sand-gravel materials deposit to road construction through the Seitovo, Chetyrman, and Kuz'minovka sites in the Fyodorovka was being carry out by Sterlitamak party). Ufa: BTGU, 1962. V. 1, 32 pp.

3. Eliseev A. I. *Geologicheskie formatsii i metody formatsionnogo analiza* (Geological formations and techniques of formational analysis). Syktyvkar: Geoprint, 2008, 36 pp.

4. Knyazev Yu. G. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1:1000000 lista N-40 (tretie pokolenie)* (State geological map of Russian Federation in scale 1:1000000, sheet N-40 (third generation)). St. Petersburg: VSEGEI, 2011.

5. Nikulin I. I. *Ekspress-priyomy vydeleniya tonkodispersnykh mineralov iz tsementa osadochnykh porod* (Express-methods of derivation of fine minerals from sedimentary rocks' cement) // Vestnik VGU, Seriya: Geologiya. 2010, No. 1, pp. 286–292.

6. Puchkov V. N. *Geologiya Urala i Priuraliya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* (Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny). Ufa: DizaynPoligrafServis, 2010, 280 pp.

7. Razumova V. N., Kheraskov N. P. *Geologicheskie tipy kor vyvetrivaniya i zakonomernosti ikh razmeshcheniya. V kn.: Geologicheskie tipy kor vyvetrivaniya i primery ikh rasprostraneniya na Yuzhnom Urale* (Geological types of weathering crust and their placement regularities. In: Geological types of weathering crust and their placement regularities in the South Urals). Trudy GIN AN SSSR, 1963, V. 77, pp. 4–34.

8. Rakhimov I. R., Danukalova G. A. *Litologiya i stratigrafiya miotsenovykh otlozheniy Saitovskogo peschano-graviynogo mestorozhdeniya (Yuzhnoe Preduralie)* (Lithology and stratigraphy of Miocene sediments of Saitovo sand-gravel deposit (Southern pre-Urals)). Geologiya. Izvestiya otdelenyja nauk o zemle i prirodnykh resursov AN RB, 2017, No. 24, pp. 14–23.

9. Sinitsyn I. I., Sinitsyna G. I. *Obiyasnitel'naya zapiska k geologicheskoy karte SSSR masshtaba 1:200000, list № 40-XXVI* (Explanatory note to geological map of USSR scale 1:200000, sheet № 40-XXVI). Moscow: Ministry of geology, BTGU, 1965, V. 1, 170 sh.

10. *Sistematika i klassifikatsii osadochnykh porod i ikh analogov* (Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues). Shvanov V.N., Frolov V.T., Sergeeva Ye.I. et. al. St. Petersburg: Nedra, 1998, 352 pp.

11. Shvanov V. N. *Peschanye porody i metody ikh izucheniya* (Sandy rocks and techniques of their investigation). Leningrad: Nedra, 1969, 248 pp.

12. Yudovich Ya. E., Ketris M. P. *Osnovy litokhimii* (Basics of lithochemistry). St. Petersburg: Nauka, 2000, 479 pp.

13. Yudovich Ya. E., Nikulova N. Yu. *Petrograficheskie etyudy* (Petrographic etudes) // Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2005, No. 7, pp. 5–10.

14. Yakhimovich V. L., Adrianova O. S. *Kaynozoy bashkirskogo Preduraliya* (Cenozoic of the bashkirian pre-Urals). Ufa, 1959, V. 1, Ch. 3, 301 pp.

15. *Jansen B.* The mobility of aluminium, iron and organic matter in acidic sandy soils. Amsterdam: IBED, Universiteit van Amsterdam, 2003, 187 pp.

16. *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.

17. *Russel R. D., Taylor R. E.* Roundness and shape of Missisippi river sands. Journ. geol., 1937, V. 45, No. 3, pp. 225–267.

18. *Ruiz Cruz M. D.* Genesis and evolution of the kaolin-group minerals during the diagenesis and the beginning of metamorphism / In: Fernando Nieto and Juan Jiménez-Millán, eds. «Diagenesis and Low-Temperature Metamorphism. Theory, Methods and Regional Aspects» Seminarios SEM, 2007, No. 3, pp. 41–52.

19. Trask P. D. Origin and environment of source sediments of petroleum. Houston, 1932. 281 p.



Арктический вектор геологических исследований
Arctic vector of geological research

УДК 551.3.051, 552.5 DOI: 10.19110/2221-1381-2019-4-11-16

О НЕКОТОРЫХ ТЕКСТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЯХ ГЛУБОКОВОДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПАЛЕОЗОЯ ПАЙХОЙСКОГО АНТИКЛИНОРИЯ

К. П. Рязанов[1, 2]

[1]ВСЕГЕИ, [2]Санкт-Петербургский горный университет, Санкт-Петербург

k-r-i-z26@mail.ru

В свете новых геологических данных возникла необходимость переосмысления генетической интерпретации набора текстур глубоководных отложений Югорского полуострова. В работе рассмотрены текстурные особенности некоторых стратиграфических подразделений палеозойского возраста (хенгурская, тальбейтывисская, сопчинская и ливановская свиты) сланцевой зоны Северо-Восточного Пай-Хоя, выделены и охарактеризованы литотипы. Предметом исследования являлась диагностика ряда местных стратонов и уточнение генетической интерпретации их литологических разностей по характерному набору текстур в изолированных выходах на поверхность. На основе структурно-генетического анализа были выделены литотипы (xa, xb, xc) рассматриваемых отложений с использованием идеализированной модели осадконакопления в эпиконтинентальных бассейнах М. Ирвина. Уточнена интерпретация определенного набора текстур различных литотипов палеозойских разрезов, что позволило получить новые сведения об условиях осадконакопления образований Пайхойского палеобассейна. Впервые предложены детальная морфологическая характеристика и генетическая интерпретация структурно-текстурных особенностей ордовикско-раннедевонских образований сланцевой зоны Пай-Хоя.

Ключевые слова: *Пай-Хой, палеозой, глубоководные отложения, свита, петельчатые текстуры, литотип.*

ON SOME TEXTURAL FEATURES OF PALEOZOIC DEEP-WATER DEPOSITS OF PAY-KHOY ANTICLINORIUM

K. P. Ryazanov[1, 2]

[1]VSEGEI, [2]St. Petersburg Mining University, St. Petersburg

In the light of new geological data, it became necessary to rethink the genetic interpretation of a set of textures of deep-water sediments of the Yugor Peninsula.

In the paper, the textural features of rocks of some stratigraphic units of the Paleozoic age (Hengur, Talbeytiviss, Sopcha and Livanov formations) of the shale zone of the northeastern Pay-Khoy were considered, lithotypes were identified and characterized. The subject of the research was the diagnosis of a number of local stratons and the refinement of the genetic interpretation of their lithological differences according to a characteristic set of textures in isolated outcrops. The lithologic-genetic types of the deep-water sediments under consideration were identified on the basis of structural-genetic analysis (lithotypes xa, xb, xc) using an idealized sedimentation model in epicontinental basins (by M. Irwin, with additions by S. Shishlov).

The interpretation of a specific set of textures of various lithotypes of Paleozoic sections was clarified, which made it possible to obtain new information on the conditions of sedimentation of the formations of Pay-Khoy paleobasin. For the first time, a detailed morphological characteristic and genetic interpretation of the structural-textural features of the Ordovician-Early Devonian formations of the Pay-Khoy Shale zone are proposed.

The problems of genetic interpretation of textures arose during investigation of the majority of not only Paleozoic deposits, but also recent ones.

Keywords: *Pay-Khoy, textures, Paleozoic, deep-water deposits, formation, loop, lithotype.*

Введение

Важными индикаторами определения условий формирования пород являются структурно-текстурные особенности последних. Текстуры, возникающие при оседании частиц вещества, проявляются во внутреннем строении пластов и на поверхностях напластования. Соответственно, их можно разделить на две группы: внутренние и внешние. В зависимости от агента осадкообразования выделяют также биогенные и абиогенные текстуры. К первому типу (к биогенным) относят текстуры, в образовании которых участие принимали живые организмы, ко второму — все остальные. В создании классификации абиогенных текстур возникают определенные трудности [1, 13, 14], которые рассматриваются и анализируются здесь на примере отложений палеозойского Пайхойского бассейна. Целью данной работы является исследование текстур-индикаторов условий образования пород в изолированных выходах на поверхность некоторых местных стратиграфических подразделений палеозойского возраста (*хенгурская* ($Є_3$-O_2*hn*), *тальбейтывисская* ($O_{2\text{-}3}$*tb*), *сопчинская* (O_3*sp*) *и ливановская свиты* (D_1*lv*)) Северо-Восточного Пай-Хоя и, соответственно, уточнение генетической интерпретации их литологических разностей по характерному набору текстур.

Изучение текстурных особенностей пород нижнего и среднего палеозоя на территории Югорского полуострова ранее проводилось лишь на уровне литолого-петрографической характеристики без генетической интерпретации [4, 9, 10]. Только в работе К. Г. Войновского-Кригера [2] были проанализированы петельчатые текстуры карбонатных пород западного склона Полярного Урала. На Югорском полуострове детальный анализ и генетическая интерпретация текстур-индикаторов не проводились. На современном этапе изучению текстур типа «петельчатая», «завихрения осадка» или «течения-завихрения» посвящено небольшое количество отечественных и иностранных исследований [5, 12, 14–16]. Подробнее о таких текстурах можно узнать в справочниках по седиментологии, петрографии и атласах структур и текстур [1, 8, 13].

Материалы и методика работ

В ходе выполнения геолого-съемочных маршрутов с целью составления детальных разрезов в рамках картировочных работ масштаба 1:200 000 по Северо-Западному федеральному округу (Архангельская обл., Ненецкий автономный округ) были изучены литолого-генетические особенности отложений нижнего и среднего палеозоя лемвинских и бельско-елецких структур Пайхойского антиклинория, разделенных Главным Пайхойским надвигом [2, 3, 6, 9, 10]. Данная территория занимает северо-западную часть Югорского полуострова, между Баренцевым и Карским морями (рис. 1). Ряд разрезов нижнего и среднего палеозоя был изучен автором, были выполнены литолого-петрографические исследования пород, слагающих перечисленные свиты.



Рис. 1. Карта-схема района исследований с расположением основных изученных разрезов. Условные обозначения: 1, 2 — хенгурская свита; 3 — тальбейтывисская свита; 4 — сопчинская свита; 5 — ливановская свита

Fig. 1. Map-scheme of the area of research with the main studied sections. Legend:1, 2 — Hengur Formation; 3 — Talbeytyvis Formation; 4 — Sopcha Formation; 5 — Livanov Formation

Хенгурская свита ($Є_3$–O_2hn) сложена литологически выдержанной в большинстве разрезов монотонной ассоциацией аргиллитов с различной примесью кремнистого вещества, их углеродистых и карбонатных разновидностей с редкими маломощными разлинзованными четко видными прослоями известняков. Местами встречаются базальты и базальтовые туфы, песчаники (кварцевые, олигомиктовые [12]) и алевролиты, гравелиты, конгломераты, прослои углеродистых аргиллитов. Мощность свиты 450–1100 м.

Тальбейтывисская свита ($O_{2\text{-}3}tb$) представлена переслаивающимися известняковыми гравелитами, известняковыми песчаниками, алевритистыми и песчанистыми известняками, аргиллитами с различным содержанием кремнистого и карбонатного вещества. Мощность 400–450 м.

Сопчинская свита (O_3sp). В нижней части — известняки с прослоями органогенно-обломочных разностей и аргиллитов, в разной степени кремнистых. Выше — тонкослоистые известняки, часто биотурбированные, с прослоями и пачками (до 60 м) силицитов, кремнистых аргиллитов. В прикровельной части — ритмичное переслаивание глинисто-кремнистых известняков и аргиллитов, в различной степени кремнистых. Мощность свиты 500–550 м.

Ливановская свита (D_1lv) представлена чередующимися углеродисто-кремнистыми и карбонатными аргиллитами и тентакулитовыми известняками с увеличением доли известняков вверх по разрезу. В верхней части свиты — известняки петельчатые с прослоями глинисто-кремнистых аргиллитов. Мощность свиты 50–120 м.

Результаты изучения и обсуждение

На основе использования метода структурно-генетического анализа осадочных формаций [12, 15] автором были выделены литотипы[1] рассматриваемых отложений, характеризующиеся своими текстурными и структурными особенностями — *xa, xb, xc*. При этом первая буква индекса — *x* — обозначает низкодинамичную глубоководную среду (см. идеализированную модель М. Ирвина — рис. 2). Вторая характеризует основной индикатор динамики среды осадконакопления — структуры: *a* — тонкодетритово-пелитоморфную, *b* — переслаивающиеся тонкодетритово-пелитоморфную и тонкодетритовую, *c* — мелко- и тонкодетритовую.

Соответствующая типизация необходима для выделения и анализа строения слоев [15]. Для нас в этой связи основное значение имела конфигурация текстурных признаков и правильность употребления терминов в отношении текстур.

Исследуемые образования относятся к разным стратиграфическим уровням. При этом каждая из свит характеризуется горизонтами литотипов с различными текстурами-индикаторами, уточнению генезиса которых посвящена статья.

1. *Литотип xa-1* встречается в среднехенгурской подсвите хенгурской свиты ($O_{1\text{-}2}hn_2$). Представлен известня-

[1]Термином «литолого-генетический тип» (или сокращенно литотип) С. Б. Шишлов [15, с. 34] обозначает минимальную единицу литолого-генетической типизации — множество пород, имеющих одинаковый комплекс первичных генетических признаков.

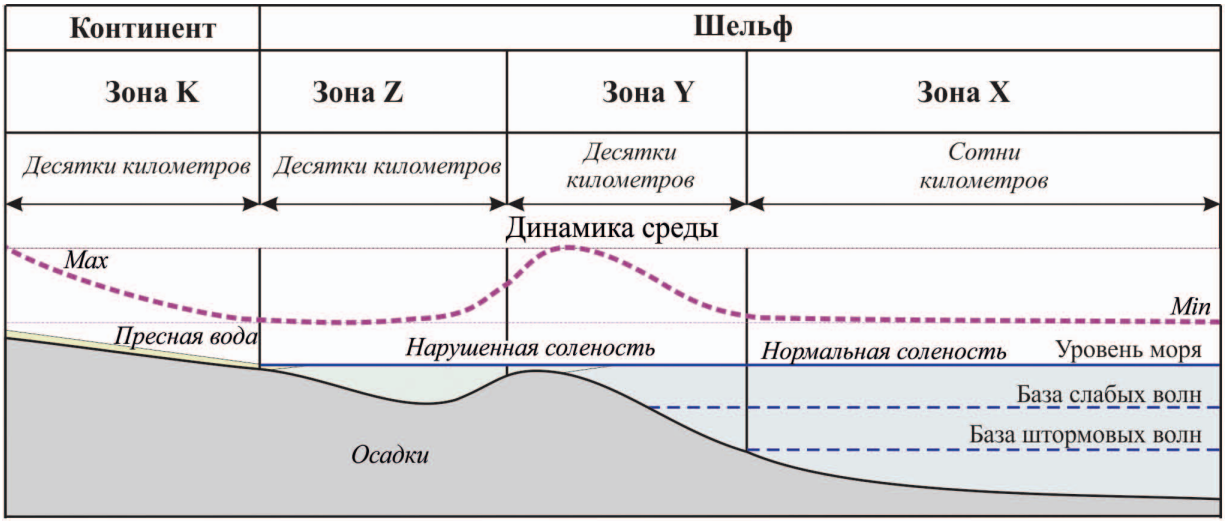


Рис. 2. Базовая модель осадконакопления в эпиконтинентальных бассейнах (M. Irwin, 1965 с дополнениями С. Б. Шишлова [15])
Fig. 2. The basic model of sedimentation in epicontinental basins (Irwin, 1965 with the additions of S. B. Shishlov [15])

ками темно-серыми тонкодетритово-пелитоморфными. «Петельчатая», или «блоково-петельчатая», текстура (рис. 3) подчеркнута глинистыми примазками и тонкими (5–10 см) глинистыми слойками.

Образование таких текстур в пределах литотипа связано в основном с диагенетическими процессами перераспределения карбоната кальция в глинисто-карбонатном осадке низкодинамичного глубоководья при дефиците кислорода в поровых водах [12]. Перераспределение может быть связано с процессом диффузии CO_2, либо с различными значениями pH и Eh осадков. Горизонтально-слоистая текстура литотипа показана в верхней части рисунка 2.

2. *Литотип xa-2* присутствует в составе ливановской свиты (D_1lv). Это петельчатые известняки, глинистые, тонкодетритово-пелитоморфные, с прослоями (первые сантиметры) светло-серого пелитоморфного известняка, содержащего обильные остатки тентакулитов *Nowakia u Styliolina* [6].

Результаты изучения текстур, характерных для известняков данной свиты, показывают, что термин *«петельчатый»* при полевом описании использовался для текстур различного происхождения (рис. 4).

2.1. Отложения с петельчатой текстурой, представленные на рис. 4, А, имеют оползневую природу, схожую с той, которая описана ниже у литотипа *xb*.

2.2. Формирование петельчатой текстуры, изображенной на рис. 4, С, проходило на начальной стадии диагенеза [5,14]. Для таких образований правильнее будет использовать термин *нодулярная текстура* (от лат. nodulus — узелок).

2.3. Конгломератовидная текстура (тоже петельчатая) с линзами и скоплениями узелков (рис. 4, В), обнаруженная на правом борту р. Большая Ою (Великая), по-видимому, указывает на отложения обломочных потоков (на дебриты). Она имеет корытообразные обособления карбонатного и углеродисто-кремнистого состава среди кремнисто-глинистой массы. Нарушение первичной горизонтальной слоистости, очевидно, связано с перемешиванием еще не до конца уплотненного осадка.

3. *Литотип xb* — переслаивающиеся известняки и доломиты. Распространен в составе тальбейтывисской свиты ($O_{2-3}tb$). Выделяются 2 подтипа.

3.1. *xb-1:* Известняки серые глинисто-кремнистые, местами доломитовые, тонкодетритово-пелитоморфные, с текстурами завихрения осадка и скульптурными элементами в подошве слоев, имеющими форму борозд и конусов; встречаются ихнофоссилии.

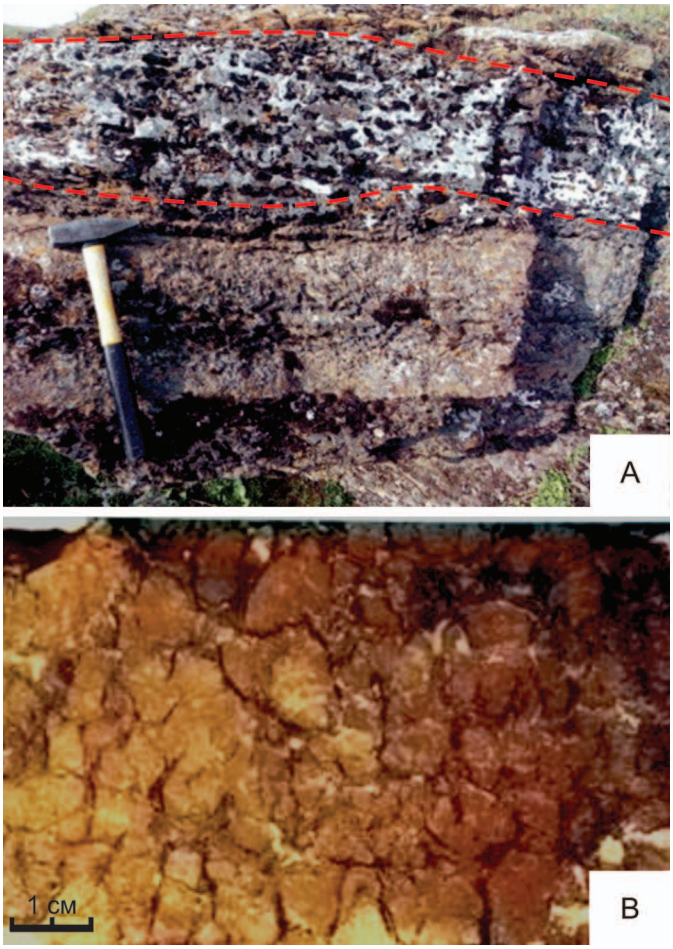


Рис. 3. Горизонтально-слоистая текстура литотипа среднехенгурской подсвиты в р-не пос. Амдерма (А — фото Е. В. Стариковой) и образец детритового известняка с блоково-петельчатой текстурой (В — фото К. П. Рязанова)

Fig. 3. The horizontal-layered texture of the lithotypes of the Middle-Hengur Subformation in the district of the Amderma (A — photo by E. V. Starikova) and a sample of detrital limestone with a block-loop texture (B — photo of K. P. Ryazanov)



Рис. 4. Текстуры литотипов ливановской свиты: А и В — нижнее течение р. Большая Ою (фото К. П. Рязанова), С — побережье Карского моря (стратотип свиты, фото В. А. Плаксиной)

Fig. 4. Textures lithotypes of the Livanov Formation: A and B — the lower course of the river Bolshaya Oyu (photo by K. P. Ryazanov), C — coast of the Kara Sea (stratotype formation, photo by V. A. Plaksina)

3.2. *xb-2:* Доломиты серые тонкодетритовые, с текстурами завихрения осадка и скульптурными элементами в подошве слоев, имеющими форму борозд и конусов.

Особенностью данного литотипа являются четко выраженные причудливые текстуры завихрения (рис. 5, 6). Всеми предыдущими исследователями эти текстуры описывались как «подводно-оползневые», причина образования которых видится в соскальзывании неконсолидированных илистых осадков по наклонному дну палеобассейна [11]. По мнению автора, рассматриваемые текстуры образовались в два этапа. Первый связан с прерывистым оползанием по пологонаклонным участкам дна и формированием оползневых текстур, которые наблюдаются в песчаных, алевритовых, глинистых, карбонатных и других породах (рис. 5, А; 6, А). На втором этапе оползающий осадок на значительной скорости внедрялся в нижележащие нелитифицированные осадки (рис. 5, В; 5, С; 6, В) и формировались уже более сложные текстуры.

4. *Литотип xc* развит в составе верхней пачки верхнесопчинской подсвиты ($O_3sp_2^2$). Петельчатые известняки, мелко- и тонкодетритовые, серые, слюдисто-глинистые, с прослоями (первые сантиметры) известняков черного цвета (рис. 7). Встречаются также прослои слабопетельчатых (?) известняков со следами биотурбаций и породы с желтой коркой выветривания и следами взмучивания осадка по поверхностям напластования. Часто в них, так же как и в петельчатых известняках, видны раковины гастропод.

По данным автора, образование текстур упомянутого литотипа также следует разделить на два этапа. В течение первого формировались отложения с петельчатой текстурой в результате умеренного волнового воздействия и оползания осадка по склону [4]. На втором — в процессе диагенетических преобразований при дефиците кислорода в поровых водах [2, 3, 14] появились линзовидно-волнистые текстуры.

На первый взгляд, структура литотипов *xb-2 и xc* может быть схожей по динамике среды осадконакопления. Единственным важным отличием является быстрое прерывистое осаждение материала литотипа *xb-2*, перемещаемого мутьевыми потоками с более высокого батиметрического уровня вниз по склонам с образованием тонких слойков, мощность которых обычно не достигает 10 см.

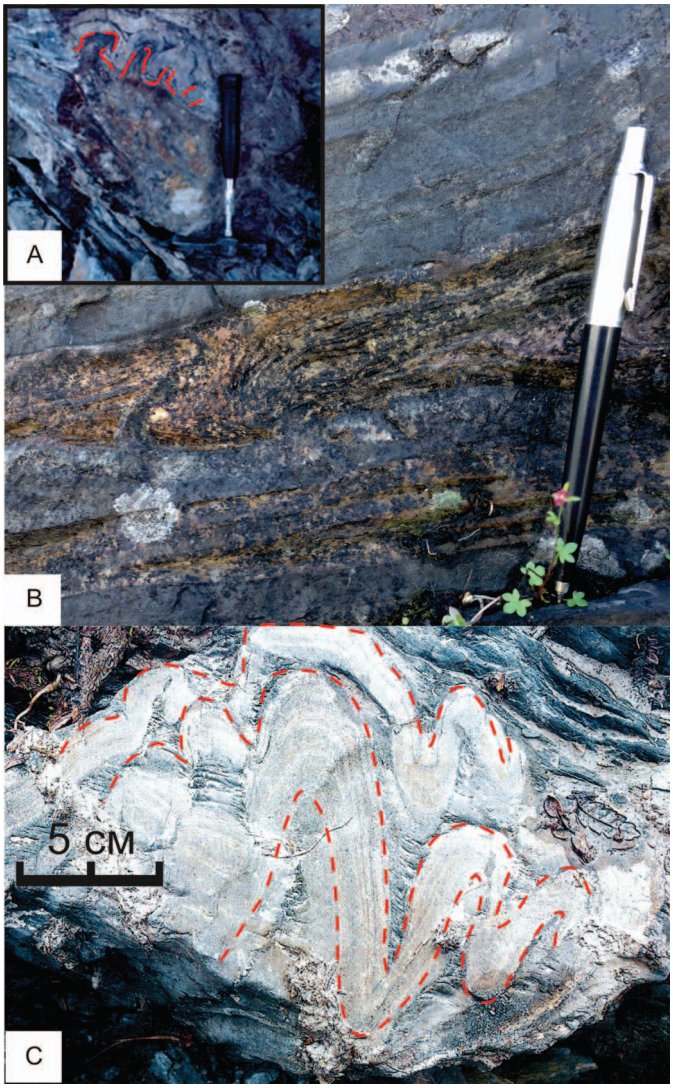


Рис. 5. Текстуры литотипов тальбейтывисской свиты в бассейне р. Малая Ою (А — известняк, фото Е. В. Богатыревой) и в верхнем и среднем течении р. Большая Ою (Великая) (В — доломит, фото К. П. Рязанова), промежуточная разность (С — известняк доломитово-кремнистый (фото И. С. Чумакова)

Fig. 5. Textures of lithotypes of the Talbeytyvis Formation in the basin of the river Malaya Oyu (A — limestone, photo by E. V. Bogatyreva) and in the upper and middle reaches of the river Bolshaya Oyu (Velikaya) (B — dolomite, photo of K. P. Ryazanov), intermediate difference (C — dolomite-siliceous limestone (photo by I. S. Chumakov)

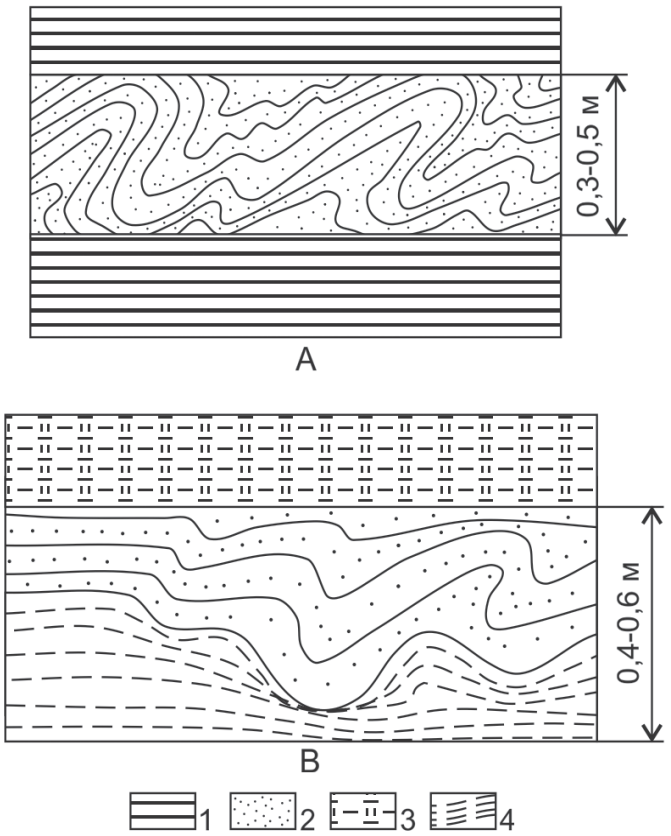


Рис. 6. Пример текстур подводного оползания незатвердевшего осадка (А) и внедрения оползающего песчаного осадка в нелитифицированные глинистые осадки (В). *Условные обозначения*: 1 — подстилающие и перекрывающие отложения; 2 — песчаники; 3 — аргиллиты кремнистые; 4 — алевролиты

Fig. 6. Example of textures of underwater slumping of uncured sediment (A) and the invasion of the slidable sand sediment into unlithified clay sediments (B). Legend: 1 — Lower and higher deposits; 2 — Sandstones; 3 — Siliceous clayey argillites; 4 — Siltstones

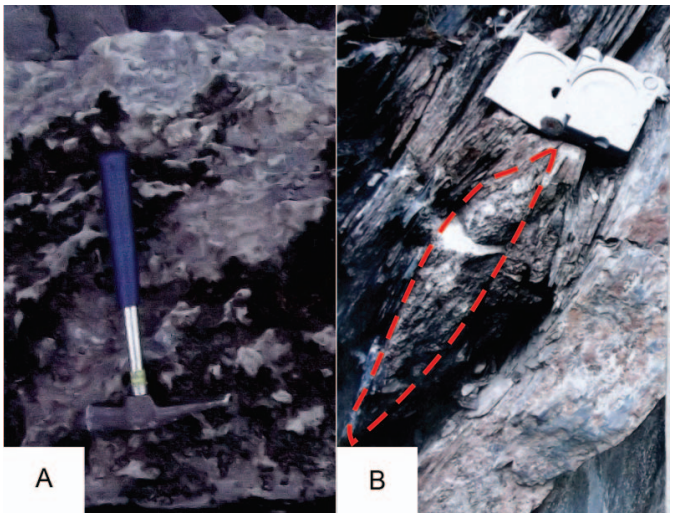


Рис. 7. Текстуры литотипов верхнесопчинской подсвиты (верхней пачки петельчатых известняков) в бассейне р. Большая Ою (А — фото А. А. Ваулиной); линзовидные «петли» органогенно-обломочного известняка в разрезе на руч. Олений — правом притоке р. Большая Ою (В — фото И. С. Чумакова)

Fig. 7. Textures of lithotypes of the Upper-Sopcha Subformation (the upper pack of looped limestones) in the basin of the river Bolshaya Oyu (A — photo by A. A. Vaulina); Lenticular «loops» of organogenic-detrital limestone in the section on the stream course Oleny (right tributary of the Bolshaya Oyu river (B — photo of I. S. Chumakov)

Выводы

В ходе изучения палеозойских отложений (хенгурская, тальбейтывисская, сопчинская и ливановская свиты) сланцевой зоны Северо-Восточного Пай-Хоя получены новые данные, на основе которых можно сделать следующие выводы:

1. Уточнена интерпретация текстур-индикаторов различных литотипов палеозойских разрезов, что позволило получить новые сведения об условиях осадконакопления образований Пайхойского палеобассейна.

2. На основе структурно-генетического анализа были выделены литотипы (*xa, xb, xc*) рассматриваемых отложений с использованием идеализированной модели М. Ирвина.

К литотипу *xa* относятся отложения, которые сформировались за счет оседания карбонатного материала с небольшим количеством глинистого, преимущественно из суспензии, в условиях глубоководья (ниже базиса волн), с последующими преобразованиями на стадии диагенеза.

Литотип *xb* — отложения, образовавшиеся при осаждении глинистого и карбонатного вещества из взвеси в условиях глубоководной зоны при неоднородном волновом воздействии, влияющим на скорость осаждения материала и его количество.

К литотипу *xc* относятся отложения, образовавшиеся при осаждении глинисто-карбонатного вещества в условиях умеренного глубоководья при слабом волновом воздействии и с последующими преобразованиями на стадии диагенеза.

Литотип *xa* встречается в составе среднехенгурской подсвиты хенгурской свиты ($O_{1\text{-}2}hn_2$) и среди отложений ливановской свиты (D_1lv), *xb* распространен в составе тальбейтывисской свиты ($O_{2\text{-}3}tb$), а *xc* характерен для верхней пачки верхнесопчинской подсвиты ($O_3sp_2^2$).

Автор выражает благодарность отделу РГ и ПИ полярных и приполярных территорий ВСЕГЕИ, лично студенту А. С. Чеботареву и к. г.-м. н. доценту Р. А. Щеколдину (Санкт-Петербургский горный университет) за всестороннее содействие в проведении исследований, помощь и поддержку. Автор также признателен рецензентам за ценные советы и замечания.

Литература

1. Атлас текстур и структур осадочных пород / Под ред. А. В. Хабакова. М.: Госгеолтехиздат, 1962. 578 с.

2. *Войновский-Кригер К. Г.* О петельчатой текстуре известняков из ордовика и силура западного склона Полярного Урала // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1970. Т. 45. Вып. 4. С. 40–45.

3. *Беляев А. А.* Литогенетические особенности палеозойских формаций Карской зоны Пай-Хоя // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Европейского Северо-Востока России: Тез. Всерос. геол. конф. Т. 1. Сыктывкар: Ин-т геологии Коми НЦ РАН, 1994. С. 55–58.

4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Южно-Карская. Лист R-41 — Амдерма. Объясн. записка / М. А. Шишкин, С. И. Шкарубо. СПб.: Изд. ВСЕГЕИ, 2008. 415 с.

5. *Исаев Г. Д.* Абиогенные текстуры продуктивных пород древнейших бассейнов Сибири // Горные ведомости. 2018. № 2. С. 14–36.

6. *Корень Т. Н., Енокян В. С.* Силурийские и нижнедевонские отложения северо-западной части Югорского полуострова и островов Печорского моря // Уч. зап. НИИГА. Палеонт. и стратигр. Вып. 30. Л. 1970. С. 5–25.

7. *Морозов В. П.* Учебно-методическое пособие к лабораторным занятиям по курсу «Литология» // Казань: Казанский университет, 2010. 40 с.

8. Обстановки осадконакопления и фации: В 2 т.: Пер. с англ. / Под ред. Х. Рединга. М.: Мир, 1990. Т. 1. 352 с.

9. Осадочные палеозойские формации Пай-Хоя: Тр. ИГ Коми фил. АН СССР. Сыктывкар, 1986. Вып. 56. С. 11–19.

10. *Бондарев В. И.* Опорный разрез ордовика Пай-Хоя, о. Вайгач и юга Новой Земли. Ленинград: НИИГА, 1967. 138 с.

11. *Пучков В. Н., Иванов К. С.* Пелагические «петельчатые» известняки на западном склоне Урала // Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы. Отд. геол. 1985. Вып. 2. С. 59–68.

12. *Рязанов К. П., Щеколдин Р. А. Кузькина А. Д.* Литологические особенности верхнекембрийско-среднеордовикских отложений Югорского полуострова // Регион. геология и металлогения. 2018. № 74. С. 50–59.

13. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов / В. Н. Шванов, В. Т. Фролов, Э. И. Сергеева и др. СПб.: Недра, 1998. 352 с.

14. *Чернова О. С.* К вопросу о классификации текстур осадочных горных пород на современном этапе развития литологических исследований // Фациальный анализ в нефтегазовой литологии. Томск: ТПУ, 2012. С. 338–350.

15. *Шишлов С. Б.* Структурно-генетический анализ осадочных формаций СПб.: ЛЕМА, 2010. 276 с.

16. *Einsele G.* Sedimentary basins: Evolution, facies and sediment budget: Springer-Verlag, 2000. 792 p.

References

1. *Atlas tekstur i struktur osadochnyh porod* (Atlas of textures and structures of sedimentary rocks). Ed. A. V. Khabakov. Moscow: Gosgeoltexizdat, 1962, 578 pp.

2. Vojnovskij-Kriger K. G. *O petelchatoj teksture izvestnyakov iz ordovika i silura zapadnogo sklona Polyarnogo Urala* (Cellular texture of Ordovician and Silurian limestones from western slope of Polar Urals). Byul. MOIP, Otd. Geol, 1970, V. 45, 4, pp. 40–45.

3. Belyaev A. A. *Litogeneticheskie osobennosti paleozojskix formacij Karskoj zony Paj-Xoya* (Lithogenetic features of Paleozoic formations of Kara zone of Pay-Khoy). *Geologiya i mineral'no-sy'r'evy'e resursy` evropejskogo Severo-Vostoka Rossii* (Geology and mioneral resources of European North-East of Russia) Proceedings of conference. V. 1, Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 1994, pp. 55–58.

4. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossijskoj federacii. Masshtab 1:1 000 000 (trete pokolenie). Seriya Yuzhno-Karskaya. List R-41 — Amderma. Obyasnitelnaya zapiska* (State geological map of the Russian Federation. Scale 1: 1,000,000 (third generation). South Kara Series. Sheet R-41 - Amderma. Explanatory note). Shishkin M. A., Shkarubo S. I. St. Petersburg: VSEGEI, 2008, 415 pp.

5. Icaev, G. D. *Abiogenne tekstury produktivnyh porod drevnejshix bassejnov Sibiri* (Abiogenic textures of productive rocks of the most ancient basins of Siberia). Gornye vedomosti, 2018, No. 2, pp. 14–36.

6. Koren T. N., Enokyan V. S. *Silurijskie i nizhnedevonskie otlozheniya severo-zapadnoj chasti Yugorskogo poluostrova i ostrovov Pechorskogo moray* (Silurian and Lower Devonian sediments of the northwestern part of the Yugor Peninsula and the islands of the Pechora Sea). Uch. zap. NIIGA. Paleont. i stratigr. 30, Leningrad, 1970, pp. 5–25.

7. Morozov V. P. *Uchebno-metodicheskoe posobie k laboratorny`m zanyatiyam po kursu «Litologiya»* (Teaching manual for laboratory classes in the course «Lithology»). V. P.Morozov. Kazan: Kazan University, 2010, 40 pp.

8. *Obstanovki osadkonakopleniya i facii (*Conditions of sedimentation and facies), V.1, Translated from English. Ed. H. Reding. Moscow: Mir, 1990, 352 pp.

9. *Osadochnye paleozojskie formacii Paj-Xoya* (Sedimentary formations of Pay-Khoy): Proceedigns of IG Komi Branch of AS USSR, Syktyvkar, 1986, 56, pp. 11–19

10. Bondarev V. I. *Oporny razrez ordovika Paj-Xoya, o. Vajgach i yuga Novoj Zemli* (Reference section of Ordovician Pay-Khoy, Vaigach and south of Novaya Zemlya). NIIGA, Leningrad, 1967, 138 pp.

11. Puchkov V. N., Ivanov K. S. *Pelagicheskie «petelchatye» izvestnyaki na Zapadnom sklone Urala* (Pelagic cellular limestone on the western slope of the Urals). Byul. Mosk. ob-va ispytatelej prirody. Otd. Geol., 1985, 2, pp. 59–68.

12. Ryazanov K. P. *Litologicheskie osobennosti verkhnekembrijsko — sredneordovikskix otlozhenij Yugorskogo poluostrova* (Lithological features of the Upper Cambrian - Middle Ordovician deposits of the Yugor Peninsula). K.P. Ryazanov, R. A. Shhekoldin, A. D. Kuzkina. Region. geologiya i metallogeniya, 2018, No.74, pp. 50–59.

13. *Sistematika i klassifikaciya osadochnyh porod i ix analogov* (Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues). V. N. Shvanov, V. T. Frolov, E. I. Sergeeva et al. St. Petersburg: Nedra, 1998, 352 pp.

14. Chernova O. S. *K voprosu o klassifikacii tekstur osadochnyh gornyh porod na sovremennom etape razvitiya litologicheskih issledovanij. Facialny analiz v neftegazovoj litologii* (To the question of the classification of textures of sedimentary rocks at the present stage of development of lithological studies. Facial analysis in oil and gas lithology). Tomsk: TPU, 2012, pp. 338–350.

15. Shishlov S. B. Strukturno-geneticheskij analiz osadochny`x formacij (Structural and genetic analysis of sedimentary formations of St. Petersburg). St. Petersburg: LEMA, 2010, 276 pp.

16. Einsele G. Sedimentary basins: Evolution, facies and sediment budget: Springer-Verlag, 2000, 792 p.



Арктический вектор геологических исследований
Arctic vector of geological research

УДК 551.435.442 (470.21) DOI: 10.19110/2221-1381-2019-4-17-24

ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ ОБЛОМОЧНОГО МАТЕРИАЛА ТИЛЛОВ ГРЯДЫ С НАПОРНЫМ МОРЕННЫМ ОСНОВАНИЕМ У Д. МОСЕЕВО (ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ ТЕРСКИХ КЕЙВ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

О. Ю. Носова, А. А. Вашков

Геологический институт Кольского научного центра РАН, Апатиты
nosova@geoksc.apatity.ru

Для надежного установления динамики ледниковых покровов и фациальной принадлежности тиллов необходимо определение петрографического состава ледниковых отложений. Данная работа рассматривает петрографический состав валунной, галечной и гравийной фракций различных фаций тиллов, участвующих в строении гряды с напорным моренным основанием у д. Мосеево (Кольский п-ов) и прилегающей с запада моренной равнины. В составе тиллов выявлено 16 основных групп пород и минералов. Проведено сравнение петрографического состава тиллов различных фаций, а также тиллов моренной гряды и прилегающей равнины. Базальный тилл гряды с напорным основанием характеризуется ассоциацией пород, источники которых удалены от участка исследований в западном и северо-западном направлении. Абляционный тилл гряды насыщен обломочным материалом подстилающих или близко залегающих пород. Особенности петрографического состава тиллов разных фаций позволили установить смену гляциодинамических обстановок и термодинамического режима на контакте ледникового покрова и его ложа. Определено восточное и северо-восточное направление перемещения обломочного материала и влияние на динамику ледника выступа кристаллического фундамента полуострова Турий.

Ключевые слова: *тилл, петрографический состав, ледниковая эрозия, направления движения ледника, валуны, галька, гравий.*

PETROGRAPHIC COMPOSITION OF TILL DEBRIS OF THE RIDGE WITH PUSH MORAINE BASEMENT NEAR THE MOSEEVO VILLAGE (WESTERN PART OF THE TERSKIE KEIVY, THE KOLA PENINSULA)

O. Yu. Nosova, A. A. Vashkov

Geological Institute of Kola Scientific Centre of RAS

Determination of petrographic composition of glacial deposits is necessary for reliable definition of glacial cover dynamics and till facies. This study considered petrographic composition of boulder, pebble and gravel fractions of different till facies composing the ridge with push moraine basement near the Moseevo Village and the moraine plain adjacent from the west. 16 main groups of rocks and minerals were defined in these tills. Petrographic composition of different till facies as well as till compositions of the ridge and the adjacent moraine plain were compared. The basal till of the ridge with push moraine basement was characterized by association of source rocks from the west and north-west of the study area. The ablation till of the ridge was saturated by debris of underlying bedrocks in the vicinity. Petrographic composition features of different till facies allowed to determine changing of glaciodynamic and thermodynamic conditions on the ice-bed contact. The east- and north-eastward debris transport and effect of raised crystalline basement of the Turii Peninsula on the glacier dynamic was defined

Keywords: *till, petrographic composition, glacial erosion, glacial movement directions, boulders, pebbles, gravels.*

Введение

Определение петрографического состава грубообломочной фракции и установление источников сноса обломочного материала является одним из основных методов при исследовании ледниковых отложений и реконструкции динамики ледниковых покровов. На сегодняшний день перспективы использования петрографического метода заключаются в решении вопросов о динамике и взаимодействии различных лопастей ледников, возможности существования в регионе малоподвижных ледниковых щитов, а также ледников, имеющих нескандинавское происхождение. Кроме того, актуальна проблема механизма формирования краевых зон последнего оледенения, в частности Терских Кейв. Целью данной работы является установление петрографического состава тиллов различных фаций и определение признаков краевых образований.

Первые сведения о распространении эрратических валунов в Кольском регионе встречаются в работах В. Рамсея [18]. Позднее в результате геолого-съемочных и поисковых работ был накоплен обширный материал по разносу ледниковых валунов, который был обобщен в монографии М. А. Лавровой [14]. Важное место изучению петрографического состава ледниковых отложений отведено в работах А. Д. Арманд, В. Я. Евзерова, Л. А. Кириченко, А. А. Никонова и других [2, 10, 13, 15]. Кроме того, в ряде работ вышеупомянутых авторов приводятся данные о составе разновозрастных тиллов [10, 15, 18]. Петрографический метод был использован при установлении динамики и взаимодействия ледниковых покровов и при определении стадийности горного оледенения Хибинских и Ловозёрских тундр [1, 8, 11]. Полученный в ходе петрографических исследований материал использовался при рекон-

струкции динамики последнего ледникового покрова и установлении ледораздельных зон [10]. Данные по составу крупных обломков позволили ряду авторов предположить присутствие на территории Кольского региона Баренцевоморско-Новоземельского ледника, а также подкрепить версию о существовании Понойского ледникового щита [2, 15].

Характеристика района работ

Район работ расположен на южном берегу Кольского полуострова, северо-восточнее полуострова Турий (рис. 1). Коренные породы в районе исследований представлены гранитоидами умбинского комплекса (в основном порфировидными гранитами) и полимиктовыми аркозовыми песчаниками терской свиты. Данные породы также слагают прилегающие участки дна Белого моря. На западе района работ распространены кислые гранулиты яуриокской толщи Лапландского гранулитового пояса, в основном представленные глинозёмистыми гнейсами (силлиманит-гранат-биотитовыми, гранат-биотитовыми, кордиеритсодержащими). На полуострове Турий данные гнейсы и гранитоиды умбинского комплекса прорываются интрузиями ультраосновных щелочных пород и карбонатитов комплекса Турьего мыса, которые фенитизируют вмещающие породы [9]. Кроме того, на юге Турьего полуострова залегает толща песчаников турьинской свиты, существенно фенитизированых и прорываемых многочисленными дайками щелочных пород и лампрофиров [3, 9]. Дайки и трубки взрыва щелочных пород и лампрофиров встречаются в массивах гранитоидов умбинского комплекса и широко распространены в толщах песчаников терской свиты.

Четвертичные образования в районе исследований представлены маломощным прерывистым чехлом ледниковых, водно-ледниковых, морских, аллювиальных и болотных образований. Ледниковые отложения на востоке района работ у д. Мосеево формируют гряду субмеридиональной ориентировки и примыкающие к ней с востока флювиогляциальные отложения. На северо-западе от данной гряды располагается холмистая моренная равнина. Гряда у д. Мосеево состоит из напорного основания, сложенного складчатым тиллом, и перекрывающих его базального и абляционного тиллов (подробное описание строения и модель формирования гряды Мосеево даны в ранее опубликованной статье [4]). Ледниковые отложения, примыкающие с севера и запада к гряде Мосеево и слагающие моренную равнину, представлены базальным и абляционным тиллами.

Методика исследований

Исследование валунной фракции производилось с поверхности ледниковых форм рельефа. На участке площадью 5×5 метров проводился сбор обломков размером более 100 мм. Участки валунных сборов находились в непосредственной близости от исследуемых обнажений. Валуны разделялись на группы, из которых отбирались наиболее характерные образцы для изготовления петрографических шлифов. Шлифы изучались при помощи поляризационного микроскопа. Из тиллов в обнажениях и шурфах отбирались пробы объёмом 12 литров (около 18–25 кг), которые делились на фракции: галечную (10–100 мм), гравийную (1–10 мм) и песчаную (<1мм). Галечная фракция рассматривалась полностью (количество галек в пробе составляло от 300 до 2200 шт.), из гравийной фракции отбиралось около 250 см^3 материала с размерностью зёрен 5–10 мм (количество гравийных зёрен в пробе составляло от 1200 до 2200 шт.). Изучался материал при помощи стереоскопического микроскопа. Обломки из галечной и гравийной фракций сравнивались с изученными образцами из валунной фракции. Из фрагментов пород, не встреченных в валунной фракции, изготавливались петрографические шлифы. Для определения источников пород в основном использовались геологические карты и литература по геологическому строению региона [5–7, 16, 17], экспозиция музея ГИ КНЦ РАН и собственные полевые наблюдения.

Всего в исследуемом районе было отобрано 9 проб гравийно-галечного материала ледниковых отложений. Из гряды у д. Мосеево были взяты пробы материала линзы в складчатом тилле (Мосеево-3, линза в слое 5) и слоёв базального (Мосеево-3, слой 4) и абляционного (Мосеево-3, слой 1, Мосеево-1 и Мосеево-В) тиллов. На моренной равнине базальный тилл был опробован в обнажениях: к-р Кузреченский (слой 2), Кузрека и Хлебная, а абляционный тилл — в обнажении карьера Кузреченского (слой 1). Валунная фракция абляционных тиллов была изучена на поверхности гряды Мосеево (Мосеево-В) и на моренной равнине (Кузрека-В).

Результаты петрографического анализа

В результате изучения валунного, галечного и гравийного материала тиллов на участке исследований было выделено 16 основных групп пород и минералов.

1. *Песчаники.* В группу входят преимущественно красноцветные аркозовые полимиктовые песчаники (редко гравелиты), состоящие из кварца и полевых шпатов и пропитанные окислами железа. Их источником являются толщи терской свиты, развитой вдоль побережья и на дне Белого моря.

2. Группу *гнейсов* составляют средне- и мелкозернистые биотитовые, амфибол-биотитовые, амфиболовые гнейсы, плагиогнейсы, плагиогранитогнейсы, часто значительно мигматизированные (красными и розовыми микроклиновыми гранитами) и калишпатизированные. К данной группе отнесены амфибол-диопсидовые гнейсы, двуслюдяные и мусковитовые гнейсы и сланцы. Породы группы широко развиты на юге Кольского полуострова и севере Карелии и представляют архейский комплекс основания. Биотитовые гнейсы также являются частью толщ кислых гранулитов в составе Лапландского гранулитового пояса, слагающих крупные массивы на западе — северо-западе от района исследований. Кроме того, широко развиты гнейсы среди толщ кольско-беломорского нестратифицированного комплекса (сергозёрская толща) и верхнеархейских толщ (кислогубская свита). Возможно, некоторые образцы принадлежат разгнейсованным разностям плагиогранитов терского комплекса.

3. *Глинозёмистые гнейсы.* Группа представлена биотитовыми гнейсами, содержащими гранат, силлиманит (реже кианит) и кордиерит. Данные породы часто имеют потёки окислов железа и деформированные текстуры (раздувы, заполненные полевыми шпатами и кварцем, флюидальные скопления биотита). Сюда же отне-

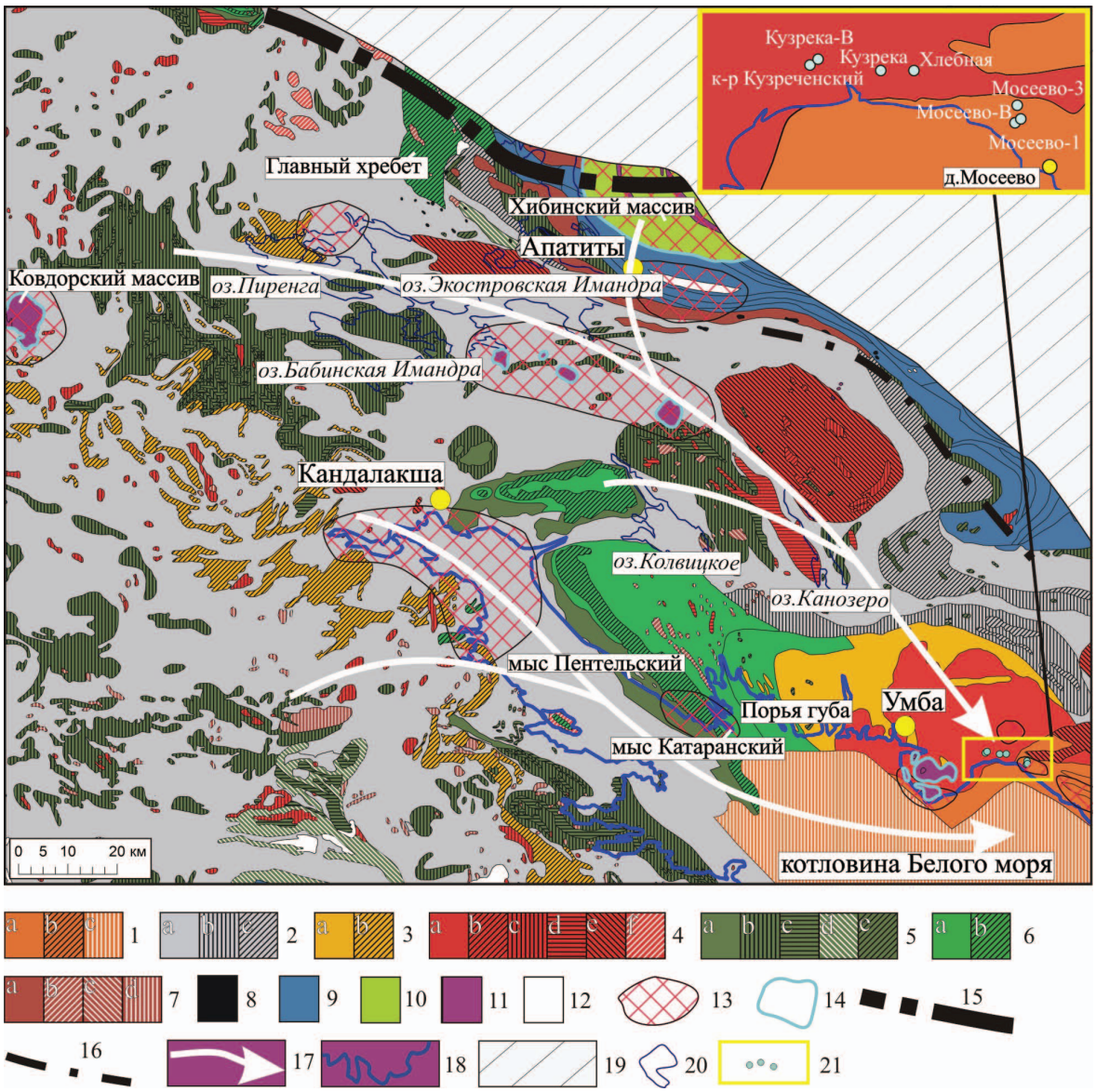


Рис. 1. Карта предполагаемых источников выделенных групп пород и направлений перемещения материала к исследуемому участку (на основе [5, 7]): 1) песчаники: a) терской свиты, b) турьинской свиты, c) других свит оленицкого комплекса; 2) гнейсы: a) комплекса основания, b) сергозерской толщи, c) кислогубской свиты; 3) глинозёмистые гнейсы: a) яуриокской толщи Лапландского гранулитового пояса, b) волшпахской и др. толщ кольско-беломорского нестратифицированного комплекса; 4) гранитоиды: a) умбинского, b) лицко-арагубского, c) вороньинского комплексов, d) Канозёрского массива, e) терского, f) териберского комплексов; 5) амфиболиты: a) кандалакшской толщи, b), c), d) свит патчерва, полмос, пялочная и др., e) нестратифицированного терского комплекса; 6) метагаббро-анортозиты и основные гранулиты: a) основные и средние гранулиты Лапландского гранулитового пояса, b) метагаббро-анортозиты массивов Кандалакшского, Колвицкого и Главного хребта; 7) основные (а также ультраосновные) породы: a) Имандровского массива, b) порьегубского комплекса, c) комплекса Застейд, d) алакурттинского комплекса; 8) ультраосновные породы вочелambинского комплекса; 9) зелёные сланцы пояса Имандра-Варзуга; 10) нефелиновые сиениты Хибинского массива; 11) фойдолиты комплекса Турьего мыса, Ковдорского массива и др.; 12) толщи пород, обломочный материал которых не поступал в район исследования; 13) области развития даек жильных щелочных пород и лампрофиров, а также трубок взрыва; 14) зоны фенитизации вмещающих пород (не в масштабе); 15) линия главного ледораздела последнего оледенения; 16) линия межлопастного ледораздела; 17) предполагаемые направления переноса обломочного материала ледником к исследуемому участку; 18) береговая линия моря; 19) области, из которых предположительно обломочный материал не поступал; 20) озёра; 21) участок работ и точек опробования

Fig. 1. Map of assumed sources of determined rock groups and transport directions of material to the study area (based on [5, 7]). 1) Sandstones of the: a) Terskaya, b) Turyinskaya formations, c) other formations of the Olenitskii complex; 2) gneisses of the: a) Basement Complex, b) Sergozyorskaya unit, c) Kislaya Guba formation; 3) aluminous gneisses of the a) Yauriyoki unit of the Lapland Granulite Belt, b) Volshpakhk and other units of the Kola-Belomorian nonstratified complex; 4) granitoids of the a) Umba, b) Litsa – Ara Guba, c) Voronya complexes, d) Kanozero massif, e) Terskii, f) Teriberskii complexes; 5) amphibolites of the a) Kandalaksha unit, b), c), d) Patcherva, Polmos, Pyalochnaya formations and other, e) Terskii nonstratified complex; 6) metagabbro-anorthosites and intermediate and basic granulites a) basic and intermediate granulites of the Lapland Granulite Belt, b) basic rocks of the Kandalaksha, Kolvitsa and Main Ridge massives; 7) basic (and ultrabasic) rocks of the a) Imandra massif, b) Porya Guba, c) Zasteid, d) Allakurti complexes; 8) ultrabasic rocks of the Vochelambina complex; 9) green schists of the Imandra-Varzuga Belt; 10) nepheline syenites of the Khibiny massif; 11) foidolites of the Turii Cape complex, Kovdor massif et. al.; 12) rocks that didn't come to the study area; 13) spreading areas of dykes of vein alkaline rocks and lamprophyres, and diatremes; 14) fenitization zones of enclosing rocks (without scale); 15) line of main ice divide of the last glaciation; 16) line of interlobate ice divide; 17) assumed directions of debris transport to the study area; 18) shore line; 19) areas from which debris is not assumed to enter; 20) lakes; 21) study and sampling area

сены мусковитовые гнейсы с кианитом. Породы данной группы в основном представляют толщи кислых гранулитов юго-восточной ветви Лапландского гранулитового пояса на западе и северо-западе от района работ. Аналогичные породы встречаются в волшпахской и сергозёрской толщах.

4. Группа *гранитоидов* объединяет порфировидные плагиомикроклиновые граниты, среднезернистые биотитовые граниты, плагиомикроклиновые средне- и мелкозернистые граниты (мигматит-граниты), амфиболовые серо-красные гранитогнейсы, амфиболовые гранодиориты, серые плагиограниты (иногда разгнейсованные) и розовые милониты. Первая подгруппа принадлежит умбинскому комплексу. Плагиомикроклиновые средне- и мелкозернистые граниты широко развиты среди толщ гнейсов основания (мигматизируют их) и, очевидно, представляют вороньинский комплекс. Амфиболовые гранитогнейсы предположительно представляют породы Канозёрского массива (северо-запад от района исследований, близ оз. Канозеро и района Порьей губы). Серые плагиограниты принесены из массивов терского комплекса. Розовые милониты, видимо, связаны с внедрением и изменением (тектонизацией) различных гранитоидов.

5. *Амфиболиты* представлены массивными, полосчатыми и сланцеватыми средне- и мелкозернистыми разностями, состоящими из роговой обманки и плагиоклаза. Иногда в составе присутствуют диопсид и гранат. Основными их источниками служат крупные амфиболитовые массивы Кандалакшско-Колвицкой зоны и другие вулканогенно-осадочные толщи верхнего архея (пялочная свита, сергозерская толща и др.), а также амфиболиты комплекса основания и тела габбро-амфиболитов терского комплекса.

6. Группа *метагаббро-анортозитов и средних и основных гранулитов* представлена слоистыми средне- и мелкозернистыми породами, состоящими из разных соотношений плагиоклаза, амфибола, клинопироксена (реже отропироксена) и граната. Сюда отнесены и метаплагиоклазиты — почти полностью серицитизированные породы с реликтами плагиоклаза, минералом эпидотовой группы, хлоритом и гранатом. Породы данной группы могут быть частично принесены из массивов Главного хребта или Кандалакшско-Колвицкой зоны. Учитывая, что в Кандалакшско-Колвицкой зоне массивы габбро-анортозитов соседствуют с гранулитами Лапландского гранулитового пояса, для данной группы пород высока вероятность именно этого источника. Кроме того, в гравийной фракции встречаются единичные обломки породы типа катаранскита (основная порода, в которой вследствие вторичных изменений плагиоклаз приобрёл розовато-сиреневый оттенок), встречаемых только на мысе Катаранский.

7. В группу *основных пород* входят нориты, габбро, долериты, анортозиты и их изменённые аналоги, сохранившие реликтовые структуры и частично минералы, метагаббро-норит, пироксениты. Источником данных пород могут быть Кандалакшский и Колвицкий массивы, мелкие тела порьегубского, застейдовского и алакурттинского комплексов, массивы Главного хребта и Имандровского лополита.

8. *Ультраосновные породы* представлены в основном серпентинизированными (иногда с амфиболом, хлоритом и тальком) породами типа перидотитов и оливинитов, сохранившими реликты оливина. Их источником могли послужить массивы порьегубского комплекса района Порьей губы или Главного хребта и небольшие интрузии вочеламбинского комплекса на юго-западе и юге от Хибинского массива, мелкие тела алакурттинского и застейдовского комплексов, встречающиеся на юго-востоке от оз. Колвицкое.

9. *Зелёные сланцы* представлены в основном актинолитовыми (иногда ближе к роговообманковым) и хлорит-актинолитовыми сланцами, отдельными обломками плагиоклаз-хлорит-серицитового сланца с гранатом, которые принадлежат комплексам зоны Имандра-Варзуга (томингская серия и др.) и, возможно, более древним палеорифтовым зонам региона.

10. *Нефелиновые сиениты* представлены в основном фойяитами и реже луявритами. Источник данных пород — Хибинский щелочной массив.

11. Группа *жильных щелочных пород и лампрофиров* представлена нефелинитами, эвдиалитовыми фонолитами, мончикитами, авгититами, фурчитом, изменённым мелилитом (?) и др. Породы данной группы слагают многочисленные дайки в кутовой части Кандалакшского залива, на участке от мыса Пентельский до Порьей губы и на юге Турьего полуострова. Дайки данных пород распространены на юге — юго-западе от Хибинского массива, встречаются в умбинских гранитоидах и в толщах терской свиты, секут мелкие и крупные щелочные массивы Кольского региона.

12. *Фойдолиты* представлены мельтейгитом, ийолитом, в основном мелкозернистыми, а также уртитом. Породы данной группы развиты в Хибинском массиве и на Турьем полуострове, в более мелких щелочных массивах южнее Хибин и в Ковдорском массиве, в трубках взрыва.

13. *Фенитизированные породы*. В данную группу объединены фенитизированные песчаники, гнейсы и гранитоиды. Вследствие фенитизации породы приобретают голубовато-зеленовато-серый цвет, зачастую происходит деформация текстур. На микроскопическом уровне фенитизация в песчаниках и гнейсах выражается в образовании в межзерновом пространстве тонкоигольчатого голубовато-серого амфибола. В гнейсах иногда происходит образование вокруг кварца оторочек из зёрен ярко-зелёного клинопироксена (эгирин-геденбергита?). Наиболее изменённые гранитоиды приобретают бластопорфировую структуру и характеризуются новообразованиями эгирина, светло-голубого щелочного амфибола, биотита (или флогопита) и альбита, слагающими флюидальные скопления («потоки») между зёрнами изменённых вкрапленников полевых шпатов. Источником фенитизированных песчаников являются толщи турьинской свиты юга полуострова Турий, возможно также небольшие участки песчаников терской свиты, прорываемые дайками щелочных пород и лампрофиров. Фенитизированные гранитоиды принесены с Турьего полуострова. Фенитизированные гнейсы могут принадлежать толщам гнейсов основания, контактирующим с Хибинским массивом и небольшими щелочными интрузиями южнее массива. На Турьем полуострове есть участки, на которых гнейсы яуриокской толщи контактируют с ультраосновными щелочными интрузиями.

Группы *полевых шпатов* (14) и *кварца* (15) выделены в галечной и гравийной фракциях и, по всей видимости, являются продуктом разрушения преимущественно порфировидных гранитоидов умбинского комплекса.

16. В группу *других* объединены плохо определяемые в мелких фракциях обломки, а также единичные образцы пород и минералов, например гранофиры, бластомилониты, щелочные сиениты, амфиболизированный эклогит, трахит, амазонит (источник – амазонитовые пегматиты района оз. Канозеро) и др. В пробе линзы из складчатого тилла (линза в слое 5) в Мосеево-3 были обнаружены обломки мергеля. Группа «другие» не учитывалась при анализе соотношений групп пород в составе тиллов.

Породы умбинского комплекса, песчаники терской свиты и часть жильных щелочных пород и лампрофиров (для гряды Мосеево) относятся нами к местной питающей провинции (далее — местные породы), так как они либо подстилают, либо находятся в непосредственной близости к изучаемому участку (до 10 км от точек опробования). Все остальные породы рассматриваются нами как приносные и принадлежат удалённым питающим провинциям, расположенным далее чем 10 км от исследуемых объектов.

В ходе исследования соотношений выделенных групп было определено, что базальные тиллы гряды (рис. 2, диаграммы E и F) и моренной равнины (рис. 3, E и F) имеют сходный петрографический состав. В них преобладают биотитовые гнейсы и гранитоиды. Высокие содержания обломков гранитоидов связаны как с насыщением подстилающими умбинскими гранитоидами, так и с отделением от крупных обломков гранитизированных гнейсов мигматитовых прожилков. В составе базального тилла гранитоидные обломки из гнейсовых толщ зачастую преобладают над умбинскими гранитами. В базальном тилле высоко содержание амфиболитов, метагаббро-анортозитов и гранулитов, иногда зелёных сланцев и глинозёмистых гнейсов. Значительная разница содержания глинозёмистых гнейсов в разных пробах и фракциях связана с трудностью их определения и сходством с широко распространенными биотитовыми гнейсами. В пробах кроме кварца и полевых шпатов отмечается постоянное присутствие обломков основных пород, нефелиновых сиенитов, фойдолитов, жильных щелочных пород и лампрофиров.

Для тилла из линзы в складчатом ядре гряды (рис. 2, G и H) характерно преобладание гранитоидов (в основном умбинского массива), гнейсов и глинозёмистых гнейсов, зёрен полевых шпатов. Присутствуют красноцветные песчаники, амфиболиты, зелёные сланцы, нефелиновые сиениты, фойдолиты и жильные щелочные породы и лампрофиры.

В абляционном тилле гряды (рис. 2, C и D; рис. 4, B) наибольшее содержание характерно для красноцветных песчаников и гранитоидов (в основном умбинских). В валунной фракции встречается много гнейсов, хотя в галечной и гравийной их содержание незначительно. Иногда в гравийной фракции отмечаются высокие содержания полевых шпатов. Остальные породы присутствуют в небольших количествах.

Состав абляционного тилла моренной равнины (рис. 3, C и D, рис. 4, A) характеризуется преобладанием гнейсов, второстепенной ролью гранитоидов и повышенным содержанием амфиболитов, метагаббро-анортозитов и гранулитов, глинозёмистых гнейсов, иногда основных пород и зелёных сланцев. В целом состав данного тилла аналогичен составу базального тилла как моренной равнины, так и напорной гряды.

Обсуждение и выводы

Тиллы разных фаций, участвующие в строении гряды у д. Мосеево, имеют различный петрографический состав, а тиллы моренной равнины — сходный. В то же время базальный тилл гряды и моренной равнины имеет подобный состав, а абляционные тиллы, наоборот, имеют резкие различия. Данные закономерности прослеживаются во всех изученных фракциях.

Для базального тилла гряды и моренной равнины характерны в основном приносные породы. Аналогичная базальному тиллу ассоциация пород присуща абляционному тиллу моренной равнины. Это свидетельствует о том, что насыщение нижней и средней частей покровного ледника обломочным материалом происходило из одних источников по мере его движения. Обломочный материал постепенно проникал в более высокие части массива льда и при последующем вытаивании определил сходство петрографического состава абляционного и базального тиллов. Наиболее вероятными участками захвата ледником пород ложа являются район котловин озер Пиренга, Бабинская Имандра, Экостровская Имандра, Канозеро, южные склоны Главного хребта, юго-западный склон Хибинского массива, склоны Кандалакшских и Колвицких тундр, дно Кандалакшского залива Белого моря и район полуострова Турий (рис. 1).

Линза в складчатом тилле в ядре гряды в целом соответствует составу залегающего выше базального тилла, хотя в большей степени насыщена обломками подстилающих гранитов. Вместе с идентичной структурой и окраской это позволяет считать линзу небольшим отторженцем базального тилла. Слоистая пачка коричневато-красных песков и гравийно-галечного материала, вмещающая линзу, резко контрастирует с ней преобладанием красноцветных песчаников местной питающей провинции. Перемешивание материала практически не установлено. Данный факт свидетельствует в пользу того, что толща рыхлых пород, сложенная красноцветными песчаниками, была дислоцирована активным льдом в промороженном состоянии, включена в состав обогащенной дебрисом нижней части льда и перемещена на незначительное расстояние (до 1–2 км) путем пластического течения материала. Итоги данного процесса фиксируются в настоящий момент в виде складок волочения, качения и гляционадвигов [4].

Состав абляционного тилла гряды коренным образом отличается от лежащего ниже по разрезу базального тилла, а также от абляционного тилла моренной равнины. Для него характерно преобладание в составе местных пород красноцветных песчаников и гранитоидов и повышенное относительно других проб содержание жильных щелочных пород и лампрофиров. Характерно обнаружение обломков фенитизированных гранитоидов. Источники отмеченных пород расположены на Турьем полуострове, прилегающей акватории Белого моря и побережье. Специфический состав абляцион-

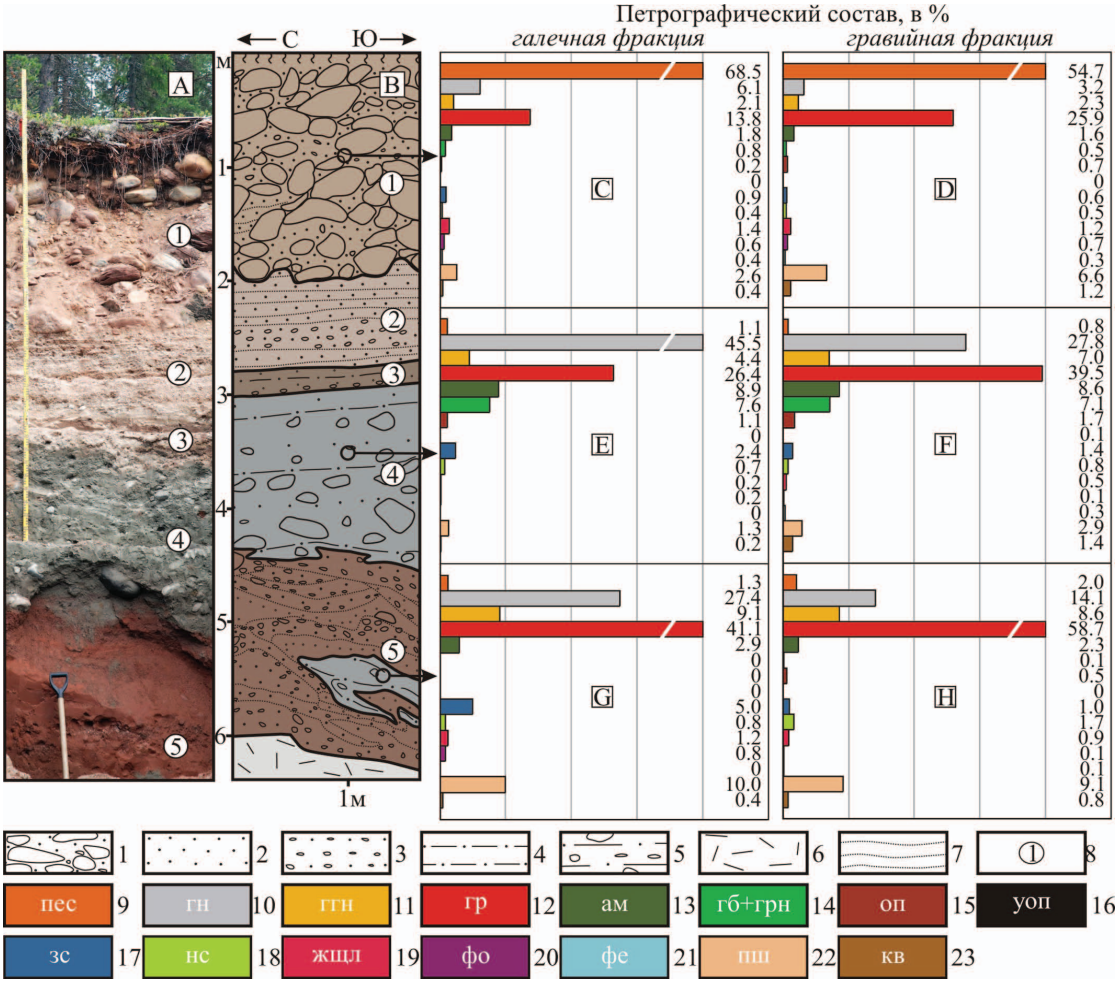


Рис. 2. Строение гряды с напорным моренным основанием в обнажении «Мосеево-3» и диаграммы петрографического состава тиллов: A — фотография, B — зарисовка разреза, C, E, G — диаграммы петрографического состава галечной фракции (%), D, F, H — диаграммы петрографического состава гравийной фракции (%). 1 — гравийно-галечная смесь с валунами; 2 — песок разнозернистый; 3 — песчано-гравийная смесь; 4 — песок глинистый; 5 — песок глинистый с галькой и валунами; 6 — осыпь; 7 — слоистость; 8 — номера слоев разреза. К диаграммам петрографического состава: 9 — песчаники; 10 — гнейсы; 11 — глинозёмистые гнейсы; 12 — гранитоиды; 13 — амфиболиты; 14 — метагаббро-анортозиты и средние и основные гранулиты; 15 — основные породы; 16 — ультраосновные породы; 17 — зелёные сланцы; 18 — нефелиновые сиениты; 19 — жильные щелочные породы и лампрофиры; 20 — фойдолиты; 21 — фенитизированные породы; 22 — полевые шпаты; 23 — кварц

Fig. 2. Composition of the ridge with push moraine basement in the outcrop «Moseevo–3» and diagrams of till petrographic composition. A — photo, B — section sketch, C, E, G — diagrams of petrographic composition of pebble fraction (%), D, F, H — diagrams of petrographic composition of gravel fraction (%).1 — gravel-pebble mix with boulders; 2 — various-grained sand; 3 — sand-gravel mix; 4 — clayey sand; 5 — clayey sand with pebbles and boulders; 6 — colluvium; 7 — lamination; 8 — layer numbers. To diagrams of petrographic composition: 9 — sandstones; 10 — gneisses; 11 — aluminous gneisses; 12 — granitoids; 13 — amphibolites; 14 — metagabbro-anorthosites and intermediate and basic granulites; 15 — basic rocks; 16 — ultrabasic rocks; 17 — green schists; 18 — nepheline syenites; 19 — vein alkaline rocks and lamprophyres; 20 — foidolites; 21 — fenitized rocks ; 22 — feldspars; 23 — quartz

ного тилла гряды у д. Мосеево свидетельствует о формировании этой формы у непосредственного края деградирующего ледника в одну из фаз его отступления в позднем плейстоцене. У непосредственного края ледника активный лед продвигается, как правило, по мерзлому субстрату ложа [12], что вызывает абразию коренных пород и их поступление в состав относительно узкой прикраевой полосы (её ширина колеблется в пределах 1–5 км). Дебрис, захваченный ледником в ходе своего продвижения к гряде, активно аккумулировался вне этой узкой зоны, определяя состав базальных тиллов моренных равнин западнее гряды [12]. Частично этот материал достигал и непосредственной краевой зоны, где смешивался с местными породами.

Петрографический состав тиллов и структурно-геологические сведения о гряде указывают на то, что исследуемая территория оказалась на периферии активного Беломорского ледникового потока. Продвижение осевой части потока происходило по котловине Белого моря в юго-восточно-восточном направлении в одну из фаз деградации последнего оледенения. Из-за близкого ледникового края мощность толщи льда была небольшой. Маломощный ледник вынужден был реагировать и на малоамплитудные неровности ледникового ложа с «обтеканием» и повышенной ледниковой экзарацией поднятий, которые становились преградой на пути ледника. К ним можно отнести компактный возвышенный массив полуострова Турий (с относительной высотой до 250 м). Наличие поднятия привело к изменению направления движения льда на северо-восточное в депрессии восточнее полуострова.

В результате проведённых исследований был определён петрографический состав ледниковых образований и выявлены особенности состава различных фаций тиллов гряды с напорным основанием и прилегающей моренной равнины. Данные, полученные при

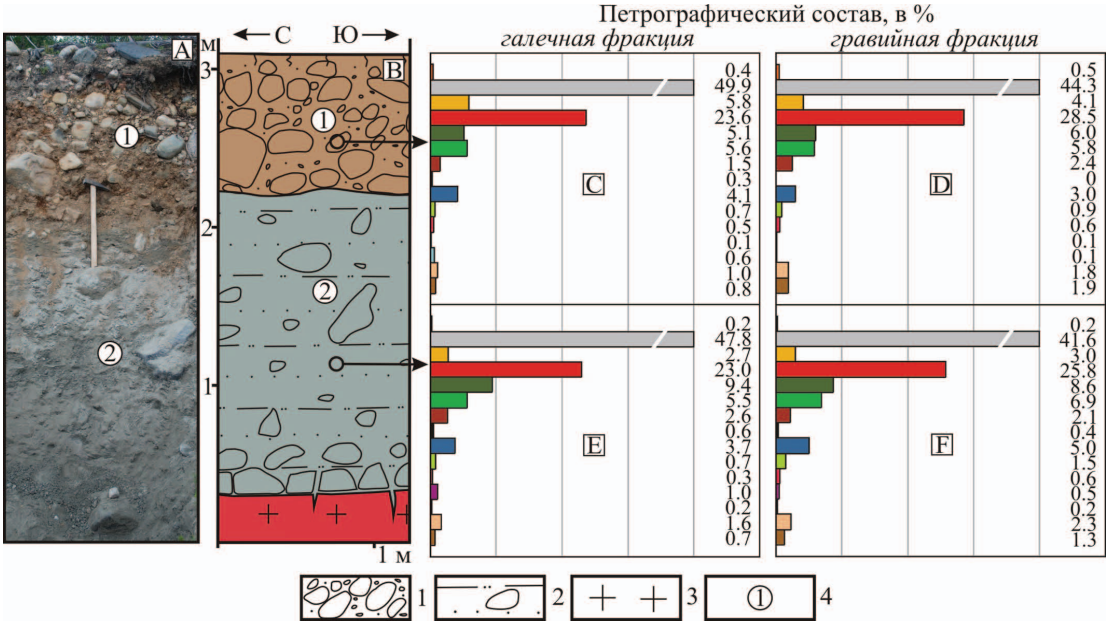


Рис. 3. Строение ледниковых отложений моренной равнины и их петрографический состав: А — фотография, В — зарисовка разреза в карьере Кузреченский, С, Е — диаграммы петрографического состава галечной фракции (%), D, F — диаграммы петрографического состава гравийной фракции (%). 1 — песчано-гравийно-галечная смесь с валунами; 2 — песок глинистый с галькой и валунами; 3 — плагиомикроклиновые порфировидные граниты умбинского комплекса; 4 — номера слоев разреза. Условные обозначения к диаграммам см. на рис. 2.

Fig. 3. Structure of glacial deposits of the moraine plain and their petrographic composition. A — photo, B — section sketch in the Kuzrechenskii open-cast, C, E — diagrams of petrographic composition of pebble fraction (%), D, F — diagrams of petrographic composition of gravel fraction (%). 1 — sand-gravel-pebble mix with boulders; 2 — clayey sand with pebbles and boulders; 3 — plagiomicrocline porphyraceous granitoids of the Umba complex; 4 — numbers of section layers. Symbolic representations to diagrams see on Fig.2.

помощи петрографического анализа обломочного материала, согласуются с геологической и структурно-геологической информацией о юго-западном направлении движения ледника во время образования гряды в одну из заключительных фаз развития последнего ледникового покрова. Важным достижением проведенной работы является установление петрографических критериев состава обломочного материала, которые идентифицируют краевые ледниковые образования в регионе. Это позволяет считать петрографический метод применимым для изучения ледниковых образований в Кольском регионе наряду с традиционными геологическими и структурно-геологическими методами.

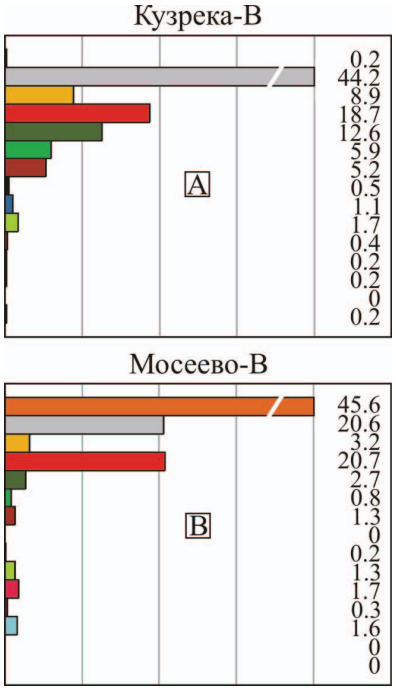


Рис. 4. Петрографический состав (%) валунной фракции абляционного тилла моренной равнины (диаграмма А) и гряды с напорным основанием (диаграмма В). Условные обозначения см. на рис. 2

Fig. 4. Petrographic composition (%) of boulder fraction of the moraine plain ablation till (diagram A) and ablation till of the ridge with push moraine basement (diagram B). Symbolic representations to diagrams see on Fig. 2

Авторы выражают глубокую признательность научному руководителю В. В. Кольке в выборе объектов и тематики исследований и за помощь в подготовке статьи, Т. В. Рундквист и В. В. Борисовой за помощь в определении пород, а также Д. С. Толстоброву и В. Л. Ильченко за активное участие в полевых работах.

Литература

1. *Арманд А. Д.* Очерк формирования рельефа и четвертичных отложений Хибинских тундр // Вопросы геоморфологии и геологии осадочного покрова Кольского полуострова. Апатиты: КолФАН СССР, 1960. С. 32–84.

2. *Арманд А. Д., Арманд Н. Н., Гаскельберг В. Г.* О последнем оледенении на востоке Кольского полуострова // Четвертичные отложения и грунтовые воды Кольского полуострова. М.; Л.: Наука, 1964. С. 5–11.

3. *Булах А. Г., Иваников В. В.* Проблемы минералогии и петрологии карбонатитов. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 244 с.

4. *Вашков А. А., Носова О. Ю.* Строение и морфология гряды с напорным моренным основанием у деревни Мосеево (западная часть Терских Кейв, Кольский полуостров) // Вестник ГИ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 280. С. 10–18.

5. Геологическая карта Кольского региона. Масштаб 1:1 000 000 / Гл. ред. Ф. П. Митрофанов. Апатиты, 2001.

6. Геология СССР. Том XXVII. Мурманская область. Часть 1. Геологическое описание / Ред. Л. Я. Харитонов. М:

Гос. науч.-тех. изд-во лит. по геологии и охране недр, 1958. 714 с.

7. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Геологическая карта дочетвертичных образований. Лист Q–(35), 36 (Апатиты) / Гл. ред. Ю. Б. Богданов. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012.

8. *Граве М. К., Евзеров В. Я.* Основные этапы формирования рельефа и рыхлых отложений Ловозерских тундр // Четвертичные отложения и грунтовые воды Кольского полуострова. М.; Л.: Наука, 1964. С. 12–29.

9. *Евдокимов М. Д.* Фениты Турьинского щелочного комплекса Кольского полуострова (минеральные ассоциации и геохимические особенности). Л.: Изд-во ЛГУ, 1982. 248 с.

10. *Евзеров В. Я., Кошечкин Б. И.* Палеогеография плейстоцена западной части Кольского полуострова. Л.: Наука, 1980. 104 с.

11. *Евзеров В. Я., Николаева С. Б.* Заключительные этапы эволюции покровного и горного оледенения в Хибинах // Доклады РАН. Т. 420. № 5. М.: Наука, 2008. С. 679–682.

12. *Каплянская Ф. А., Тарноградский В. Д.* Гляциальная геология: Метод. пособие по изучению ледниковых образований при геолог. съемке крупного масштаба. СПб: Недра, 1993. 328 с.

13. *Кириченко Л. А.* Ледниковый снос и местные центры оледенения на Кольском полуострове // Формирование рельефа и четвертичных отложений Кольского полуострова. М.; Л.: Наука, 1966. С. 69–76.

14. *Лаврова М. А.* Четвертичная геология Кольского полуострова. М.; Л.: Наука, 1960. 233 с.

15. *Никонов А. А.* Развитие рельефа и палеогеография антропогена на западе Кольского полуострова. М.; Л.: Наука, 1964. 182 с.

16. Объяснительная записка к Геологической карте северо-восточной части Балтийского щита масштаба 1:500000 / А.Т. Радченко и др. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 1994. 95 с.

17. Geology of the Kola Peninsula (Baltic Shild). Ed. F. P. Mitrofanov. Apatity, 1995. 145 pp.

18. Ramsay W. Uber die Verbreitung von Nephelinsyenitgeschiben im Nordlichen Russland. Fennia. XXXIII, № 1. Helsingfors. 1912.

References

1. Armand A. D. *Ocherk formirovaniya relyefa i chetvertichnykh otlozhenii Khibinskikh tundr* (Essay about forming of relief and quaternary deposits of the Khibiny Tundras). *Voprosy geomorfologii i geologii osadochnogo pokrova Kolskogo poluostrova* (Issues of geomorphology and geology of sedimentary cover of the Kola Peninsula). Apatity: Kola Branch RAS USSR, 1960, pp. 32–84.

2. Armand A. D., Armand N. N., Gaskelberg V. G. *O poslednem oledenenii na vostoke Kolskogo poluostrova* (About the last glaciation on the east of the Kola Peninsula). *Chetvertichnye otlozheniya i gruntovye vody Kolskogo poluostrova* (Quaternary deposits and underground waters of the Kola Peninsula). Moskow-Leningrad: Nauka, 1964, pp. 5–11.

3. Bulakh A. G., Ivanikov V. V. *Problemy mineralogii i petrologii karbonatitov* (Issues of mineralogy and petrology of carbonatites). Leningrad: LSU, 1984, 244 pp.

4. Vashkov A. A., Nosova O. Yu. *Stroenie i morfologiya gryady s napornym morennym osnovaniem u derevni Moseevo* (zapadnaya chast Terskikh Keiv, Kolskii poluostrov) (Composition and morphology of the ridge with push moraine basement at the Moseevo Village (western part of the Terskie Keivy, the Kola Peninsula)). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, 2018, No 280, pp. 10–18.

5. Geologicheskaya karta Kolskogo regiona. Masshtab 1:1,000,000 (The geological map of the Kola region. Scale 1:1,000,000). Ed. F. P. Mitrofanov. Apatity, 2001.

6. *Geologiya SSSR. Tom XXVII. Murmanskaya oblast. Chast 1. Geologicheskoe opisanie* (Geology of the USSR. Vol. XXVII. The Murmansk region. Part 1. Geological description) Ed. L. Ya. Kharitonov. Moskow: Gosudarstvennoe nauchno-tekhnicheskoe izdatelstvo literatury po geologii i okhrane nedr, 1958, 714 pp.

7. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. Masshtab 1:1,000,000 (tretye pokolenie). Seriya Baltiiskaya. Geologicheskaya karta dochetvertichnykh obrazovanii. List Q-(35),36 (Apatity)* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third edition). Baltic series. The geological map of pre-Quaternary formations. Sheet Q-(35), 36 (Apatity)). Ed. Yu.B. Bogdanov. St.Petersburg: Kartograficheskaya fabrica VSEGEI, 2012.

8. Grave M. K., Yevzerov V. Ya. *Osnovnye etapy formirovaniya relyefa i rykhlykh otlozhenii Lovozerskikh tundr* (The main forming stages of relief and loose deposits of the Lovozero Tundras). *Chetvertichnye otlozheniya i gruntovye vody Kolskogo poluostrova* (Quaternary deposits and underground waters of the Kola Peninsula). Moskow-Leningrad: Nauka, 1964, pp. 12–29.

9. Yevdokimov M. D. *Fenity Turyinskogo shchelochnogo kompleksa Kolskogo poluostrova (minaralnye assotsiatsii i geokhimicheskie osobennosti)* (Fenits of the Turii alkaline complex of the Kola Peninsula (mineral associations and geochemical features)). Leningrad: LSU, 1982, 248 pp.

10. Yevzerov V. Ya., Koshechkin B. I. *Paleogeografiya pleistotsena zapadnoi chasti Kolskogo poluostrova* (Paleogeography of the Pleistocene of the west part of the Kola Peninsula). Leningrad: Nauka, 1980, 104 pp.

11. Yevzerov V. Ya., Nikolaeva S. B. *Zakluchitelnye etapy evolutsii pokrovnogo i gornogo oledeneniya v Khibinakh* (Final stages of evolution of cover and mountain glaciations in the Khibiny Mountains). Doklady Earth Sciences. Moskow: Nauka, 2008. V. 420, No 5, pp. 679–682.

12. Kaplyanskaya F. A., Tarnogradskii V. D. *Glyatsialnaya geologiya: Metodicheskoe posobie po izucheniyu lednikovykh obrazovanii pri geologicheskoi syomke krupnogo masshtaba* (Glacial geology: Methodical textbook for study of glacial formations at the large-scale geological survey). St.Petersburg: Nedra, 1993, 328 pp.

13. Kirichenko L. A. *Lednikovyi snos i mestnye tsentry oledeneniya na Kolskom poluostrove* (Glacial drift and local glaciation centers on the Kola Peninsula). *Formirovanie relyefa i chetvertichnykh otlozhenii Kolskogo poluostrova* (Forming of relief and quaternary deposits of the Kola Peninsula). Moskow–Leningrad: Nauka, 1966, pp. 69–76.

14. Lavrova M. A. *Chetvertichnaya geologiya Kolskogo poluostrova* (Quaternary geology of the Kola Peninsula). Moscow-Leningrad: Nauka, 1960, 233 pp.

15. Nikonov A. A. *Razvitie relyefa i paleogeografiya antropogena na zapade Kolskogo poluostrova* (Relief development and antropogene paleogeography on the west part of the Kola Peninsula). Moscow-Leningrad: Nauka, 1964, 182 pp.

16. *Obyasnitelnaya zapiska k Geologicheskoi karte severo-vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita masshtaba 1:500,000* (Explanatory note to the Geological map of the north-east part of the Baltic Shield of scale 1:500,000). A. T. Radchenko et.al. Apatity: KSC RAS, 1994, 95 pp.

17. Geology of the Kola Peninsula (Baltic Shield). Ed. F. P. Mitrofanov. Apatity, 1995. 145 pp.

18. Ramsay W. Uber die Verbreitung von Nephelinsyenitgeschiben im Nordlichen Russland. Fennia, XXXIII, №1. Helsingfors. 1912.

УДК 56.016.3 DOI: 10.19110/2221-1381-2019-4-25-28

A NEW SPECIES OF SHALLOW-WATER *SIPHONODELLA* (CONODONTA) FROM THE TOURNAISIAN (LOWER CARBONIFEROUS) OF PECHORA-KOZHVA UPLIFT, TIMAN-PECHORA BASIN

A. V. Zhuravlev

Institute of Geology Komi SC B RAS, Syktyvkar

micropalaeontology@gmail.com

A new Tournaisian (Early Carboniferous) conodont *Siphonodella puchkovi* sp. nov. is described from the shallow-water clayey-carbonate deposits of the Pechora-Kozhva Uplift (Pechora Plate). Morphologically *Siphonodella puchkovi* is similar to its ancestral species *Siphonodella quasinuda* Gagiev, Kononova et Pazuhin but differs from it by longer outer rostral ridge, platform outline, and rounded posterior tip of platform. The new species occurs in the L. *crenulata* Zone (*carinata* local zone) of the middle Tournaisian, and is known from the Timan-Pechora and Donets basins. Together with *Siphonodella carinata* and *Hindeodus cristulus* the new species is characteristic of this zone in the shallow-water facies.

Keywords: *conodonts, new species, Lower Carboniferous, Tournaisian, Timan-Pechora Basin*

НОВЫЙ ВИД МЕЛКОВОДНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ *SIPHONODELLA* (КОНОДОНТЫ) ИЗ ТУРНЕ (НИЖНИЙ КАРБОН) ПЕЧОРО-КОЖВИНСКОГО ПОДНЯТИЯ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОГО БАССЕЙНА

А. В. Журавлев

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

Описан новый вид конодонтов *Siphonodella puchkovi* sp. nov. из мелководных раннекаменноугольных глинисто-карбонатных отложений Печоро-Кожвинского поднятия (Печорская плита). Морфологически этот вид сходен с предковым *Siphonodella quasinuda* Gagiev, Kononova et Pazuhin, но отличается от него более длинным внешним ростральным гребнем, очертаниями платформы, а также округлым задним концом платформы. Новый вид распространен в зоне нижней *crenulata* (местная зона *carinata*) среднего турне и известен из разрезов Тимано-Печорского и Донецкого бассейнов. В ассоциации с *Siphonodella carinata* и *Hindeodus cristulus* этот вид маркирует данную зону в мелководно-морских фациях.

Ключевые слова: *конодонты, новый вид, нижний карбон, турнейский ярус, Тимано-Печорский бассейн.*

Introduction

Three lineages of conodont genus *Siphonodella* are known. The pandemic lineage comprising so-called «ornamented» or «deep-water» siphonodellids forms basis for the detailed conodont zonation of the terminal Famennian and Tournaisian (excluding uppermost Tournaisian) (Sandberg et al., 1978). Besides «ornamented» siphonodellids two endemic lineages of this genus are known in the East Europe and South China. The Chinese lineage is composed of species possessing unornamented Pa elements (Ji & Ziegler, 1992; Ji, 2004). These species dwelt shallow-water marine environment. Another shallow-water lineage of siphonodellids, characterized by unornamented or poorly ornamented Pa elements, existed in East European part of the Laurussia Palaeocontinent only. Representatives of the last lineage are known from shallow-water successions of Donets Basin, Moscow Syneclise, Timan-Pechora Basin, and South Urals (Kozitskaya et al., 1978; Lipnjagov, 1979; Barskov et al., 1984; Gagiev et al., 1987). The most diverse associations of these siphonodellids were described from the eastern part of the Timan-Pechora Basin (Zhuravlev, 2017). All species of the East European lineage, excluding *Siphonodella kalvodai* Kaiser, Kumpan et Cigler, were found in the terminal Famennian and Tournaisian shallow-water clayey-carbonate successions in the southern part of the Pechora-Kozhva Uplift (Fig. 1).

Material and methods

This study is based on about 170 limestone and clay samples collected from the Kamenka River sections (Figs. 1, 2). The processing of samples (about 1 kg in weight) followed the standard procedure: dissolution of limestone in 10% buffered acetic acid; and dispergation of clay in hot water. The residues were washed through a sieve of 70 μm, dried and conodont elements were picked out. About 2750 conodont elements were collected, including 1440 P1-elements; 270 of them belong to genus *Siphonodella*. Most of the conodont elements are of good preservation, however some elements possess corroded surface. Five samples characterizing upper part of the Tournaisian contain a new *Siphonodella* species (Fig. 2).

Results

The Pechora-Kozhva Uplift is a structure in the eastern part of the Pechora Plate, on the passive margin of the Laurussia Palaeocontinent, where an eastward transition from Devonian and Carboniferous shallow-water, mainly marine siliciclastic and carbonate deposits, into deep water facies can be observed. The Devonian-Carboniferous boundary beds correspond to the lower part of the Edzhid Formation comprising clayey-carbonate deposits.

Studied sections are located in the Kozhva River basin, on the banks of the Kamenka River (N 65° 04’ 27.4’’ E 56° 42’ 50.9’’) (Fig. 1). Terminal Famennian and Tournaisian strata, represented mainly by carbonate deposits are exposed there (Fig. 2). For lithological description and facies interpretation of the sections refer to Vevel et al., 2012. The deposits here contain rather abundant conodont associations dominated by representatives of genera *Polygnathus* and *Patrognathus*. Species of *Siphonodella*, *Pseudopolygnathus*, *Hindeodus*, and *Ligonodina* occur as well. The Devonian/Carboniferous boundary is marked by the first occurrence of *Siphonodella sulcata* in association with *S. semichatovae* and *Patrognathus crassus*, that allows reliable recognition of this level (Zhuravlev, 2017).

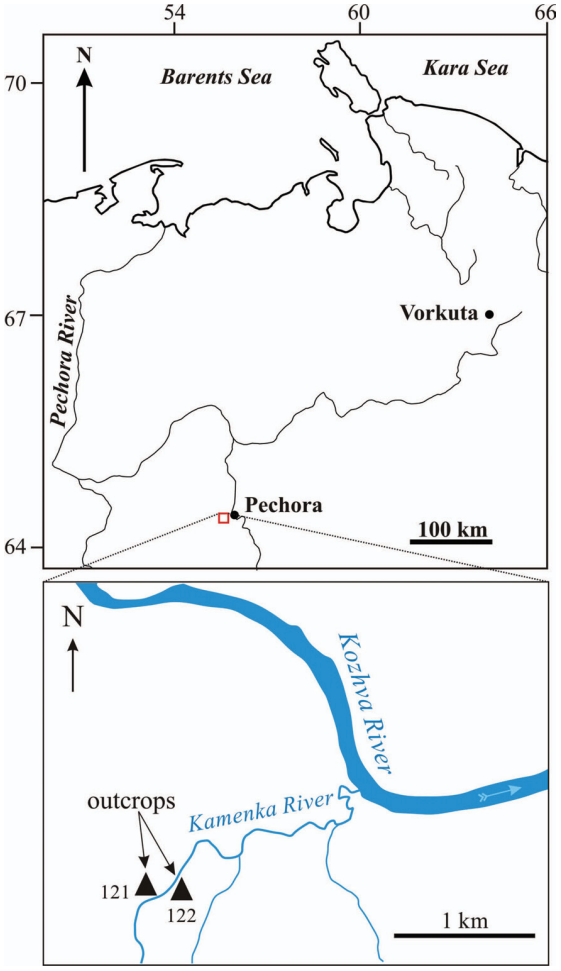


Fig. 1. Locality schematic maps. Triangles mark outcrops

Рис. 1. Схематические карты расположения разрезов. Обнажения отмечены треугольниками

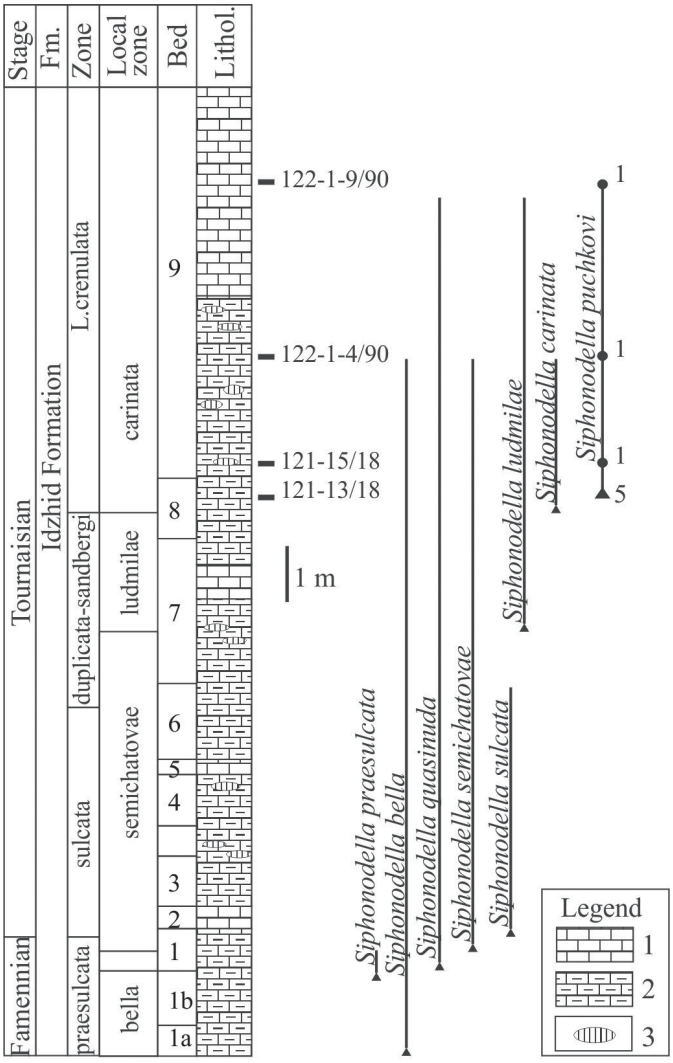


Fig. 2. Composite log of the Kamenka River section demonstrating first occurrence datums (triangles) and ranges of the siphonodellids species. Legend: 1 — limestones; 2 — clayey limestones and thin alternation of limestone and clay; 3 — cherty concretions; 4 — conodont samples; 5 — conodont samples containing *Siphonodella puchkovi* sp. nov.

Рис. 2. Сводная колонка разреза на р. Каменке, демонстрирующая уровни первых находок (треугольники) и интервалы распространения видов рода *Siphonodella*. Условные обозначения: 1 — известняки; 2 — глинистые известняки и тонкое чередование известняков и глин; 3 — кремнистые конкреции; 4 — образцы на конодонты; 5 — образцы, содержащие *Siphonodella puchkovi* sp. nov.

Occurrence of a diverse shallow-water assemblage of siphonodellids, including *Siphonodella bella* Kononova et Migdisova, *S. quasinuda* Gagiev, Kononova et Pazuhin, *S. semichatovae* Kononova et Lipnjagov, *S. ludmilae* Zhuravlev et Plotitsyn, and *S. carinata* Zhuravlev, allowed to reveal their phylogeny and to propose local conodont zones (Zhuravlev, 2017). Studied siphonodellids demonstrate wide morphological variation in their platform outline and ornamentation, including rostrum architecture, that allows to recognize a new species – *Siphonodella puchkovi* sp. nov. (Fig. 3). This species is represented by few specimens only and was mentioned as *S.* aff. *quasinuda* earlier (Zhuravlev, 2017).

Systematic paleontology

Genus *Siphonodella* Branson et Mehl

Siphonodella puchkovi sp. nov.

Fig. 3.1–3.3

Siphonodella aff. *crenulata*: Kozitskaya et al., 1978, p. 88-89, pl. VI, fig. 7

Siphonodella sp. A: Lipnjagov, 1979, Pl. 2, fig. 2

Etymology: In honor of V.V. Puchkov, for his contribution to conodont studies in the North Urals.

Holotype: Fig. 3.1, specimen 703/16, sample 121-15/18, Kamenka River section, Pechora Swell, Timan-Pechora Basin, Lower *crenulata* Zone (*carinata* local zone).

Paratype: Fig. 3.2, specimen 687/36, sample 122-1-9/91, Kamenka River section, Pechora swell, Timan-Pechora basin, Lower *crenulata* Zone (*carinata* local zone).

Diagnosis: Advanced siphonodellid species with P1 elements having lanceolate, smooth, and asymmetric platform with prominent rostrum that bears up to two rostral ridges. Long outer rostral ridge merges with the lateral platform margin. The inner rostral ridge is short.

Description: P1-elements possessing lanceolate asymmetric platform with rounded posterior tip. Prominent rostrum bears up to two rostral ridges. The outer rostral ridge is long and merges with the lateral platform margin. Short inner rostral ridge is gently bent towards the lateral platform margin. The elements possess features characteristic of Class II symmetry sensu Lane (1968). Platform ornamentation is poor or absent. Inner part of platform is smooth or bears scattered nodes or unclear ribs. Outer part of platform may be ornamented bearing wide and low transverse ribs. Carina sigmoidal, strongly bowing inwards and decreasing in height posteriorly. Keel is thin in the anterior part and depressed in the posterior part of the element that is similar to other ad-

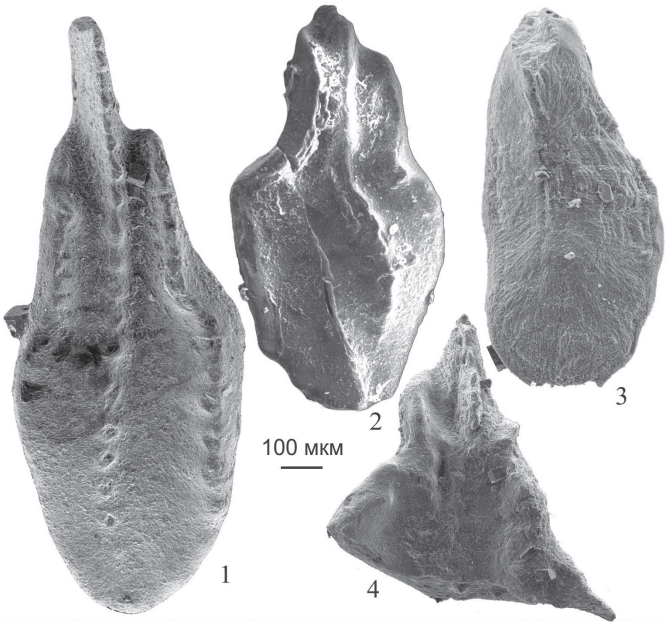


Fig. 3. P1-elements of *Siphonodella puchkovi* sp. nov. from the Tournaisian Lower *crenulata* Zone (*carinata* local zone) of the Kamenka River section: 1 — upper view of dextral element, specimen703/16 (holotype), outcrop 121, sample 121-15/18; 2 — upper view of sinistral element, specimen 687/36, outcrop 122, sample 122-1-9/91; 3 — lower view of sinistral element, specimen 704/1, outcrop 121, sample 121-13/18 (P1 element of *Siphonodella* aff. *puchkovi* sp. nov. comes from the same locality and stratum); 4 — upper view of anterior part of gerontic sinistral element, specimen 703/14, outcrop 121, sample 121-13/18

Рис. 3. P1-элементы *Siphonodella puchkovi* sp. nov. из турнейской зоны нижней *crenulata* (местная зона *carinata*) в разрезе на р. Каменка: 1 — вид сверху правого элемента, экз. 703/16 (голотип), обн. 121, обр. 121-15/18; 2 вид сверху левого элемента, экз. 687/36, обн. 122, обр. 122-1-9/91; 3 — вид снизу левого элемента, экз. 704/1, обн. 121, обр. 121-13/18 (P1-элемент *Siphonodella* aff. *puchkovi* sp. nov. из того же местонахождения и стратиграфического интервала); 4 — вид сверху передней части геронтического левого элемента, экз. 703/14, обн. 121, обр. 121-13/18

vanced siphonodellids in the East-European lineage. Small basal pit is located in the mid-point of the element.

Cross-section asymmetry of denticles on the free blade (Fig. 4A) suggests arrangement of P1 elements in the apparatus where sinistral one of them is located somewhat posteriorly of the dextral element (Fig. 4B). It is supposed that rostral ridges, free blade, and anterior carina were closely occluded whereas posterior carina and platform were occluded in a lesser degree (Fig. 4B).

Remarks: *Siphonodella puchkovi* sp. nov. is closely related to other species of the advanced shallow-water siphonodellids, such as *S. ludmilae* Zhuravlev et Plotitsyn, *S. kalvodai* Kaiser, Kumpan et Cigler, and late forms of *S. quasinuda* Gagiev, Kononova et Pazuhin. It differs from *S. kalvodai* by smoother platform outline, longer outer rostral ridge, by having only two rostral ridges at the late stage of ontogeny, and by Class II symmetry. *S. puchkovi* differs from *S. ludmilae* by having smooth or poorly ornamented platform and smoother outer outline of platform. From the morphologically close to it species, *S. quasinuda*, *S. puchkovi* differs by possessing longer outer rostral ridge, by general platform outline (lanceolate and strongly asymmetric), and by rounded posterior tip of platform.

Material: 9 specimens from the Middle Tournaisian (*L. crenulata* Zone or *carinata* local zone) of the Kamenka River section, Pechora Swell, Timan-Pechora Basin.

Distribution: Lower Carboniferous, Tournaisian (L. *crenulata* Zone) of the Timan-Pechora and Donets basins (East European Platform).

Figured specimens are deposited in the Geological Museum of Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, collections #703, 704, and 687.

Concluding remarks

According to the data obtained, *Siphonodella puchkovi* probably evolved from *S. quasinuda* by the development of a longer outer rostral ridge. The first occurrence datum (FOD) of *S. puchkovi* in the Timan-Pechora Basin approximately

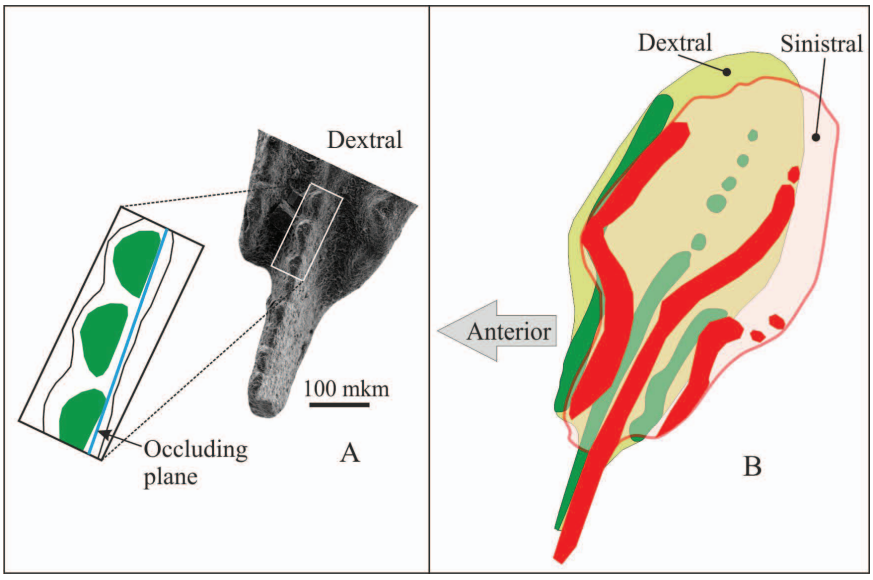


Fig. 4. Scheme of occlusion of P1-elements of *Siphonodella puchkovi* sp. nov. A — close-up view of free blade of the dextral P1 element demonstrating asymmetry of the cross sections of denticles providing occlusion along the inner surface of free blade; B — schematic drawing of occluding P1-elements (dextral in green, sinistral in red)

Рис. 4. Схема смыкания P1-элементов *Siphonodella puchkovi* sp. nov. A — увеличенное изображение свободного листа правого P1-элемента, демонстрирующее асимметрию поперечного сечения зубцов, которая обеспечивала смыкание вдоль внутренней поверхности свободного листа; B — схематический рисунок смыкания P1-элементов (правый — зеленый, левый — красный)

corresponds to lower part of the Lower *crenulata* Zone (*carinata* local zone). In the Donets Basin this species was reported from the middle part of the C_1^tb Formation, in association with *Hindeodus crassidentatus* (Branson et Mehl), *H. penescitulus* Rexroad et Collinson, *Bispathodus aculeatus* (Branson et Mehl), *Patrognathus andersoni* Klapper, *Pseudopolygnathus dentilineatus* Branson, *Ps. multistriatus* Mehl et Thomas, *Siphonodella semichatovae* Kononova et Lipnjagov, *S.* aff. *sulcata* (Huddle), *Polygnathus parapetus* Druce, *Pol. stylensis* Lipnjagov, *Pol. inornatus* Branson, *Pol. longiposticus* Branson et Mehl (Kozitskaya et al., 1978). This association suggests correlation with the Lower *crenulata* Zone. Thus *S. puchkovi* ranges in the Lower *crenulata* Zone of the Tournaisian. In association with *S. carinata* and *H. cristulus* the new species marks this zone in the shallow-water facies.

Acknowledgements. Anonymous reviewers are thanked for their comments, detailed remarks, and corrections of the manuscript.

References

1. Barskov I. S., Kononova L. I., Migdisova N. S. *Konodonty nizhneturnejskikh otlozhenij Podmoskovkogo bassejna* (Conodonts of the lower Tournaisian of the Moscow Basin) In: Menner V. V. (ed.). *Paleontologicheskaya kharakteristika stratotipicheskikh i opornykh razrezov karbona Moskovskoj sineklizy*. Moscow: MGU, 1984, pp. 3–33.

2. Gagiev M. H., Kononova L. I. and Pazukhin V. N. Konodonty (Conodonts). In: Maslov V. A. (ed.) *Fauna i biostratigrafiya pogranichnyh otlozhenii devona i karbona Berchogura (Mugodzhary)* (Fauna and biostratigraphy of the Devonian-Carboniferous boundary deposits in Berchogur (Mugodzhary)). Moscow: Nauka, 1987, pp. 91–97.

3. Ji Q. Study on the phylogeny, taxonomy, zonation and biofacies of *Siphonodella* (Conodonta) Bulletin of the Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences. 1985, 11, pp. 51–78.

4. Ji Q. 2004. On the change of conodonts near the Devonian-Carboniferous boundary. Professional Papers of Stratigraphy and Palaeontology. Geology Publish House, Beijing, 2004, pp. 111–123.

5. Ji Q. & Ziegler W. Phylogeny, speciation and zonation of *Siphonodella* of shallow water facies (Conodonta, Early Carboniferous). Courier Forschungsinstitut Senckenberg, 1992, 154, pp. 223–251.

6. Kaiser S. I., Kumpan T., Cigler V. New unornamented siphonodellids (Conodonta) of the lower Tournaisian from the Rhenish Massif and Moravian Karst (Germany and Czech Republic). Neues Jahrbuch fьr Geologie und Paldontologie, Abhandlungen, 2017, 286/1, pp. 1–33.

7. Kozitskaya R. I., Kosenko Z. A., Lipnjagov O. M., Nemirovskaya T. I. *Konodonty karbona Donetskogo bassejna* (Conodonts of the Carboniferous of Donets Basin). Kiev: Naukova Dumka, 1978, 136 pp.

8. Lane H. R. Symmetry in conodont element-pairs. Journal of Paleontology. 1968, 42, pp. 1258-1263.

9. Lipnjagov O. M. The conodonts of C_1 ta and C_1 tb of the Donetz Basin. Service Geologique de Belgique, Professional paper 1979/5, 1979, No. 161, pp. 42–49.

10. Sandberg C.A., Ziegler W., Leuteritz K. & Brill S.M. Phylogeny, speciation, and zonation of *Siphonodella* (Conodonta, Upper Devonian and Lower Carboniferous). Newsletters on Stratigraphy, 1978, 7, pp. 102–120.

11. Vevel Y. A., Zhuravlev A. V., Popov V. V. *Pogranichnye otlozheniya devonskoi i kamennougol'noi sistem v razreze na r. Kamenka (Pechoro-Kozhvinskii megaval, Timano-Pechorskaya provintsiya)* (Deposits of the Devonian and Carboniferous boundary in the Kamenka River section (Pechora-Kozhvin megaswell, Timano-Pechora province)). *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2012, 7(1), http://www.ngtp.ru/rub/2/6_2012.pdf

12. Zhuravlev A. V. A new species of the conodont genus *Siphonodella* Branson & Mehl (late Tournaisian). Estonian Journal of Earth Sciences. 2017, 66, 4, pp. 188–192.

13. Zhuravlev A. V. Shallow-water siphonodellids and definition of the Devonian-Carboniferous boundary. Newsletter on Carboniferous Stratigraphy, 2017, 33, pp. 21–26.

14. Zhuravlev A. V., Plotitsyn A. N. The symmetry of the rostrum as a key to taxonomy of advanced *Siphonodella* (Conodonta, Early Carboniferous). Stratigraphy, 2017, 14(1-4), pp. 457–474.

Литература

1. *Барсков И. С., Кононова Л. И., Мигдисова Н. С.* Конодонты нижнетурнейских отложений Подмосковного бассейна / Ред. В. В. Меннер // Палеонтологическая характеристика стратотипических и опорных разрезов карбона Московской синеклизы. М.: Изд. МГУ, 1984. С. 3–33.

2. *Гагиев М. Х., Кононова Л. С., Пазухин В. Н.* Конодонты / Ред. В. А. Маслов // Фауна и биостратиграфия пограничных отложений девона и карбона Берчогура (Мугоджары). М.: Наука, 1987. С. 91–97.

3. *Ji Q.* Study on the phylogeny, taxonomy, zonation and biofacies of *Siphonodella* (Conodonta) // Bulletin of the Institute of Geology Chinese Academy of Geological Sciences. 1985. 11. P. 51–78.

4. *Ji Q.* 2004. On the change of conodonts near the Devonian-Carboniferous boundary // Professional Papers of Stratigraphy and Palaeontology. Geology Publish House, Beijing, 2004. P. 111–123.

5. *Ji Q. & Ziegler W.* Phylogeny, speciation and zonation of *Siphonodella* of shallow water facies (Conodonta, Early Carboniferous) // Courier Forschungsinstitut Senckenberg. 1992. 154. P. 223–251.

6. *Kaiser S. I., Kumpan T., Cigler V.* New unornamented siphonodellids (Conodonta) of the lower Tournaisian from the Rhenish Massif and Moravian Karst (Germany and Czech Republic) // Neues Jahrbuch fьr Geologie und Paläontologie, Abhandlungen. 2017. 286/1. P. 1–33.

7. *Козицкая Р. И., Косенко З. А., Липнягов О. М., Немировская Т. И.* Конодонты карбона Донецкого бассейна. Киев: Наукова Думка, 1978. 136 с.

8. *Lane H. R.* Symmetry in conodont element-pairs // Journal of Paleontology. 1968. 42. P. 1258–1263.

9. *Lipnjagov O. M.* The conodonts of C_1 ta and C_1 tb of the Donetz Basin // Service Geologique de Belgique, Professional paper 1979/5. 1979. N 161. P. 42–49.

10. *Sandberg C. A., Ziegler W., Leuteritz K. & Brill S. M.* Phylogeny, speciation, and zonation of *Siphonodella* (Conodonta, Upper Devonian and Lower Carboniferous // Newsletters on Stratigraphy. 1978. 7. P. 102–120.

11. *Вевель Я. А., Журавлев А. В., Попов В. В.* Пограничные отложения девонской и каменноугольной систем в разрезе на р. Каменка (Печоро-Кожвинский мегавал, Тимано-Печорская провинция) // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2012. Т.7. №1. http://www.ngtp.ru/rub/2/6_2012.pdf

12. *Zhuravlev A. V.* A new species of the conodont genus *Siphonodella* Branson & Mehl (late Tournaisian) // Estonian Journal of Earth Sciences. 2017. 66. 4. P. 188–192.

13. *Zhuravlev A. V.* Shallow-water siphonodellids and definition of the Devonian-Carboniferous boundary // Newsletter on Carboniferous Stratigraphy. 2017. 33. P. 21–26.

14. *Zhuravlev A. V., Plotitsyn A. N.* The symmetry of the rostrum as a key to taxonomy of advanced *Siphonodella* (Conodonta, Early Carboniferous) // Stratigraphy. 2017. 14 (1-4). P. 457–474.

УДК 549.88, 552.13 DOI: 10.19110/2221-1381-2019-4-29-37

ПРОЯВЛЕНИЕ ШУНГИТОПОДОБНОГО УГЛЕРОДА РУЧЕЙНОЕ (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

М. Ю. Сокерин[1], Е. А. Голубев[1], А. А. Уткин[2], Н. В. Сокерина[1]

[1] Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
sokerin@geo.komisc.ru

[2] Сыктывкарский государственный университет им. Питирима Сорокина, Сыктывкар

Приводятся результаты геолого-минералогического изучения проявления высокопреобразованного углеродистого вещества в нижнесилурийских доломитах на р. Кожим на Приполярном Урале. Определены формы нахождения углеродистого вещества, химический и изотопный состав и морфология его выделений. Установлено, что по структурным и спектроскопическим характеристикам углеродистое вещество проявления является аналогом шунгитового углерода широко известных проявлений Карелии (Шуньга, Максово, Чеболакша). Выявлено широкое развитие этого шунгитоподобного вещества в составе жильной минерализации и во вмещающих её доломитах. В жильных телах макровыделения шунгитоподобного вещества обнаруживают парагенетическую связь с кальцит-доломитовой минерализацией. Высказано предположение, что наиболее благоприятные условия для формирования шунгитоподобного углерода проявления Ручейное существовали в позднепермско-раннетриасовом временном интервале.

Ключевые слова: *шунгитоподобный углерод, изотопия углерода, Приполярный Урал.*

RUCHEYNOYE OCCURRENCE OF SHUNGITE-LIKE CARBON (SUBPOLAR URALS)

M. Yu. Sokerin[1], Ye. A. Golubev[1], A. A. Utkin[2], N. V. Sokerina[1]

[1]Institute of Geology SC UB RAS, Syktyvkar

[2]Syktyvkar State University named Pitirim Sorokin, Syktyvkar

The results of a geological and mineralogical study of the occurrence of high-grade metamorphised carbonaceous matter in the Lower Silurian dolomites on the Kozhim River in the Subpolar Urals were presented. The forms of finding occurrence the carbon substance, chemical and isotopic compositions and the morphology of its excretions were determined. We established that the carbonaceous matter was an analogue of shungite carbon of widely known occurrences of Karelia (Shunga, Maxovo, Chebolaksha) by the composition and structural characteristics. The widespread development of shungite-like carbon in the vein mineralization and enclosing dolomites was found. In the veins of the macroscopic shungite-like carbon, there was a paragenetic connection with the calcite-dolomite mineralization. We suggested that the most favorable conditions for the formation of the shungite-like carbon had existed in the Late Permian — Early Triassic.

Keywords: *shungite-like carbon, carbon isotopy, Subpolar Ural.*

Введение

Из природных углеродистых веществ (УВ) битумного ряда наибольший интерес в последние десятилетия был проявлен к шунгитовому углероду Карелии, главным образом к его высококонцентрированным жильным формам (шунгитам первой разновидности по П. А. Борисову [2], или высшим антраксолитам по М. М. Филиппову [7]), в связи с фуллереновым бумом в конце девяностых годов прошлого века. Но и сейчас этот интерес не ослабевает. В центре внимания остаются вопросы структуры, уникальных свойств и технологический потенциал этих веществ [7, 10–17], определяемый прежде всего их структурными особенностями. Интерес к наноструктурированным углеродным материалам, подобным углеродистому веществу шунгитовых пород, стимулирует поиски таких веществ в различных геологических объектах. Ключевыми для этих поисков являются вопросы их онтогении и структурной диагностики УВ, которые, несмотря на длительную историю изучения, во многом остаются дискуссионными. На сегодняшний день наиболее корректными методами для диагностики слабоупорядоченных углеродистых веществ являются высокоразрешающая просвечивающая микроскопия в сочетании с электронной дифракцией, а также спектроскопия комбинационного рассеяния. Их применение позволило установить [11, 12], что лишь очень малое число природных УВ, даже среди достигших стадии высших антраксолитов, по своим структурным и спектроскопическим особенностям может быть полностью сопоставимо с концентрированными миграционными формами классических карельских углеродистых веществ из проявлений Шуньга, Максово, Чеболакша, Зажогино. Далее такие вещества мы будем называть шунгитоподобным углеродом (ШУ), подчеркивая здесь вышеупомянутое сходство структурных особенностей и физических свойств. Нами подобное соответствие было установлено для УВ из нижнесилурийских доломитов на р. Кожим (Приполярный Урал) [4, 11], найденного В. В. Букановым в 1967 г. и описанного им как переходное от антраксолита к графиту [3]. На сегодняшний день проявление этого УВ, названное нами Ручейным, является пока единственным на Урале объектом с шунгитоподобным углеродом.

В данной работе изложены первые результаты исследований особенностей геологического строения этого объекта, описаны состав, формы нахождения, морфология и минеральные парагенезисы углеродистого вещества.

Методы исследований

Кроме полевых наблюдений, для изучения УВ и вмещающих пород Ручейного проявления применялся комплекс оптических и спектрометрических методов в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН. Диагностика УВ и изучение особенностей его структурного строения осуществлялись по спектрам комбинационного рассеяния света, полученным на рамановском спектрометре LabRam HR800 (Horiba Jobin Yvon). Условия регистрации спектров: Ar+ лазер (514.5 nm, 1.2 mW), решетка

спектрографа — 600 ш/мм, конфокальное отверстие — 300 мкм, щель спектрометра — 100 мкм, время экспозиции спектра — 1 с, количество циклов накопления сигнала в участке спектра — 10, диапазон регистрации спектров — 100–4000 $см^{-1}$. Основными характеристиками спектров для диагностики являлись отношения интенсивностей D1-, D2- и D4-полос к интенсивности G-полосы, а также полуширина D1-полосы и характер второго порядка отражения [9]. СЭМ-изображения и определения химического состава в образцах с ШВ получены на сканирующих электронных микроскопах Tescan MIRA 3 LMH в Сыктывкарском государственном университете и Tescan MIRA 3 LMN в ЦКП «Геонаука» в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН. Ускоряющий потенциал составлял 20 кВ, диаметр электронного пучка при элементном анализе — 100 нм. Образцы предварительно напылялись тонким слоем золота. Текстурно-структурные характеристики агрегатов УВ и их взаимоотношения с другими минералами изучались в полированных и прозрачных шлифах с помощью оптического микроскопа Nikon Eclipse LV100ND. Необходимо отметить, что наблюдаемые в отраженном свете текстуры обусловлены эффектами, возникающими при полировке образцов. Подобные по природе эффекты наблюдаются при полировке природного графита. В последнем они вызываются различной устойчивостью по отношению к полировке отдельных блоков с одинаковой структурной ориентировкой субиндивидов. Правомерно предположить, что и в УВ наблюдаемые эффекты в отраженном свете косвенно являются отражением его структурных особенностей. Методика определения изотопного состава углерода и кислорода карбонатов включала разложение породы в ортофосфорной кислоте и измерение $\delta^{13}C$ и $\delta^{18}O$ методом проточной масс-спектрометрии в режиме постоянного потока гелия (CF-IRMS) на аналитическом комплексе фирмы ThermoFisher Scientific, включающем в себя систему подготовки и ввода проб GasBench II, соединенную с масс-спектрометром DELTA V Advantage.

Результаты и их обсуждение

Ручейное проявление шунгитоподобного углерода расположено в верхнем течении р. Кожим, в 1.1 км ниже устья р. Балбанъю, локализовано в нижнесилурийских доломитах ручейной свиты, выделенной А. И. Антошкиной [1, 8] в составе табаротинской серии (рис. 1, 2).

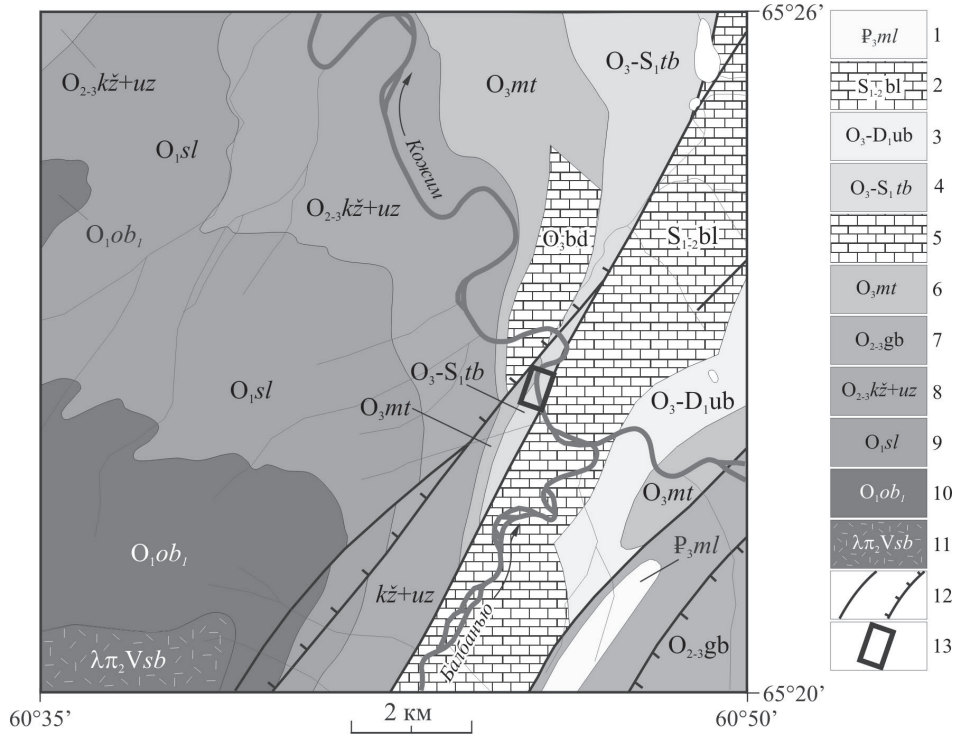


Рис. 1. Геологическая схема района проявления (по [5]): 1 — олигоцен, малдинская свита: аллювиальные валунно-галечные смеси; 2 — балбанъюский рифовый массив: доломиты вторичные, доломитовые конглобрекчии; 3 — устьбалбанъюская толща: сланцы углисто-глинисто-кремнистые, известняки глинистые; 4 — табаротинская серия: доломиты вторичные с желваками кремней; 5 — риф Бадья: доломиты массивные; 6 — малотавротинская свита: доломиты, доломитовые брекчии; 7 — грубепендишорская свита: известняки с прослоями хлорит-серицитовых и углисто-серицитовых сланцев и известняковых гравелитов; 8 — кожимская и устьзыбская свиты объединенные: известняки глинистые, известковистые песчаники, доломитизированные известняки; 9 — саледская свита: зеленоцветные гравелиты, песчаники, алевроглинистые сланцы, известковистые песчаники и песчанистые известняки; 10 — обеизская свита: конгломераты кварцевые, песчаники, алевролиты, алевроглинистые сланцы; 11 — метариолиты порфировые саблегорского риолит-базальтового комплекса; 12 — разрывные нарушения; 13 — Ручейное проявление шунгитового углерода

Fig. 1. Geological scheme of the occurrence area (according to [5]). 1 — Oligocene, Maldinskaya suite: alluvial boulder-pebble mixtures; 2 — Balbanyu reef massif: secondary dolomites, dolomite conglobreccia; 3 — Ust-Balbanuyu stratum: carbonaceous-clay-siliceous schists, clayey limestones; 4 — Tabarotinskaya series: secondary dolomites with flint chinks; 5 — Reef Tub: dolomites are massive; 6 — malotavrotinskaya suite: dolomites, dolomite breccias; 7 — Gruzhependishorskaya suite: intercalated limestone with chlorite-sericite and carbonaceous-sericite schist and limestone gravelites; 8 — Kozhim and Ustzyb retinues combined: clay limestone, calcareous sandstones, dolomitic limestone; 9 — Saladen Formation: green gravelites, sandstones, silty clay shale, calcareous sandstones and sandy limestones; 10 — Obaiz suite: quartz conglomerates, sandstones, siltstones, silty clay shale; 11 — porphyry metarioliths of the Sablegorsk rhyolite-basalt complex; 12 — faults; 13 — Rucheynoye occurrence of shungite-like carbon

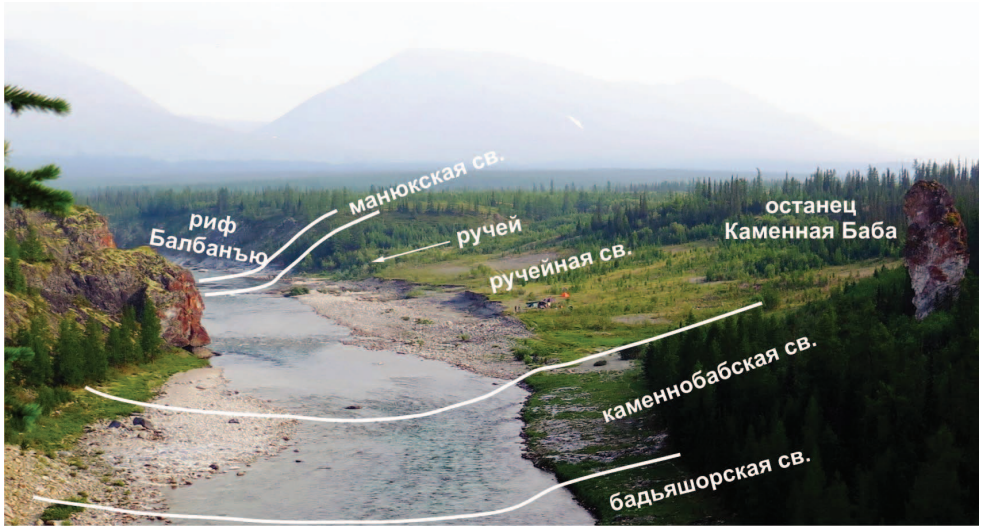


Рис. 2. Общий вид Ручейного проявления шунгитоподобного углерода. Границы свит показаны по [1]
Fig. 2. General view of the Rucheynoye occurrence of shungite-like carbon. The suite boundaries are shown by [1]

В тектоническом плане проявление находится на северном замыкании Балбанъюской синклинали в области смыкания Западного Народинского разлома и Малдинского надвига. Эти дизъюнктивы являются рудоконтролирующими и рудоносными для ряда золоторудных, полиметаллических и кварцевых проявлений и месторождений Малдинской золоторудной зоны и Кожимского рудного района. Вмещающая описываемое проявление ручейная свита представлена темно-серыми слоистыми среднетонкоплитчатыми кремнистыми мелкозернистыми вторичными доломитами. В южной части проявления породы часто окварцованы, образуют небольшие складки и флексурообразные изгибы, участками интенсивно дислоцированы.

Доломиты содержат стяжения черных кремней линзовидной, реже плитчатой и неправильной формы, ориентированные согласно слоистости. Как в доломитах, так и в кремнистых стяжениях отмечается редкая рассеянная микроскопическая вкрапленность пирита, замещающего органические остатки или образующего параморфозы по двойникам марказита. Черный цвет конодонтов в описываемых породах, определенный П. Мянником (P. Mannik) [8], по индексу цветовой окраски соответствует 5 баллам, что свидетельствует о величине термального воздействия в 300 °С. Этот факт вкупе с наблюдаемой в доломитах прожилковой перекристаллизацией позволяет говорить о преобразовании пород в условиях ранних фаций метагенеза.

Породы свиты характеризуются низкими содержаниями органического углерода (0.14–0.45 мас. %) и битумоидов (0.0018—0.0051 мас. %), обычным для морских карбонатов изотопным составом углерода ($\delta^{13}C$ (PDB) –0.41...1.23 ‰) и кислорода ($\delta^{18}O$ (SMOW) 25.30–29.65 ‰), повышенными содержаниями Pb, Cu, V (0.0n–0.00n мас. %) и Sc (0.n–0.0n мас. %).

Характерной чертой пород ручейной свиты в пределах южной части проявления является развитие системы ветвящихся, преимущественно субсогласных слоистости пород жилок и беспорядочной сетки трещин кливажа и зонок катаклаза, выполненных белым доломитом. Реже встречаются секущие эпигенетические зональные альпийские кальцит-(кварц)-доломитовые, мусковит-доломит-кальцит-кварцевые жилки и участки катаклаза и брекчий с кальцит-доломитовым или доломит-кальцит-кварцевым цементом (рис. 3). На стенки минерализованных и зияющих трещин нарастают друзовидные агрегаты кристаллов доломита, иногда, в свою очередь, обрастающие призматическими кристалломорфными выделениями ШУ. Осевые части жилок могут быть выполнены кальцитом, редко кварцем. В кальцитовом цементе брекчий установлены также единичные минеральные фазы, соответствующие по составу галениту, халькозину, сульваниту и монациту. Все эти факты являются следствием процессов постскладчатой внутриразломной тектоники, сопровождаемых гидротермальным минералообразованием. Близкий к вмещающим доломитам изотопный состав углерода и кислорода кальцита и доломита из жилок и цемента катаклазитов и брекчий ($\delta^{13}C$ (PDB) –2.06...1.12 ‰; $\delta^{18}O$ (SMOW) 24.54—27.40 ‰) позволяет предполагать отсутствие ювенильного источника гидротермальных растворов.

Таким образом, в становлении жильной минерализации южной части проявления можно выделить две стадии. На ранней стадии произошло образование системы субсогласных жилок, минерализованных трещин кливажа и катаклазитов доломитового состава, обусловленное пликативными деформациями.

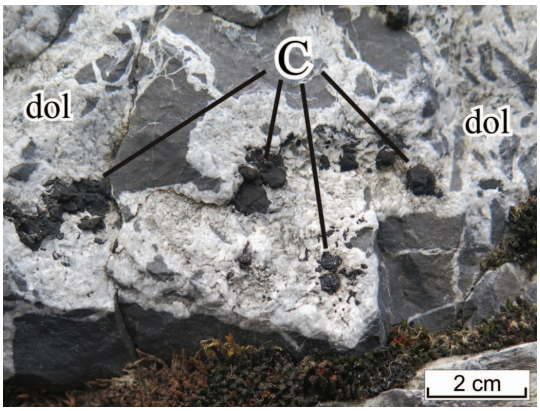


Рис. 3. Участок брекчирования в доломитах ручейной свиты с кальцит-доломитовым цементом. С — выделения шунгитоподобного углерода, dol — доломит
Fig. 3. Brecciated district in dolomites of the Rucheynaya suite with calcite-dolomite cement. C — excretions of shungite-like carbon (SHLC); dol — dolomite

Формирование дискордантных слоистости кварц-карбонатных жилок, катаклазитов, брекчий и рудной минерализации, связанное с внутриразломной дизъюнктивной тектоникой, сопровождаемой гидротермальными процессами, логичнее отнести к поздней стадии. Данные события, вероятнее всего, явились отражением тектонической активизации в ходе позднепалеозойского орогенеза.

Диагностика и свойства углеродного вещества проявления

Рентгеновская дифрактограмма УВ проявления Ручейное приведена на рис. 4. Она имеет характерный для слабоупорядоченных УВ вид: присутствуют три широких малоинтенсивных пика, положение дифракционных максимумов которых близко к положению дифракционных отражений графита d_{002}, d_{100} и d_{110} соответственно. Межплоскостное расстояние d_{002} составляет 0.348 нм. По рентгеноструктурным характеристикам УВ проявления Ручейное идентично, как показано на вставке рис. 4, и высшим антраксолитам, и шунгитовому углероду Карелии.

Диагностика образцов углеродистого вещества методом рамановской спектроскопии из музейной коллекции В. В. Буканова [11] и отобранных в ходе полевых исследований в 2017 г. показала, что их спектры по своим основным параметрам — отношению интенсивностей основных полос D1 (> 1), 2D (> 1.5) и D4 (< 0.1) к полосе G, полуширине D1-полосы (50—65 $см^{-1}$), положению G-полосы (1588—1595 $см^{-1}$) и виду отражения второго порядка — соответствуют спектрам образцов жильного УВ основных проявлений карельских шунгитов — Шуньгского, Максовского, Чеболакшского и др. (рис. 5). Несколько неожиданным оказалось, что значительная часть дисперсного УВ, окрашивающего доломитовые породы и кремнистые стяжения в черный цвет, также по спектроскопическим характеристикам соответствует ШУ (рис. 5).

В отраженном свете отчетливо видно агрегатное строение выделений ШУ, характеризующихся серой, коричнево-серой до светло-серовато-желтой гаммой цветов. Отражательная способность составляет около 15 %. Двуотражение очень высокое, анизотропия в воздухе при скрещенных николях также очень сильна, цветовые эффекты при этом весьма умеренные. Внутренние рефлексы не наблюдались. По перечисленным параметрам изученные выделения ШУ схожи с графитом [6]. Однако в отличие от последнего они достаточно хорошо полируются.

По данным В. В. Буканова [3], исследовавшего вещество относительно крупных (до 2 см) каплевидных выделений, твердость микровдавливания их неполированной поверхности составила 2.5—2.7 $кгс/мм^2$, удельный вес — 1.85—1.93 $г/см^3$, общее содержание влаги — 4.35 мас. %, зольность — 0.99 мас. %. Химическим анализом установлен следующий элементный состав этих образований (в мас. %): C — 95.15, H — 0.86, N — 0.37, S — 3.57, O — 0.05. Изотопный состав $\delta^{13}C$ (PDB) варьировал от −23.98 до −23.75 ‰. Изученные нами образцы из коллекции этого исследователя по элементному и изотопному составу принципиально не отличаются от вышеприведенных (в мас. %) C — 91.0; O — 4.0; S — 4.5 [9]; $\delta^{13}C$ (PDB) — от −25.31 до −24.85 ‰ (среднее по 4 анализам −25.15 ‰). Микрозондовые исследования собственных образцов ШУ не выявили значимых концентраций примесей, кроме Mg, Ca и Cl, не превышающих первых десятых долей процента и связанных с влиянием карбонатной матрицы (Mg, Ca) и, вероятно, эпоксидной смолы препарата (Cl). Содержания основных компонентов близки к вышеприведенным результатам химических анализов (среднее по 19 замерам в четырех образцах, в мас. %): C — 93.1; O — 2.1; S — 4.6.

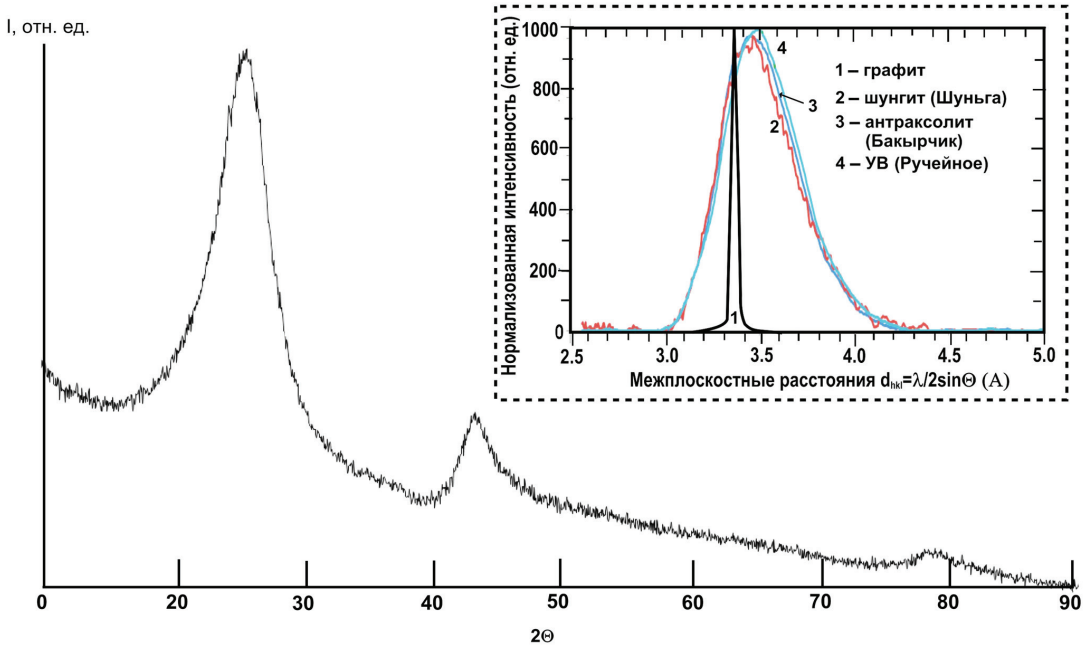


Рис. 4. Типичная рентгеновская дифрактограмма макровыделений УВ проявления Ручейное. На вставке — сравнение нормализованных по интенсивности пиков, соответствующих отражению d_{002} графита, для жильного шунгитового углерода (Шуньга), высшего антраксолита золоторудного месторождения Бакырчик (Казахстан) и УВ проявления Ручейное

Fig. 4. X-ray diffractogram of the macroscopic excretions of the CS of Rucheynoe occurrence. The inset shows a comparison of the peaks normalized in intensity, corresponding to the d_{002} reflection of graphite, for veined shungite carbon (Shunga), the higher anthraxolite of the Bakyrchik gold deposit (Kazakhstan) and the CS of the Rucheynoe occurrence

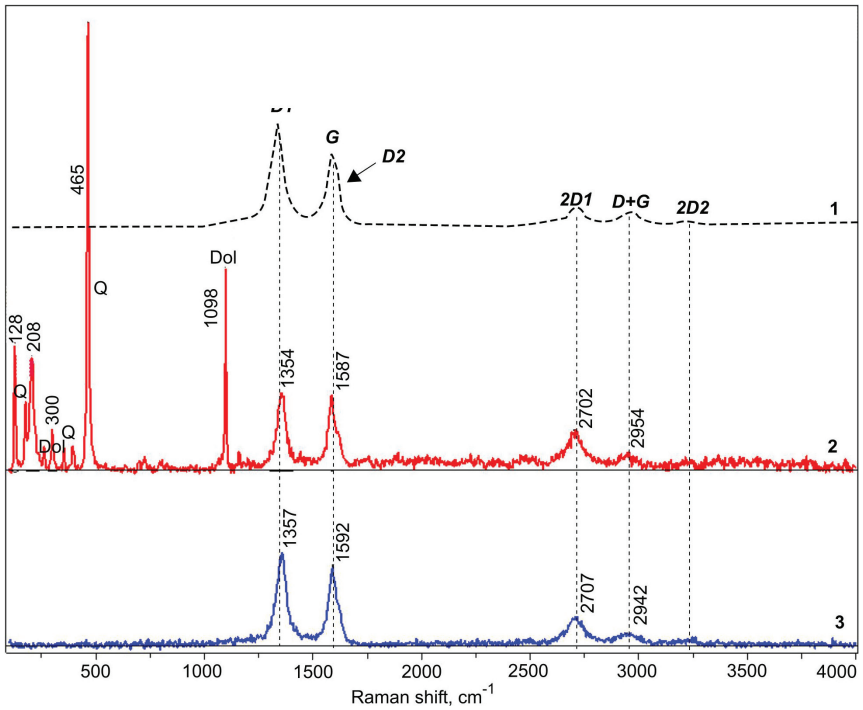


Рис. 5. Типичные рамановские спектры шунгитового углерода Карелии (1), макровыделений углеродного вещества в составе жильной минерализации (2) и дисперсного углеродного вещества во вмещающих доломитах и кремнистых стяжениях (3) проявления Ручейное

Fig. 5. Typical Raman spectra of shungite carbon of Karelia (1), macroexcretions of carbon substance from the vein mineralization (2) and dispersed carbon substance in the host dolomite and siliceous concretions (3) of the Rucheynoye occurrence

Формы нахождения и морфология углеродистого вещества

В изученных обнажениях визуально определяемые выделения ШУ обнаружены в южной части проявления в цементе катаклазитов и брекчий доломитового, кальцит-доломитового состава в виде единичных образований или небольших скоплений чёрного цвета каплевидной (рис. 6, А), проволоковидной, призматической, червеобразной (рис. 6, В) или неправильной угловатой (рис. 3) формы размером до 2 см в поперечнике, а также в виде тонких прерывистых цепочек призматических образований в осевых частях доломитовых прожилок. Частота их встречаемости составляет в среднем одно относительно крупное выделение или скопление на 10 м^2 обнажения. На старых сколах, корродированных поверхностях доломитов и на стенках каверн выделения ШУ характеризуются ярким или тусклым смоляным блеском, на свежих сколах он матовый и отличим от обломков вмещающих доломитов в жильном матриксе только более низкой твердостью и отсутствием реакции с соляной кислотой.

Основное количество УВ на всей площади проявления находится в виде субмикронной импрегнации в зернах породообразующих минералов и в контактовом цементе доломитов (рис. 7, А) и кремнистых стяжений, окрашивая их в черный цвет. Реже концентрируется в линзовидных и угловатых агрегациях, на контактах с окремненными и окварцованными участками в доломитах, образует тонкие плёнки на границах участков перекристаллизации и выполняет стилолитовые швы (рис. 7, В).

Изучение макровыделений ШУ в шлифах установило значимые отличия в морфологии этих образований, развитых в составе прожилковой минерализации

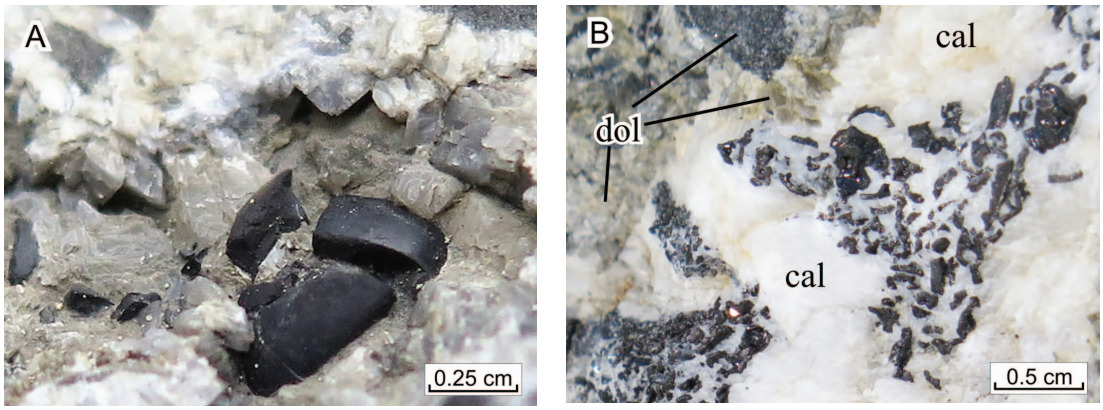


Рис. 6. Формы визуально определяемых выделений ШУ: А — раздробленное каплевидное выделение ШУ в кальцитовом цементе; В — скопление выделений ШУ в кальцит-доломитовом цементе

Fig. 6. Forms of visually observed SHLC excretions: A — crushed drop-shaped SHLC excretion in calcite cement; B — accumulation of SHLC excretions in calcite-dolomite cement

и цементе катаклазитов и брекчий. В первом случае ШУ чаще всего образует тонкие прерывистые жилки и цепочки толщиной от сотых до первых десятых долей миллиметра в осевых частях прожилок (рис. 8, A) или в виде призматических образований и их агрегатов обрастает грани кристаллов доломита в кальцит-доломитовых альпийских жилках (рис. 8, B). При этом кальцит, как правило, выполняет осевые зонки, завершая процесс формирования жилок. Кроме того, по данным рамановской спектроскопии, сами кристаллы доломита, в отличие от кальцита, практически всегда содержат дисперсную примесь ШУ, что объясняет их серый цвет в режиме проходящего света.

В цементе катаклазитов и брекчий образования ШУ имеют большие размеры. Обычно это обломки агрегатов и относительно крупных жилок в кальцит-доломитовом или кальцитовом матриксе с отчетливо зональным строением, обусловленным сопряжением сублинейных зон с микрозернистой, параллельно-шестоватой, реже перистой текстурами с обычно ровными контрастными границами (рис. 9, A). Реже встречаются целые выделения, имеющие самую разнообразную форму — от субизометричной и призматической до червеобразной (рис. 9, B) и футлярообразной (рис. 9, C). Они обладают более однородным фрагментарно-зональным сочетанием участков перистых, пятнистых сферолитоподобных текстур. Редко наблюдаемые внутренние полости выполнены исключительно кальцитом (рис. 9, D).

Необходимо отметить, что почти ни в одном из изученных макровыделений ШУ не выявлено минеральных включений. Исключение составляет халцедоновидное кремнистое вещество, изредка диагностируемое в виде микрочешуйчатых обособлений в краевых частях некоторых относительно крупных зерен (рис. 10) или в форме тонких прерывистых пленок на их поверхности. Важно также, что выделения ШУ в срастаниях с кварцем отмечены только в кремнистых стяжениях (рис. 8, A).

Обсуждение результатов

Приведенные наблюдения свидетельствуют, что образование макровыделений ШУ в доломитах ручейной свиты парагенетически связано с формированием кальцит-доломитовой минерализации. С кварцем такая связь установлена только в его прожилках в кремнистых конкрециях. Исходя из анализа текстурно-структурных характеристик ШУ, можно предположить, что его эволюция шла в направлении от агрегации рассеянного вещества в микрозернистые пористые агрегаты в сторону их постепенного уплотнения и «раскристаллизации», проявленной в развитии перечисленных выше зональных структур. Условия становления и эволюции макровыделений ШУ до сих пор

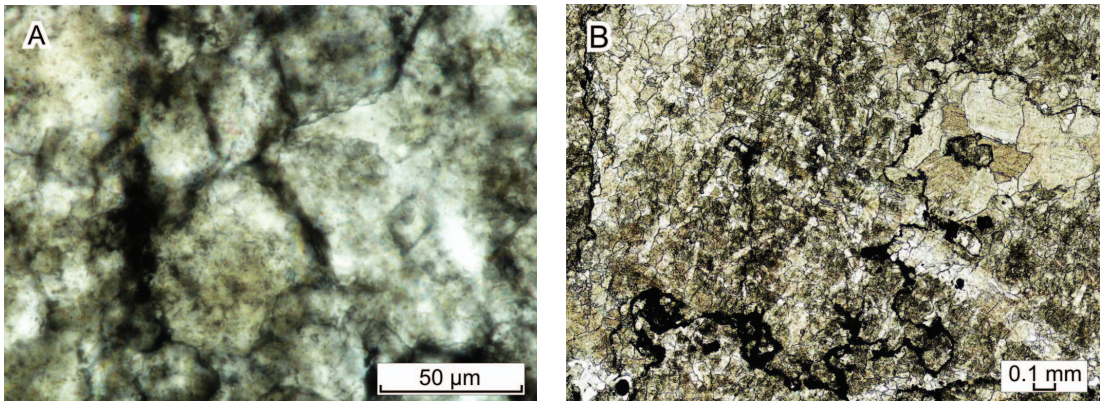


Рис. 7. Формы нахождения дисперсного ШУ (чёрное) в доломитах (проходящий свет, николи параллельны): A — в кристаллах доломита и контактовом цементе; B — в стилолитовых швах

Fig. 7. Forms of dispersed SHLC (black) in dolomites (transmitted light, nicols are parallel): A — in dolomite crystals and contact cement; B — in styllolitic juncture

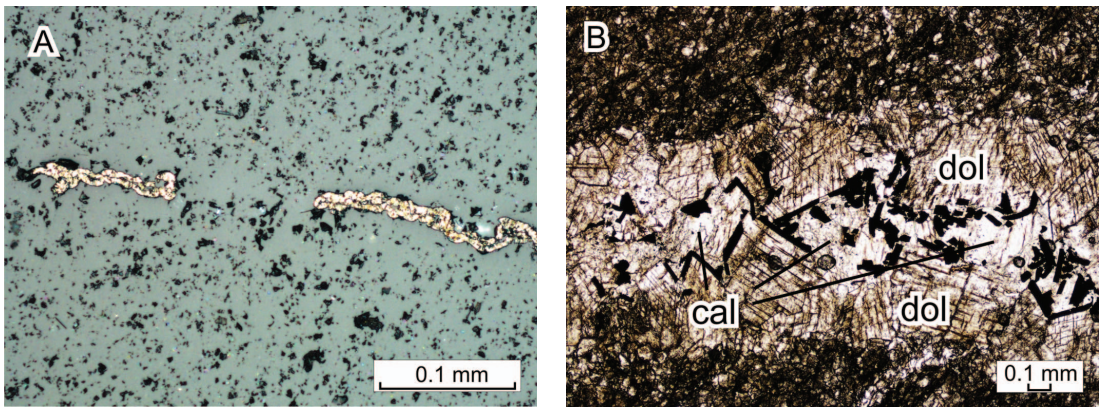


Рис. 8. Выделения ШУ в составе кальцит-доломитовых прожилок: A — прерывистая жилка ШУ в кварцевой прожилке кремнистой конкреции (отраженный свет, николи параллельны); B — обрастание кристаллов доломита призматическими выделениями ШУ в альпийской кальцит-доломитовой прожилке

Fig. 8. SHLC structures in the composition of the calcite-dolomitic streak: A — a discontinuous SHLC veinlet in the quartz streak of a siliceous concretion (reflected light, nicols are parallel); B — fouling of dolomite crystals with prismatic excretions of SHLC in the Alpine calcite-dolomite streak

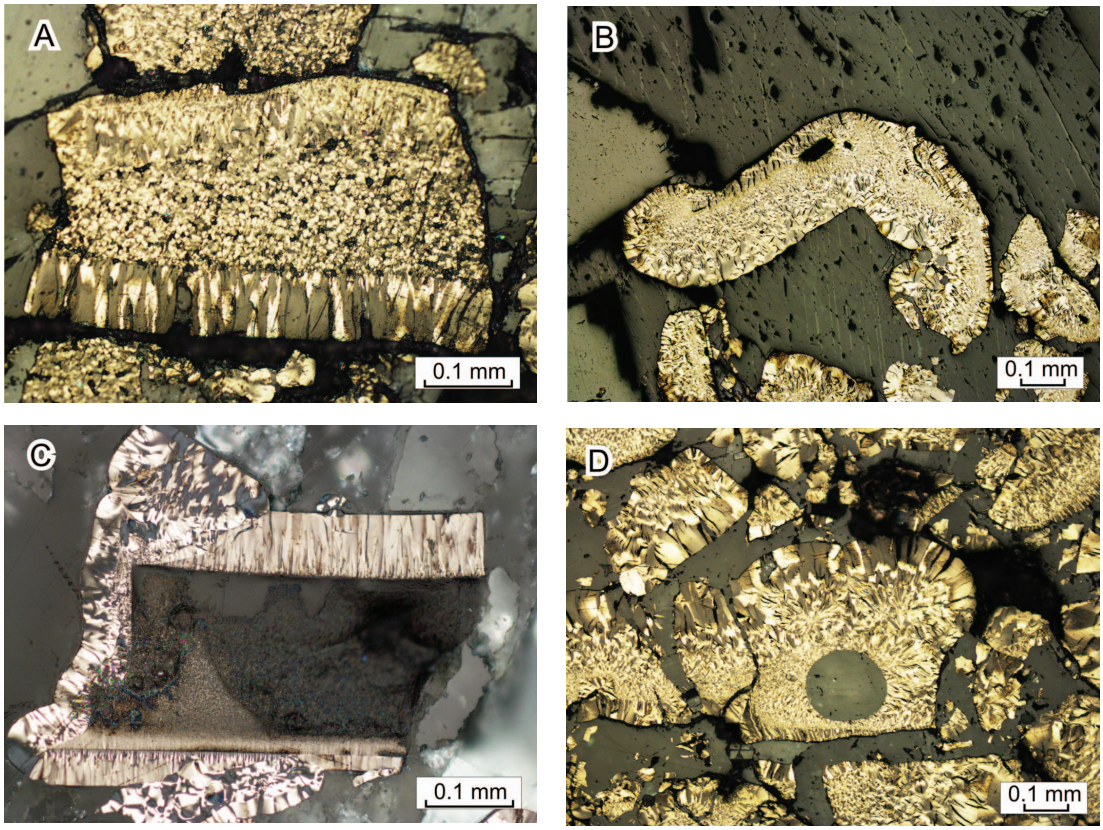


Рис. 9. Форма выделений ШУ в составе кальцитового цемента катаклазитов и брекчий (отраженный свет, николи параллельны): A — обломок зональной жилки; B — червеобразное выделение; C — футлярообразный обломок жилки; D — катаклазированные выделения; круглая полость в центральном зерне выполнена кальцитом

Fig. 9. The shape of SHLC structures in the calcite cement of cataclasites and breccias (reflected light, nicols are parallel): A — is a fragment of the zonal vein; B — worm-like excretions; C — case-shaped fragment of the vein; D — cataclassed excretions with calcite-filled round cavity in the central grain

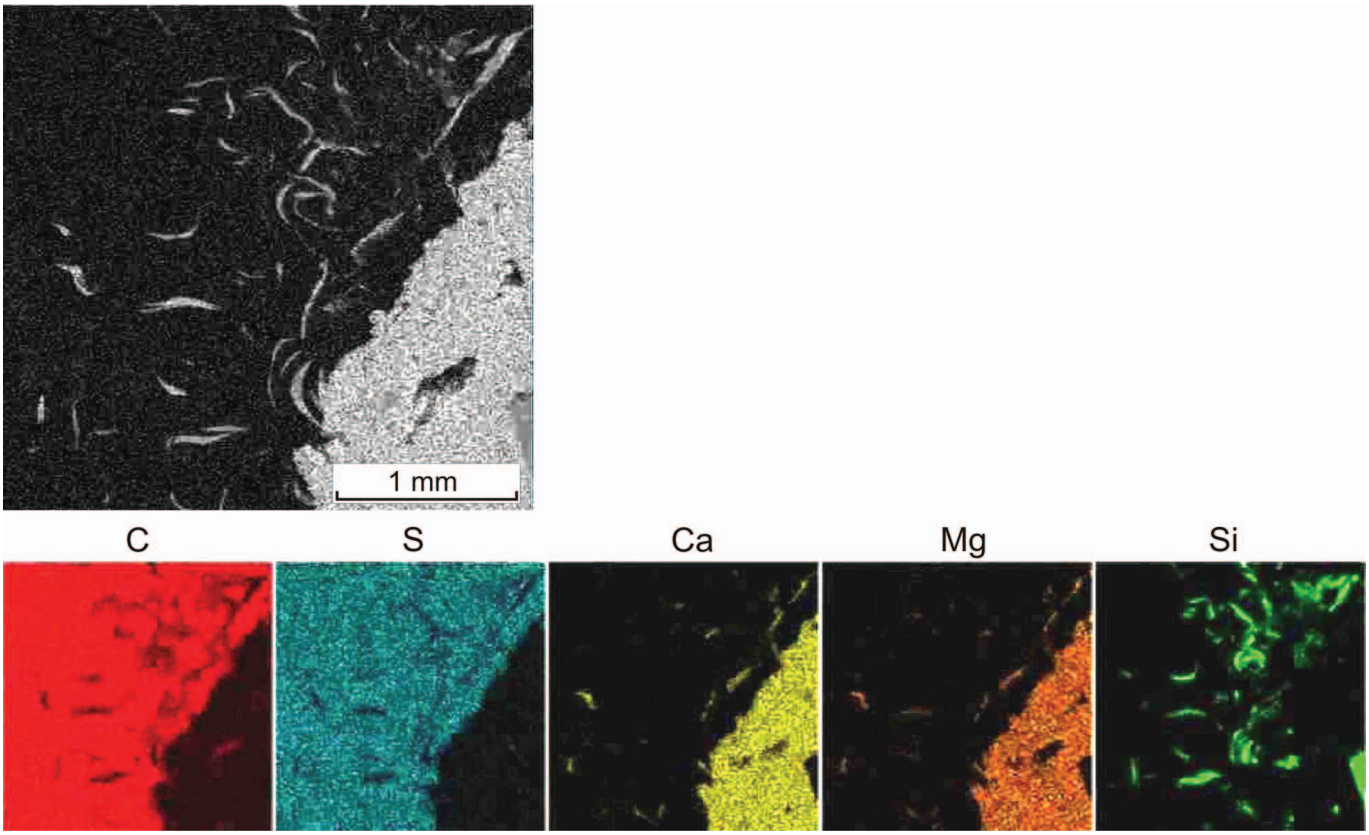


Рис. 10. Распределение элементов в области контакта крупного выделения ШУ с доломитом цемента кальцит-доломитовой брекчии (Tescan VEGA 3LMN, характеристическое рентгеновское излучение)

Fig. 10. The distribution of elements in the area of contact of large SHLC structures with dolomite of calcite-dolomite cement breccia (Tescan VEGA 3LMN, characteristic X-rays)

остаются дискуссионными и требуют дополнительных исследований.

Одним из наиболее примечательных результатов проведенных исследований, на наш взгляд, является выявление широкого развития ШУ во вмещающих жильную минерализацию доломитах и кремнистых стяжениях ручейной свиты. Присутствие ШУ не только в межзерновом пространстве, но и внутри породообразующих зерен доломита позволяет предполагать, что первичной формой нахождения углеродного вещества в породе были жидкие углеводороды. Минимальные температура и давление метаморфизма осадочных пород, при которых в них зафиксировано появление углеродных веществ, по своим физико-химическим свойствам соответствующим высшему антраксолиту, оценивается в 300 °С и 300 МПа [7, 9], что отвечает PT-параметрам начальных фаций метагенеза. Подобные условия в рассматриваемой части Урала могли реализоваться не ранее поздней перми, когда мощность вышележащих пород достигала 8 км, что обеспечивало литостатическое давление примерно в 240 МПа, а температура, судя по окраске конодонтов, составляла около 300 °С. Своё влияние мог оказать и позднепалеозойский орогенез, приведший в конце перми — начале триаса к стрессовому метаморфизму пород при складкообразовании.

Таким образом, формирование ШВ Ручейного проявления происходило, вероятнее всего, в позднепермско-раннетриасовом временном интервале.

Заключение

Выявлено широкое развитие УВ на проявлении Ручейное в нижнесилурийских доломитах на р. Кожим на Приполярном Урале — не только в виде макровыделений в составе жильной минерализации, но и во вмещающих доломитах. Установлено соответствие УВ проявления Ручейное шунгитовому углероду Карелии по структурно-спектральным характеристикам и составу. Это первый и пока единственный на Урале подобный объект. Основные формы нахождения углеродного вещества представлены макровыделениями размером до нескольких сантиметров, а также субмикронной импрегнацией в зернах породообразующих минералов, в линзовидных и угловатых агрегациях, на контактах с окварцованными участками в доломитах. В жильных телах макровыделения шунгитоподобного углерода обнаруживают парагенетическую связь с кальцит-доломитовой минерализацией.

Очевидно, что условия образования проявления Ручейное не являются уникальными. Распространенность подобных объектов должна быть значительно шире. Для создания прогнозно-поисковой модели этого нового для региона вида минерального сырья необходимы дальнейшие исследования по определению термодинамических и геохимических условий формирования ШУ.

Работа выполнена в рамках темы НИР ИГ Коми НЦ УрО РАН на 2018—2020 гг. ГР № АААА-А17- 117121270036-7. Авторы выражают признательность С. И. Исаенко за проведение анализа на рамановском спектрометре, И. В. Смолевой за изотопные исследования, А. И. Антошкиной, В. А. Салдину, А. В. Журавлеву и В. И. Силаеву за полезные консультации. Исследования выполнены с использованием оборудования ЦКП «Геонаука» ИГ Коми НЦ УрО РАН.

Литература

1. *Антошкина А. И.* Нижний палеозой верховьев р. Кожим, Приполярный Урал // Изучение, сохранение и использование объектов геологического наследия северных регионов (Республика Коми): Материалы науч.-практ. конф. Сыктывкар: Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 2007. С. 65–67.

2. *Борисов П. А.* Карельские шунгиты. Петрозаводск, 1956. 92 с.

3. *Буканов В. В.* Горный хрусталь Приполярного Урала. Л.: Наука. 1974. 212 с.

4. *Голубев Е. А., Сокерин М. Ю., Сокерина Н. В.* Шунгитоподобный углерод на Приполярном Урале // Современные проблемы теоретической, экспериментальной и прикладной минералогии (Юшкинские чтения — 2018). Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. С. 133—134.

5. Государственная геологическая карта Российской федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Уральская серия — Лист Q-41 (Воркута). Объяснительная записка. СПб.: Изд-во СПб. картфабрики ВСЕГЕИ, 2005.

6. *Рамдор П.* Рудные минералы и их срастания. М.: Иностранная литература, 1962. 1142 с.

7. *Филиппов М. М.* Антраксолиты СПб.: ВНИГРИ, 2013. 296 с.

8. *Antoshkina A.* Late Ordovician-Early Silurian facies development and environmental changes in the Subpolar Urals // Lethaia, Vol. 41, 2008. P. 163–171.

9. *Beyssac O., Goffй B., Chopin C., Rouzaud J.-N.* Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer. // J. Metamorphic Geol., 2002. V. 20, 859–871.

10. *Chou N. H, Pierce N., Lei Y, Perea-Lypez N., Fujisawa K., Subramanian S., Robinson J. A, Chen G., Omichi K., Rozhkov S. S., Rozhkova N. N., Terrones M, Harutyunyan A. R.* Carbon-rich shungite as a natural resource for efficient Li-ion battery electrodes // Carbon. 2018. V. 130. pp. 105–111.

11. *Golubev Ye. A., Isaenko S. I., Prikhodko A. S., Borgardt N. I., Suvorova E. I.* Raman spectroscopic study of natural nanostructured carbon materials: shungite vs. anthraxolite // European Journal of Mineralogy. 2016. Vol. 28. N. 3. P. 545–554.

12. *Kovalevski V. V., Buseck P. R., Cowley J. M.* Comparison of carbon in shungite rocks to her natural carbons: an X-ray and TEM study // Carbon. 2001. V. 39. pp. 243–256.

13. *Kovalevski V. V., Prikhodko A. V., Buseck P. R.* Diamagnetism of natural fullerene-like carbon // Carbon 2005. V. 43. pp. 401–405.

14. *Moshnikov I. A., Kovalevski V. V.* Electrophysical properties of shungites at low temperatures // Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics. 2016. V. 1. Pp. 214–219.

15. *Sheka E. F., Golubev E. A.* Technical graphene (reduced graphene oxide) and its natural analog (shungite) // Technical Physics. 2016. V. 61. pp. 1032–1038.

16. *Sheka E. F., Rozhkova N. N.* Shungite as loosely packed fractal nets of graphene-based quantum dots // Int. J. Smart Nano Mat. 2014. V. 5(1). pp1–16.

17. *Tamburri E, Carcione R, Politi S, Angjellari M, Lazzarini L, Vanzetti LE, Macis S, Pepponi G, Terranova ML.* Shungite Carbon as Unexpected Natural Source of Few-Layer Graphene Platelets in a Low Oxidation State // Inorg Chem. 2018. V. 57(14). pp. 8487–8498.

References

1. Antoshkina A.I. *Nizhniy paleozoy verhovyev r. Kozhim, Pripolarnyi Ural (Lower Paleozoic upper reaches of the Kozhim River). Izuchenie, sohranenie I ispolsovanie obyektov geologicheskogo naslediya severnyh regionov (Respublika Komi)* (Study, preservation and use of objects of geological heritage of northern regions (Komi

Republic)): Proceedings of conference. Syktyvkar, Institute of geology Komi SC UB RAS, 2007, pp. 65–67.

2. Borisov P.A., *Karelskie shungity* (Karelian shungites). Petrozavodsk, 1956, 92 pp.

3. Bukanov V.V. *Gornyi hrustal Pripolarnogo Urala* (Rock crystal of Subpolar Urals). Leningrad: Nauka, 1974, 212 pp.

4. Golubev E.A., Sokerin M.Yu., Sokerina N.V. *Shungitopodobnyi uglerod na Pripolarnom Urale* (Shungite-like carbon in Subpolar Urals). Yushkin Memorial Seminar – 2018. Syktyvkar, Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018, pp. 133–134.

5. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tretye pokoleniye). Uralskaya seriya — List Q-41 (Vorkuta). Obasnitelnaya zapiska* (State geological map of Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). Ural series – Sheet Q-41. St. Petersburg: VSEGEI, 2005.

6. Ramdor P. *Rudnyye mineraly i ikh srastaniya* (Ore minerals and their accretions). Moscow: Inostrannaya literatura, 1962, 1132 pp.

7. Filippov M. M. *Antraksolity* (Anthraxolites). St. Petersburg: VNIGRI, 2013, 296 pp.

8. Antoshkina A. Late Ordovician-Early Silurian facies development and environmental changes in the Subpolar Urals. Lethaia, V. 41, 2008, pp. 163—171.

9. Beyssac O., Goffй B., Chopin C., Rouzaud J.-N. Raman spectra of carbonaceous material in metasediments: a new geothermometer. J. Metamorphic Geol., 2002, V. 20, 859—871.

10. Chou N. H, Pierce N., Lei Y, Perea-Lypez N., Fujisawa K., Subramanian S., Robinson J. A, Chen G., Omichi K., Rozhkov S. S., Rozhkova N. N., Terrones M, Harutyunyan A. R. Carbon-rich shungite as a natural resource for efficient Li-ion battery electrodes. Carbon. 2018, V. 130, pp. 105—111.

11. Golubev Ye. A., Isaenko S. I., Prikhodko A. S., Borgardt N. I., Suvorova E. I. Raman spectroscopic study of natural nanostructured carbon materials: shungite vs. anthraxolite. European Journal of Mineralogy, 2016, V. 28, No. 3, pp. 545–554.

12. Kovalevski V. V., Buseck P. R., Cowley J. M. Comparison of carbon in shungite rocks to her natural carbons: an X-ray and TEM study. Carbon, 2001, V. 39, pp. 243–256.

13. Kovalevski V. V., Prikhodko A. V., Buseck P. R. Diamagnetism of natural fullerene-like carbon. Carbon, 2005, V. 43, pp. 401–405.

14. Moshnikov I. A., Kovalevski V. V., Electrophysical properties of shungites at low temperatures. Nanosystems: Physics, Chemistry, Mathematics, 2016, V. 1, pp. 214–219.

15. Sheka E.F., Golubev E.A., Technical graphene (reduced graphene oxide) and its natural analog (shungite). Technical Physics. 2016, V. 61, pp. 1032–1038.

16. Sheka E.F., Rozhkova N.N., Shungite as loosely packed fractal nets of graphene-based quantum dots. Int. J. Smart Nano Mat, 2014, V. 5(1), pp1–16.

17. Tamburri E, Carcione R, Politi S, Angjellari M, Lazzarini L, Vanzetti LE, Macis S, Pepponi G, Terranova ML. Shungite Carbon as Unexpected Natural Source of Few-Layer Graphene Platelets in a Low Oxidation State. Inorg Chem. 2018, V. 57(14), pp. 8487–8498.

УДК 549.8: 616 DOI: 10.19110/2221-1381-2019-4-38-41

ХИРАЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В УРОЛИТАХ

В. И. Каткова, С. Н. Шанина

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
katkova@geo.komisc.ru, shanina@geo.komisc.ru

Исследования последних лет показали увеличение содержания D-аминокислот в белках различных тканей организма человека в процессе старения. Известно, что значительные изменения баланса L- и D-аминокислот наблюдаются при различных патологических процессах. Одной из часто встречаемых патологий у человека является уролитиаз, генезис которого до сих пор вызывает много вопросов.

Цель данной работы — выявление D-форм аминокислот в уролитах и сравнительный анализ их содержаний в зависимости от минерального состава мочевых камней и возраста человека. Изучено 19 проб уролитов моно- и полиминерального состава, в которых идентифицированы уэеллит, уэдделлит, струвит, ньюбериит, мочевая кислота, карбонатгидроксилапатит. Возраст людей, предоставивших патогенные образования, составлял 22–75 лет.

Для выделения индивидуальных аминокислот из уролитов применялся кислотный гидролиз в 6М HCl при 105 °С в течение 12 часов. Идентификация и количественное определение энантиомеров аминокислот выполнялись методом газожидкостной хроматографии (хроматограф GC-17A, Shimadzu, колонка Chirasil-L-Val).

В изученных уролитах D-формы установлены для трех аминокислот: аланина, аспарагиновой кислоты и глутаминовой кислоты. Результаты исследований показали, что существует связь между отношением D- и L-аминокислот и минеральной составляющей уролитов. Отмечается, что максимальные содержания D-аспарагиновой кислоты характерны для оксалатсодержащих камней. Высказывается предположение о влиянии оксалат-ионов на степень рацемизации аспарагиновой кислоты в патогенных биоминеральных образованиях.

Ключевые слова: *уролиты, L- и D-аминокислоты, аспарагиновая кислота, биоминерал.*

CHIRAL CONNECTIONS IN UROLITES

V. I. Katkova, S. N. Shanina

Institute of Geology SC UB RAS, Syktyvkar

Recent studies have shown increasing in the content of D-amino acids in the proteins of various tissues of the human body in the process of aging. It is known that significant changes in the balance of L- and D-amino acids are observed in various pathological processes. One of the most common pathologies in the human is urolithiasis, in the genesis of which there are still many questions.

The purpose of this work is to identify D-forms of amino acids in uroliths and a comparative analysis of their contents depending on the mineral composition of urinary stones and human age. 19 samples of uroliths of mono- and polymineral composition were studied, in which whewellite, weddellite, struvite, newberiite, uric acid, carbonate-hydroxylapatite were identified. The chronological age of people who provided pathogenic biominerals was 22–75 years.

Acid hydrolysis in 6 M HCl at 105 °C for 12 hours was used to isolate individual amino acids from uroliths. Identification and quantification of the enantiomers of amino acids was carried out by gas chromatography (chromatograph GC-17A, Shimadzu, column Chirasil-L-Val).

In the studied uroliths, D-forms are established for three amino acids: alanine, aspartic acid, and glutamic acid. Research results have shown that there is a relationship between the ratio of D and L amino acids and the mineral component of uroliths. It is noted that the maximum content of D-aspartic acid is characteristic of oxalic stones. In the presence of impurities of calcium oxalate crystals (wevellite and or weddellite) in phosphate and urate uroliths, elevated values of D-Asp are observed. In this connection, an assumption was made about an increase in the degree of racemization of the aspartic acid in the presence of oxalic acid ions in pathogenic biomineral formations.

Keywords: *uroliths, L- and D-enantiomers, amino acids, aspartic acid, biomineral.*

Введение

Придавая большое значение асимметрии живого вещества, Л. Пастер считал ее именно той единственной разграничивающей линией, которую можно провести между живой и неживой природой, то есть тем, что отличает живое вещество от неживого. Высказанное предположение является актуальным в настоящее время при решении проблем биоминеральных взаимодействий, происхождения предбиологических молекул и для понимания процессов старения на молекулярном уровне. Биомакромолекулы (аминокислоты, сахара, нуклеиновые кислоты и фосфолипиды) обладают хиральностью, то есть зеркально-антиподобным свойством.

Считалось, что все живые организмы содержат и используют в своей жизнедеятельности только L-аминокислоты, а наличие и функции D-аминокислот долгое время оставались неустановленными. Последние исследования показали, что D-аминокислоты широко распространены в тканях живых организмов, в том числе и человека. Было установлено, что D-аспарагиновая кислота, в частности, обнаружена в хрусталике, головном мозге, костях, эритроцитах, зубах и в других органах и системах. Определены специфические функции D-форм отдельных аминокислот в здоровом организме [4, 5].

Известно, что количественное соотношение L- и D-энантиомеров изменяется в процессе жизнедеятельности организма. D-аминокислоты поступают в организм млекопитающих с пищей, образуются при метаболизме кишечной флоры, а также в результате спонтанной рацемизации аминокислот при биосинтезе и старении. При старении происходит рацемизация L-аминокислот с переходом их в D-форму в белках, причем в наибольшей степени подвержена этому процессу аспарагиновая кислота. Считается, что скорость рацемизации аминокислот в пептидах значительно выше, чем свободных аминокислот. Согласно В. А. Твердислову и его соавторам (2007), процессы рацемизации, в частности аспарагиновой кислоты, проходят без участия фер-

ментов. Единичная замена аминокислотных остатков на их D-изомеры может приводить как к полной потере функциональности белков, так и к снижению активности ферментов. В обзорной работе [5] показано, что при некоторых психосоматических заболеваниях (шизофрения, болезнь Альцгеймера и Паркинсона), наблюдаются значительные изменения уровня некоторых D-аминокислот — D-Ser, D-Ala, D-Asp — в плазме крови, сером и белом веществе головного мозга и спинномозговой жидкости. Найдена положительная корреляция между концентрацией D-аминокислот и маркерами почечных заболеваний.

Влияние процессов рацемизации аминокислот в организме человека при уролитиазе на уровень концентрации D-форм в уролитах остается неизученным.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа концентраций D-аминокислот в уролитах, формирующихся в организме человека, и выявление зависимости соотношения D- и L-энантиомеров от возраста человека и минеральных фаз в составе патогенных биоминеральных образований.

Фактический материал и методы исследований

Изучено 19 проб уролитов (см. таблицу), минеральный состав которых определен методами рентгеновской дифрактометрии и ИК-спектроскопии. Идентифицированы следующие минеральные фазы: уэвеллит ($CaC_2O_4 \cdot H_2O$), уэдделлит ($CaC_2O_4 \cdot 2H_2O$), струвит ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$), ньюбериит ($MgHPO_4 \cdot 3H_2O$), мочевая кислота ($C_5H_4N_4O_3$), карбонатсодержащий апатит-(CaOH) [1]. Возраст людей с уролитиазом составлял 22–75 лет.

Анализировались L- и D-изомеры 13 аминокислот: аланина (Ala), валина (Val), изолейцина (Ile), лейцина (Leu), аспарагиновой кислоты (Asp), глутаминовой кислоты (Glu), треонина (Thr), серина (Ser), фенилаланина (Phe), тирозина (Tyr), пролина (Pro), лизина (Lys) и метионина (Met).

Для извлечения аминокислот из белковой составляющей применяли кислотный гидролиз в 6M HCl при 105 °C в течение 12 часов. Выделенные из гидролизата аминокислоты очищали от примесей и переводили в N-пентафторпропионовые изопропиловые эфиры соответствующих аминокислот. Идентификация и определение содержания аминокислот в образцах выполнены на газовом хроматографе GC-17A (Shimadzu, капиллярная колонка Chirasil-L-Val). Подробно методика описана в статье [3].

Результаты и обсуждение исследований

Содержание и распределение аминокислот в изученных уролитах подробно описаны в работе [1]. Анализ белковой составляющей уролитов позволил выделить отдельные аминокислоты, доминирование которых специфично для конкретного типа уролитов: в оксалатных наблюдаются относительно высокие концентрации аланина и пролина, в фосфатных — лизина, а в уратных — глицина и тирозина.

В результате проведенных исследований D-формы были выявлены только для трех аминокислот: аланина, аспарагиновой кислоты и глутаминовой кислоты.

Установлено, что для *оксалатсодержащих* образцов (уэвеллита и уэдделлита) характерен высокий показатель D/L для Asp, тогда как D-Glu и D-Ala, часто являющиеся маркерами жизнедеятельности микроорганизмов, установлены только в некоторых образцах и имеют низкие содержания (см. таблицу). В литературе имеются данные показателей соотношений D/L-Asp в эмали в зависимости от возраста коренных зубов [9], а также в дентине с учетом фактического возраста человека [8, 11]. Поскольку уролиты не относятся к долгоживущим образованиям in vivo, в отличие от зубов и костей, это наводит на мысль о влиянии оксалат-ионов (щавелевой кислоты) на ускорение процесса рацемизации аспарагиновой кислоты в патогенных биоминеральных образованиях.

В фосфатных уролитах значение D/L-Asp меняется от 0.010 до 0.099. Выявлено, что повышенные концентрации D-Asp характерны для фосфатных уролитов, в составе которых наряду с апатитом содержится уэвеллит. Биоминеральные образования, состоящие только из апатита или струвита, имеют пониженный уровень D-Asp.

Кроме того, в струвитсодержащих образцах зафиксированы высокие показатели отношений D/L-Glu (0.095–0.106). Формирование фосфатных уролитов издавна связывали с проникновением бактериальной инфекции в мочевыводящие органы. Пептидогликаны, входящие в состав клеточной стенки бактерий, можно рассматривать как один из источников связанных D-Glu и D-Ala [6]. В связи с этим присутствие их в белковой составляющей может свидетельствовать об участии микроорганизмов в генезисе фосфатных биоминералов (струвита, апатита).

В *мочекислых* уролитах отношения D/L-Asp меняются от 0 до 0.089 (см. таблицу). При этом в уролитах, содержащих только мочевую кислоту, концентрация D-Asp значительно ниже, чем в образцах, содержащих примеси солей щавелевой кислоты (уэвеллита и уэдделлита). На основе полученных данных можно предположить, что на содержание L-Asp в белковой составляющей оказывает влияние присутствие оксалат-ионов в патогенных твердых образованиях. В данном типе уролитов не обнаружены D-Glu и D-Ala. Результаты исследований наводят на мысль о генетической специфике кристаллических образований органического состава изученных уролитов, формирование которых часто связано с метаболическими нарушениями в организме человека.

Источником D-аминокислот в уролитах, на наш взгляд, могут быть урина, компоненты микробиальной клеточной стенки с цитоплазмой и протеом уролитов, представляющий многообразный спектр белков. Как связанные с пептидами, так и свободные D-аминокислоты, в частности D-Asp, D-Ser и D-Ala, в избытке содержатся в моче и сыворотке крови [6]. D-Asp найден во фрагментах коллагена типа I в моче пожилых людей. У трех здоровых добровольцев в 24-часовых пробах урины наибольшие количества были определены для D-Ser (64–199 моль/день) и D-Ala (24–138 моль/день). В среднем от 0.4 до 1.1 г свободных аминокислот ежедневно выделяется с мочой здорового взрослого человека [6]. На экскрецию D-стереоизомеров в физиологических жидкостях влияет возраст, рацион питания, физиологическое состояние и антибиотикотерапия [10].

Ранее при исследовании количественного содержания L- и D-форм аспарагиновой кислоты в эма-

Соотношение D/L энантиомеров аминокислот в белковой составляющей уролитов, сформированных в организме человека
D/L ratio of enantiomers of amino acids in the protein component of uroliths, formed in the human body

Уролиты Uroliths	№ образца Sample No.	Биоминералы Biominerals	Возраст индивида, г Age of individual	D/L Asp	D/L Glu	D/L Ala
Оксалатные Oxalate	19 к	уэвеллит \ whewellite	?	0.053	0	0
	58	уэдделлит \ whedellite	22	0.03	0	0.014
	59	уэвеллит, уэдделлит whewellite, whedellite	70	0.081	–//–	–//–
	79	уэвеллит whewellite	60	0.085	–//–	0.032
	87	–//–	69	0.152	0.037	0.038
Фосфатные Phosphate	46	апатит, уэвеллит apatite, whewellite	45	0.099	0.059	0.025
	48	–//–	50	0.074	0.034	0.01
	51	апатит, уэвеллит, струвит apatite, whewellite, struvite	56	0.082	0.095	0.032
	52	апатит,	53	0.039	0.024	0.031
	53	струвит apatite, struvite	42	0.051	0.106	0.002
	69	–//–	24	0.01	0	0.012
	35	струвит, уэвеллит struvite, whewellite	35	0.061	0.124	0
	47	ньюбериит \ newberyite	?	0.042	0.022	0.002
Мочекислые Urate	29 к	мочевая кислота \ uric acid	?	0.056	0	0
	45	–//–	75	0	–//–	–//–
	54	–//–	56	0.039	–//–	–//–
	61	мочевая кислота, уэвеллит uric acid, whewellite	53	0.089	–//–	–//–
	72	мочевая кислота uric acid	55	0.046	–//–	–//–
	77	–//–	64	0	–//–	–//–

Примечание: ? — нет данных возраста
Note: ? — no data on age

ли была установлена положительная корреляция между коэффициентом рацемизации и возрастом человека [8, 9, 10]. Исследования показали, что D-аспарагиновая кислота в эмали после 60 лет может составлять до 8 % всей аспарагиновой кислоты. В настоящее время анализ содержания D-аспарагиновой кислоты в долгоживущих тканях (зубы, кости) считается надежным методом оценки возраста человека в развитых странах [7, 8, 11].

В нашем случае отсутствие представительной выборки камнеобразователей не позволяет достоверно говорить о влиянии возраста на степень рацемизации аспарагиновой кислоты в мочевых камнях. Однако следует отметить, что в изученных уролитах самые низкие отношения D/L-аспарагиновой кислоты также установлены у людей, чей возраст составляет 22 и 24 года.

Выводы

Таким образом, показано, что концентрация D-энантиомеров в составе органической составляющей в патогенных биоминералах зависит от состава минеральной фазы. В оксалатсодержащих уролитах отмечены значительные изменения баланса L- и D-формы Asp. Уровень аспарагиновой кислоты повышен в фосфатных и мочекислых уролитах в присутствии оксалатионов, и напротив, пониженные концентрации D-Asp наблюдаются в тех случаях, когда они имеют мономинеральный состав. Полагаем, что ионы щавелевой кислоты оказывают влияние на степень рацемизации аспарагиновой кислоты в патогенных биоминеральных образованиях. Содержание D-изомеров в уролитах обусловлено частичной рацемизацией L-аминокислот на одноименные D-аминокислоты деятельностью микроорганизмов и составом органической составляющей урины.

Исследования выполнены при частичной финансовой поддержке проекта УрО РАН № 18-5-5-44 «Процессы и механизмы минералообразования, надмолекулярной организации минерального вещества, комплексной переработки минерального сырья и формирования наноструктурированных материалов».

Аналитические исследования выполнялись в ЦКП «Геонаука».

Литература

1. *Каткова В. И., Амосова О. Е., Шанина С. Н.* Скрытые биомаркеры процессов минералообразования в генезисе уролитов // Вестник Кольского научного центра РАН. 2018. № 4. С. 17–24.

2. *Твердислов В. А., Яковенко Л. В., Жаворонков А. А.* Хиральность как проблема биохимической физики // Российский химический журнал. 2007. Т. LI. № 1. С. 13–22.

3. *Шанина С. Н., Голубев Е. А.* Аминокислоты в шунгитах Карелии // Геохимия. 2010. № 9. С. 972–987.

4. *Червяков А. В.* Нарушение молекулярной асимметрии аминокислот (D\L-энантиомеры) при нормальном старении // Асимметрия. 2010. Т. 4. № 2. С.78–117.

5. *Червяков А. В., Захарова М. Н., Пестов Н. Б.* Роль D-аминокислот в патогенезе нейродегенеративных заболеваний и при нормальном старении // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2014. Том 8. № 2. С. 51–58.

6. *Brückner H., Schieber A.* Determination of amino acid enantiomers in human urine and blood serum by gas chromatography-mass spectrometry // Biomedical Chromatography, 2001.№ 15. P. 166–172.

7. *Griffin R. C., Moody H., Penkman K .E. H., Collins M. J.* The application of amino acid racemization in the acid soluble fraction of enamel to the estimation of the age of human teeth // Forensic Science International, 2008. V. 175. P. 11–16.

8. *Hassan Q., Jaleel A., Bashir Z., Jajja N., Tarar U. M., Haider S., Zehra L.* Amino acid recemization in human dentine as an estimator of chronological age // Pakistan Journal of Medicine and Dentistry, 2014. V. 3. P. 3–11.

9. *Helfman P. M, Bada J. L.* Aspartic acid racemization in tooth enamel from living humans // Biochemistry, 1975. V. 72. No. 8. P. 2891–2894.

10. *Oancea S., Formaggio F.* Biological role of d-a-amino acids and their occurence in foodstuffs // Food technology, 2008. V. XII. № 1. P. 3–18.

11. *Ohtani S, Yamamoto T.* Cases of age estimation from human teeth // J. Forensic Sciences, 2010. V. 55. No. 6. P. 1630–1633.

References

1. Katkova V. I., Amosova O. Ye., Shanina S. N. *Skrytyrye biomarkery protsessov mineraloobrazovaniya v genezise urolitov* (Latent biomarkers of mineral-forming processes in the urolith genesis). Vestnik of the Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Apatity: GI, 2018, No. 4, pp. 17–24.

2. Tverdislov V. A., Yakovenko L. V., Zhavoronkov A. A. *Khiral'nost' kak problema biokhimicheskoy fiziki* (Chirality as a problem of biochemical physics). Russian Chemical Journal, 2007, V. LI., No. 1, pp. 13–22.

3. Shanina S. N., Golubev Ye. A. *Aminokisloty v shungitakh Karelii* (Amino acids in shungite of Karelia). Geochemistry, 2010, No. 9, pp. 972–987.

4. Chervyakov A. V. *Narusheniye molekulyarnoy asimmetrii aminokislot (d\l- enantiomery) pri normal'nom starenii* (Violation of molecular asymmetry of amino acids (d \ l-enantiomers) with normal aging). Asymmetry, 2010, V. 4, No. 2, pp. 78–117.

5. Chervyakov A. V., Zakharova M. N., Pestov N. B. *Rol' D-aminokislot v patogeneze neyrodegenerativnykh zabolevaniy i pri normal'nom starenii* (The role of D-amino acids in the pathogenesis of neurodegenerative diseases and in normal aging). Annals of Clinical and Experimental Neurology, 2014, V. 8, No. 2, pp. 51–58.

6. Brückner H., Schieber A. Determination of amino acid enantiomers in human urine and blood serum by gas chromatography-mass spectrometry. Biomedical Chromatography, 2001, No. 15, pp. 166–172.

7. Griffin R. C., Moody H., Penkman K .E. H., Collins M. J. The application of amino acid racemization in the acid soluble fraction of enamel to the estimation of the age of human teeth. Forensic Science International, 2008, V. 175, pp. 11–16.

8. Hassan Q., Jaleel A., Bashir Z., Jajja N., Tarar U. M., Haider S., Zehra L. Amino acid recemization in human dentine as an estimator of chronological age. Pakistan Journal of Medicine and Dentistry, 2014, V. 3, pp. 3–11.

9. Helfman P. M, Bada J. L. Aspartic acid racemization in tooth enamel from living humans. Biochemistry, 1975, V. 72, No. 8, pp. 2891–2894.

10. Oancea S., Formaggio F. Biological role of d-a-amino acids and their occurrence in foodstuffs. Food technology, 2008, V. XII, No. 1, pp. 3–18.

11. Ohtani S, Yamamoto T. Cases of age estimation from human teeth. J. Forensic Sciences, 2010, V. 55, No. 6, pp. 1630–1633.

УДК 553.43.5:549.08+622.7.017 DOI: 10.19110/2221-1381-2019-4-42-48

МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ВЫБОРА ТЕХНОЛОГИИ ПЕРЕРАБОТКИ РУД РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ

Е. Г. Лихникевич, Е. Г. Ожогина, А. С. Фатов

ВИМС им. Н. М. Федоровского, Москва

likhnikeevich@mail.ru; vims-ozhogina@mail.ru; infiniti400@mail.ru

Данные о минеральном составе исходного сырья и продуктов его химико-металлургической переработки с диагностикой всех минеральных фаз, количественной оценкой их содержания, форм нахождения в исследуемом продукте полезного компонента позволяют прогнозировать выбор технологии извлечения полезных компонентов, а также технологические показатели переработки руд. В качестве потенциальных источников циркониевой, ниобиевой, редкоземельной продукции рассматриваются руды Томторского и Чуктуконского месторождений, Алгаминского рудопроявления. Приведены различные пирогидрометаллургические схемы переработки минерального сырья.

Ключевые слова: *технологическая минералогия, гидрометаллургические технологии, пирометаллургические технологии, спекание, выщелачивание.*

MINERALOGICAL CRITERIA FOR THE SELECTION OF RARE METALS ORE PROCESSING TECHNOLOGY

E. G. Likhnikevich, E. G. Ozhogina, A. S. Fatov

VIMS, Moscow, Russia

Data on mineral composition of initial raw materials and products of chemical-metallurgical processing with diagnostics of all mineral phases, quantitative assessment of contents, occurrence forms of a useful component in the studied product allowed to predict the choice of technology for extraction of useful components, as well as technological indicators of ore processing. The potential sources of zirconium, niobium and rare-earth products were ores of the Tomtorskoe deposit, the Chuktukonskoye deposit and the Algamin ore occurrence. Various pyro-hydrometallurgical schemes of processing of mineral raw materials were presented.

Keywords: *technological mineralogy, hydrometallurgical technologies, pyrometallurgical technologies, sintering, leaching.*

Введение

Производство редких металлов составляет основу передовых высокотехнологичных производств как гражданского, так и оборонного значения. В мире прогнозируется кратное увеличение потребления редких металлов в связи с развитием цифровой экономики, производства альтернативных источников энергии, новых конструкционных материалов, перспективных систем вооружения.

По запасам большинства редких металлов Россия занимает одно из ведущих мест в мире, однако разрабатываются всего 4 месторождения: Ловозерское (Ta, Nb, TR), Павловское (угли, Ge), Ковдорское (P, Fe, попутный Zr), Далматовское (U, попутный Sc). Большая часть редких металлов импортируется: литиевое сырье и циркон, феррониобий, бериллиевые и рениевые товарные продукты, танталовые порошки, большая часть редкоземельной продукции и др. [1]. Сформированный в стране масштабный минерально-сырьевой потенциал редких металлов не реализуется. Зависимость промышленности от импорта редких металлов является фактором риска национальной безопасности и развития отечественной промышленности.

Развитие редкометалльной отрасли в России связано прежде всего с созданием эффективных комплексных технологий переработки руд редких металлов, базирующихся на достоверной информации о их вещественном составе. Поэтому целью статьи является выявление минералогических критериев руд Томторского, Чуктуконского месторождений и Алгаминского рудопроявления комплексом физических методов, позволяющих прогнозировать оптимальные гидрометаллургические технологии их переработки.

Объекты и методы исследований

В качестве потенциальных источников циркониевой, ниобиевой, редкоземельной продукции рассматриваются руды Томторского и Чуктуконского месторождений, а также Алгаминского рудопроявления.

Редкометалльные руды, в том числе и руды рассматриваемых объектов, в большинстве своем имеют переменный гранулярный состав, размер рудных минералов и агрегатов в них преимущественно менее 0.0074 мм, нередко присутствуют тонкодисперсные полиминеральные образования, сформированные зернами рудных минералов микронанометрического размера. Сложный минеральный состав руд определяется одновременным присутствием полезных минералов разных парагенезисов, нередко встречающихся в ассоциации друг с другом и породообразующими фазами. Не менее важным является присутствие в рудах минералов изоморфных рядов, например минералов группы крандаллита или пирохлора и т. д.

Томторский массив ультраосновных щелочных пород и карбонатитов расположен на северо-восточном склоне Анабарского кристаллического щита на севере Сибирской платформы. В пределах массива отмечаются линейные коры выветривания, развитые в основном по периферии массива, и площадные двух морфологических типов: плащевидная и веритикальная, различающиеся по геологическому строению, вещественному составу и рудоносности.

Чуктуконское месторождение расположено в пределах юго-западной части Сибирской платформы и приурочено к Чадобецкому куполовидному поднятию. Месторождение охватывает два карбонатитовых массива (северный и южный), имеющих штокообразную форму и вмещающих редкоземельно-ниобиевое оруденение, связанное с остаточными латеритными корами выветривания [11].

Рудопроявление Алгама расположено на периферии крупного Ингилийского массива, находящегося в районе Восточного Алдана, и сложено породами ультращелочной карбонатитовой формации.

Изучение вещественного состава руд редких металлов и продуктов их передела осуществлялось комплексом методов минералогического и химического анализов. Ведущими минералогическими методами являются оптическая микроскопия, ренгенографический и рентгенотомографический анализы. Минералого-аналитические работы выполнены в соответствии с методическими документами научных советов по методам минералогических и аналитических исследований (НСОММИ, НСАМ).

Результаты и обсуждения

Для полного комплексного использования сырья при разработке технологических гидро- и пирометаллургических схем прежде всего необходима достоверная информация о минеральном составе исходного сырья и продуктов его химико-металлургической переработки с диагностикой всех минеральных фаз, в том числе формы нахождения в исследуемом продукте полезного компонента (собственная минеральная фаза, изоморфное вхождение в структуру минерала), количественной оценкой их содержания [14, 15].

Значительную роль при химической переработке руд играют минералы породообразующего комплекса — их состав, количественные соотношения — поэтому необходимо иметь четкое представление о характере фазовых преобразований, претерпеваемых минералами, чтобы оценить влияние этих преобразований на технологические показатели [2, 10, 13].

Максимально полная минералогическая информация о редкометалльных рудах, учитывающая индивидуальные особенности руд конкретных объектов, позволяет прогнозировать их поведение в технологических процессах и, следовательно, выбрать оптимальные технологии их переработки [8, 9].

Особенностью руды Томторского месторождения является высокая дисперсность, тесное взаимное срастание минеральных фаз и связь одного и того же полезного компонента с несколькими рудными и породообразующими минералами. Пирохлор — главный минерал ниобия — образует отдельные кристаллы, обломки, а также агрегаты зерен размером от 1 мкм до 0.5 мм. В руде минерал распределен неравномерно в виде сыпи и гнездовидной вкрапленности в цементирующей массе алюмофосфатов. Главной особенностью пирохлора при гипергенном преобразовании является изоморфное замещение кальция и натрия на стронций, барий и свинец (рис. 1) [4].

Монацит представлен цериевой разновидностью, образует агрегаты в виде пятен, микропрожилков, линзовидных выделений в алюмофосфатной массе. Встречаются гидратированные разновидности.

Минералы группы крандаллита представлены минералами с переменным содержанием редких земель (гояцит, горсейксит, флоренсит, крандаллит). Являясь главными минералами руды, по существу, они выполняют роль цемента и представлены моно- и чаще полиминеральными агрегатами.

Минералогические особенности руд: гранулярный состав, одновременное присутствие нескольких полезных минералов, нередко имеющих разные формы выделения, тесные срастания полезных минералов между

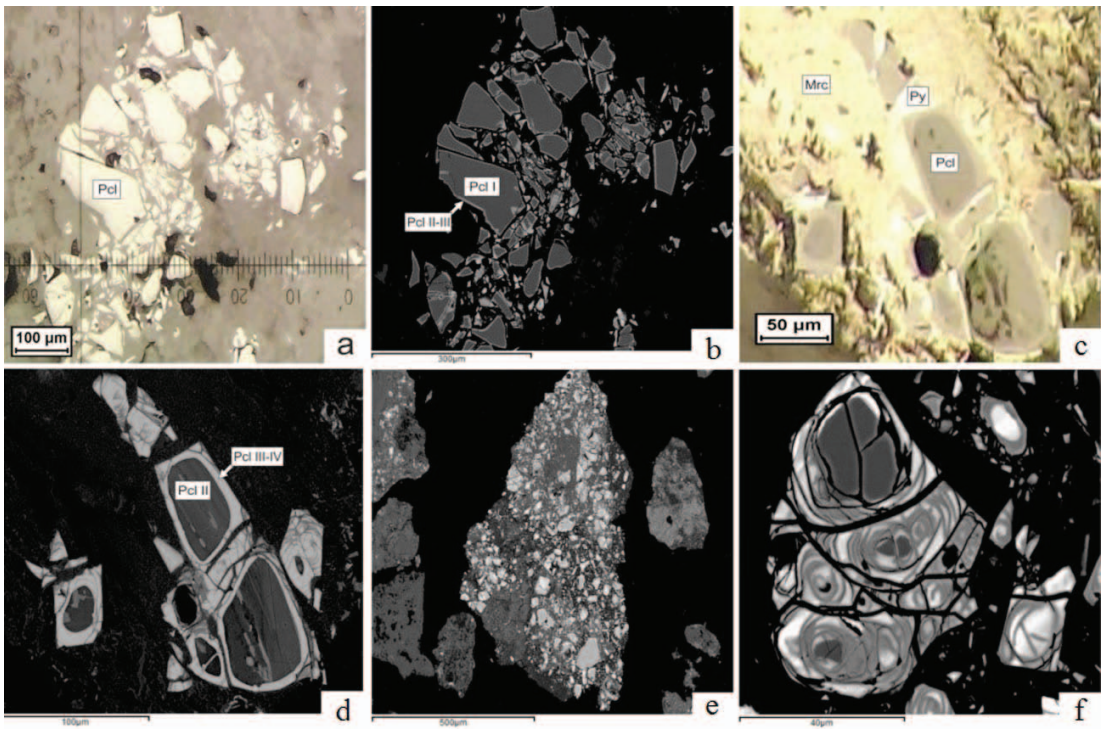


Рис. 1. Внутреннее строение пирохлора: a — дезинтеграция крупных кристаллов на мелкие блоки; b — начальная стадия преобразования пирохлора I, выражающаяся в появлении тонкой оторочки пирохлора II-III; c, d — зональное строение зерен; e — пирохлоровый песок, сцементированный минералами группы крандаллита; f — скорлуповато-концентрическая отдельность. a, c — отраженный свет, николи параллельны; b, d, e, f — изображения в обратнорассеянных электронах

Fig. 1. The internal structure of pyrochlore: a — disintegration of large crystals into small blocks; b — the initial stage of the conversion of pyrochlore I, expressed in the appearance of a thin rim of pyrochlore II–III; c, d — zonal structure of grains; e — pyrochloric sand, cemented by minerals gr. crandallite; f — shell-concentric separation; a, c — reflected light, nicols are parallel; b, d, e, f — images in back-scattered electrons

собой и с породообразующими фазами, склонность к искусственной сегрегации — позволяют считать эти руды практически необогатимыми.

Для разработки эффективной технологии получения комплекса всех ценных компонентов требуемого промышленностью качества выполнен комплекс исследований поведения основных рудных минералов при взаимодействии их (с учетом опыта промышленной переработки ниобиевых и монацитовых концентратов) с растворами гидроксида натрия.

Установлено, что в присутствии фосфат-ионов, основными носителями которых в рудах являются монацит и минералы группы крандаллита, выщелачивание их раствором гидроксида натрия сопровождается практически полным растворением фосфорсодержащих минералов и конверсией фосфатов РЗЭ в их гидроксиды с переходом фосфора в щелочной раствор в виде Na_3PO_4, поскольку уменьшается концентрация свободной щелочи в растворе и затрудняется разложение пирохлора, который не претерпевает изменений даже в условиях повышенных температур и концентраций гидроксида натрия [7].

Последующая кислотная обработка щелочного кека обеспечивает получение продуктивного раствора для извлечения РЗЭ. При этом ниобий концентрируется в нерастворимом остатке в виде пирохлорового концентрата, переработка которого может быть осуществлена сульфатизацией или выщелачиванием смесью раствора фтористо-водородной и серной кислот при повышенных температурах, что сопровождается практически полным разрушением структуры пирохлорового концентрата и переходом ниобия в зависимости от использованного реагента в растворимые сернокислые, либо комплексные фтористые соединения (рис. 2).

Главными рудными минералами руды Чуктуконского месторождения являются оксиды и гидроксиды железа (гётит, гематит) и марганца (пиролюзит, псиломелан). Минералы редких земель представлены минералами группы крандаллита, в частности флоренситом и монацитом. Ниобиевую минерализацию несут минералы группы пирохлора, представленные стронциевой, бариевой и цериевой разновидностями, что связано с изоморфными замещениями в структуре минерала. Железистые минералы по содержанию значительно превалируют над пирохлором и монацитом (рис. 3) [12].

Руды практически не обогатимы гравитационными и флотационными методами вследствие переменного гранулярного состава и нередко высокой дисперсности всех слагающих минералов, образования сложных типов срастаний гидроксидов железа с пирохлором, монацитом, тонких срастаний с минералами

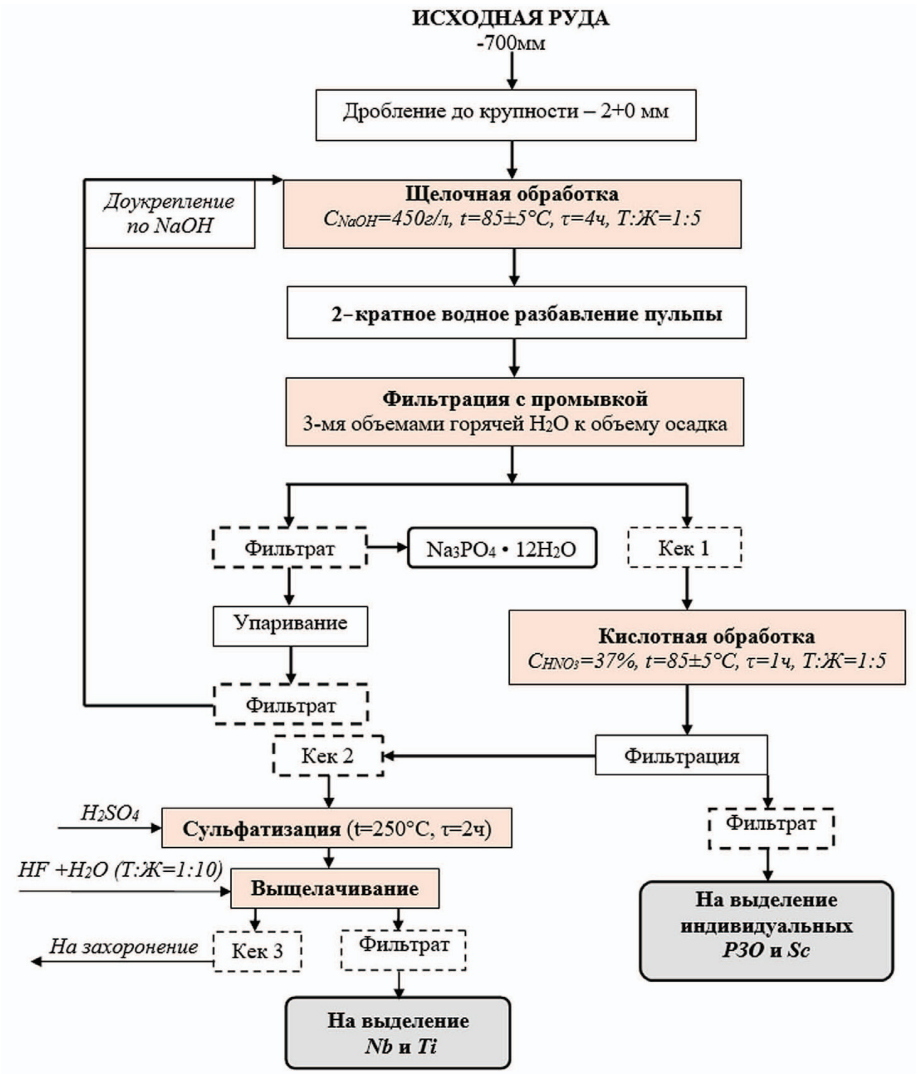


Рис. 2. Технологическая схема переработки пирохлор-монацит-крандаллитовых руд Томторского месторождения

Fig. 2. Technological scheme of processing of pyrochlore-monazite-crandallite ores of the Tomtorskoe deposit

группы крандаллита, повышенной хрупкости пирохлора и склонности его к переизмельчению.

Одной из наиболее важных задач, которая решается на стадии гидрометаллургической переработки пирохлор-монацит-гётитовых руд, является отделение редкоземельных металлов от фосфора и железа. Удаление фосфора и железа из раствора достигается проведением процесса в автоклавных (гидротермальных) условиях при 200–230 °С, что способствует более селективному концентрированию фосфора и железа в нерастворимом остатке в результате термогидролиза и позволяет уже на следующей стадии использовать эффективное извлечение и очистку РЗЭ из обесфосфоренных азотнокислых растворов экстракцией трибутилфосфатом (рис. 4) [6].

Циркониевые руды Алгаминского рудопроявления характеризуются одновременным присутствием двух главных циркониевых минералов, встречающихся

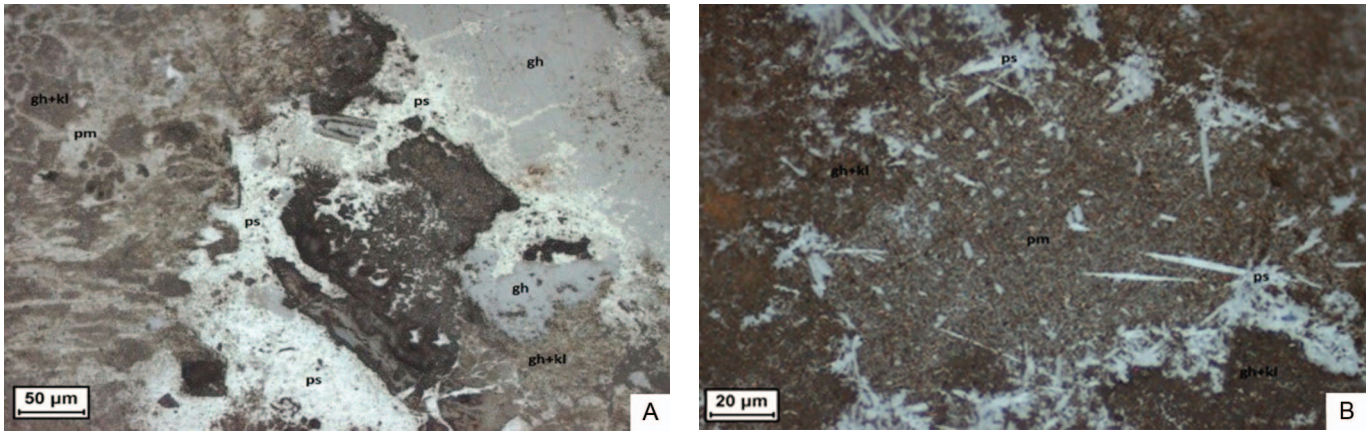


Рис. 3. А — тонкие срастания псиломелана (pm) с гётитом (gt) и каолинитом (kl) в левой части снимка; замещение гётита пиролюзитом (ps) в центральной и правой частях снимка; В — тесные срастания пиролюзита с псиломеланом, гётитом и каолинитом. Отраженный свет, николи параллельны

Fig. 3. A — thin healing of psilomelane (pm) with goethite (gt) and kaolinite (kl) in the left part of the image replacement of goethite with pyrolusite (ps) in the central and right part of the images; B — close intergrowth of pyrolusite with psilomelane, goethite and kaolinite. Reflected light, nicols are parallel

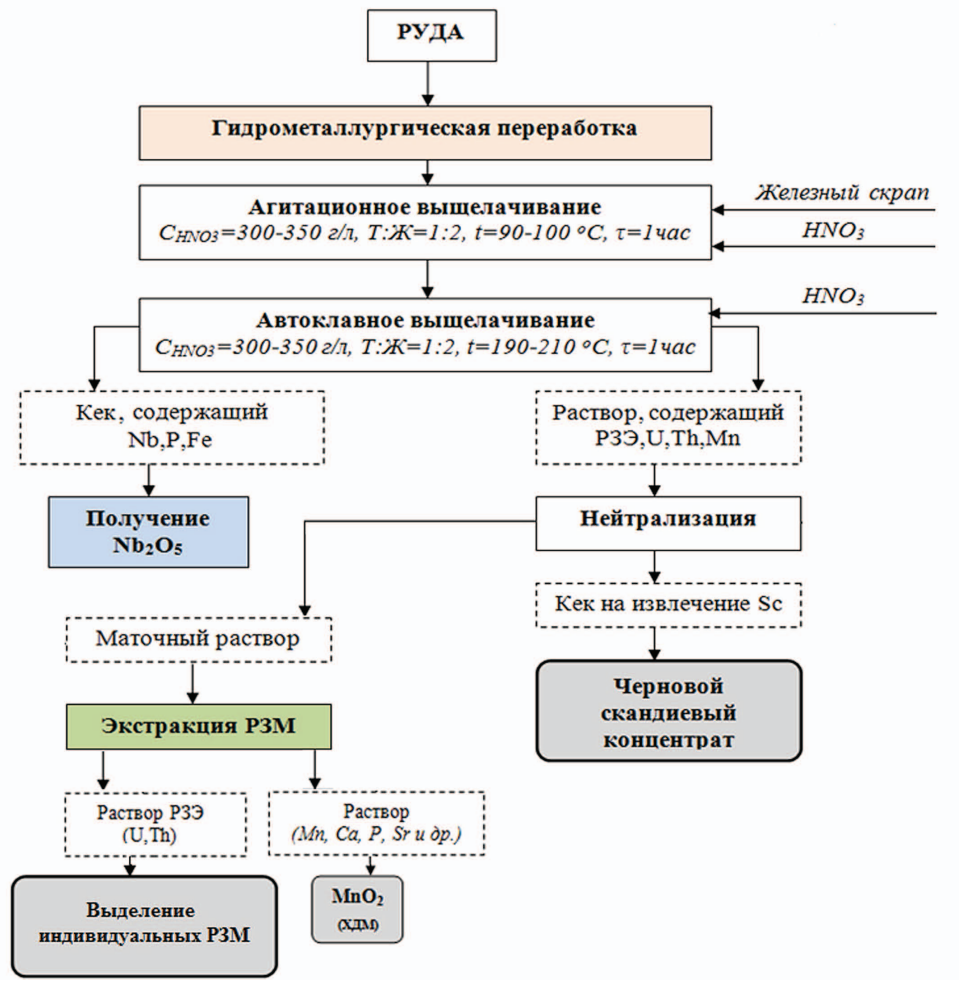


Рис. 4. Технологическая схема переработки пирохлор-монацит-гётитовых руд Чуктуконского месторождения
Fig. 4. Technological scheme of processing of pyrochlore-monazite-goethite ores of Chuktukon deposit

в тесной ассоциации друг с другом, в материале крупностью менее 0.074 мм. Бадделеит присутствует в руде в виде полиминеральных агрегатов, в которых он тесно ассоциирует с породообразующими минералами и иногда с цирконом, а также образует колломорфные агрегаты. Циркон отмечается в виде индивидуализированных зерен и колломорфных образований, представлен двумя разновидностями: неизмененным цирконом, содержание которого в руде незначительно, и измененным в различной степени, количество которого варьирует от 5 до 30 % [3].

Для бадделеит-цирконовых концентратов Алгаминского рудопроявления была разработана термохимическая технология, основанная на спекании концентратов с карбонатом кальция. Различие в растворимости соединений, получаемых при термохимическом вскрытии концентратов, обеспечивает при последующем кислотном выщелачивании спека отделение циркония от основной массы продуктов разложения породообразующих минералов, концентрирующихся в кеке от вскрытия, и переход в раствор циркония (рис. 5), последующая переработка которого обеспечивает получение ZrO_2 соответствующего качества [5].

Выводы

Прогнозными минералогическими критериями выбора технологий переработки редкометалльных руд являются:

— переменный гранулярный состав с высокой долей тонкодисперсного материала, сформированного индивидами и агрегатами, тесно ассоциирующими между собой;

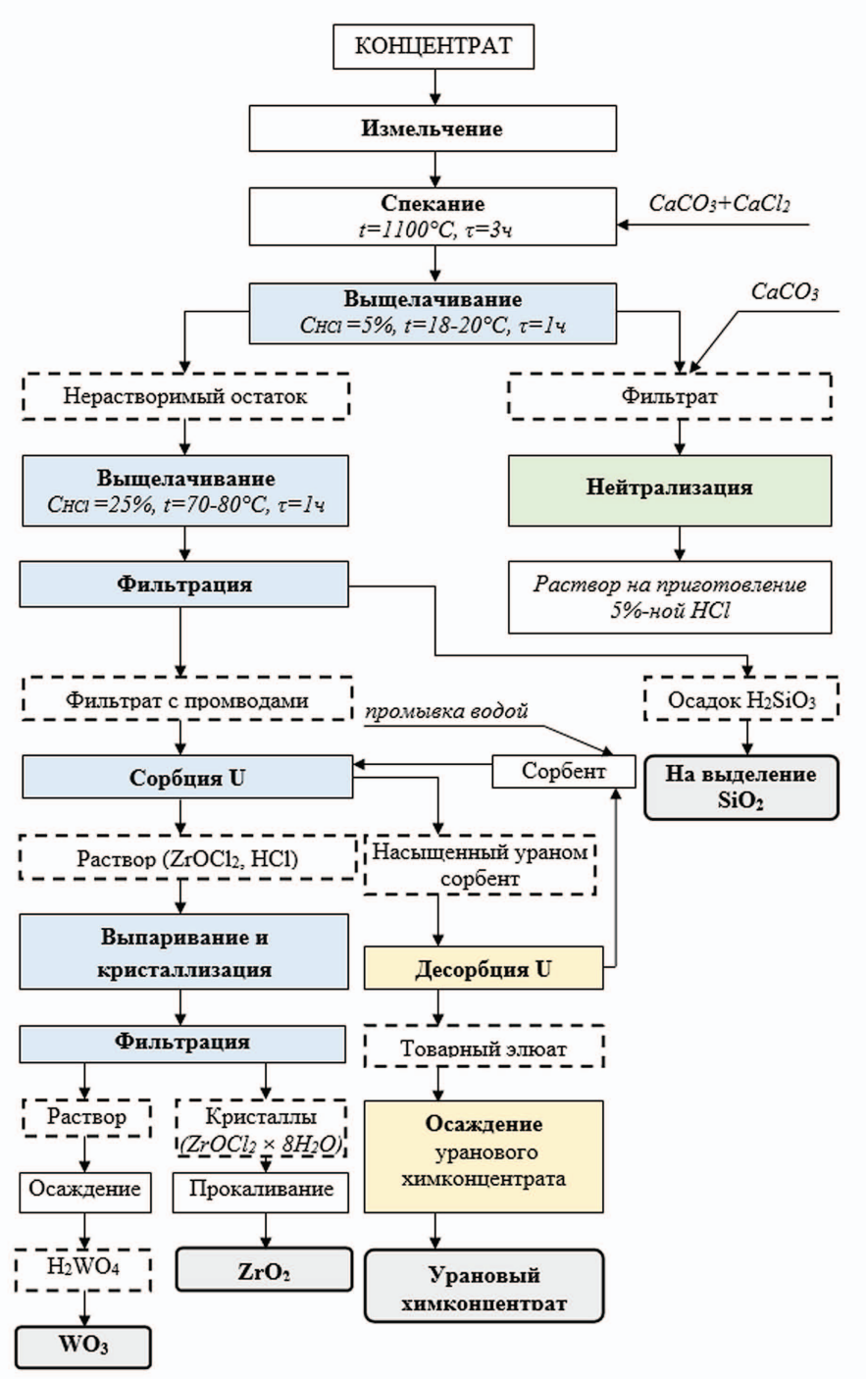


Рис. 5. Технологическая схема переработки бадделеит-цирконовых концентратов Алгаминского рудопроявления

Fig. 5. Technological scheme of processing baddeleyite-zircon concentrates of Algama ore occurrence

— полиминеральный состав, обусловленный одновременным присутствием нескольких полезных минералов разных парагенезисов;

— непостоянный химический состав как рудных, так и породообразующих минералов, вызванный широкими изоморфными замещениями атомов химических элементов в кристаллической структуре минералов.

Эти минералогические критерии применимы к рудам вышеуказанных объектов, и в совокупности они определяют качество исходных руд и продуктов обогащения, что позволяет в дальнейшем обосновать оптимальные пути извлечения полезного компонента, выбрать технологическую схему, обеспечивающую комплексную переработку руд.

Литература

1. *Быховский Л. З., Потанин С. Д., Чеботарева О. С.* Минерально-сырьевая база редких металлов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2017. № 4. С. 28–37.

2. *Котова О. Б.* Минералогическое геоматериаловедение: рациональное использование природного и техногенного минерального сырья // Технологическая минералогия природных и техногенных месторождений: Сб. науч. ст. IX семинара по технол. минералогии. Петрозаводск, 2015. С 42–46.

3. *Левченко Е. Н., Ожогина Е. Г.* Минералогия бадделеит-цирконовых руд Алгаминского месторождения // Разведка и охрана недр. 2016. № 3. С. 43–47.

4. *Лихникевич Е. Г., Ануфриева С. И.* Особенности выделения редкоземельных элементов при комплексной переработке редкоземельно-ниобиево-фосфатных руд // Актуальные вопросы получения и применения РЗМ-2015: Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. Москва, 25 июня 2015 г. С. 73–75.

5. *Лихникевич Е. Г., Левченко Е. Н., Якушина О. А., Фатов А. С.* Принципиальная термохимическая технология переработки циркон-бадделеитовых концентратов // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2016. № 3. С.18–25.

6. *Лихникевич Е. Г., Пермякова Н. А., Сычева Н. А., Отрубянников Ф. И.* Технологическая оценка пирохлор-монацит-гётитовых руд Чуктуконского рудного поля в рамках геолого-технологического картирования // Плаксинские чтения — 2017 (Красноярск, 12–15 сентября 2017 г.). С. 66.

7. *Лихникевич Е. Г., Петрова Н. В., Ануфриева С. И.* Комплексная переработка ниобиево-редкоземельно-фосфатных руд гидрометаллургическим способом // Разведка и охрана недр. 1999. № 1. С. 42–44.

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

9. *Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А.* Минералогические особенности горнопромышленных отходов // Экологически ориентированная переработка горнопромышленных отходов / Под общ. ред. акад. РАН В. А. Чантурия и докт. техн. наук И. В. Шадруновой; Ин-т проблем комплекс. освоения недр им. акад. Н. В. Мельникова РАН. М.: Спутник+, 2018. С. 80–95.

10. *Ожогина Е. Г., Рогожин А. А., Котова О. Б.* Технологическая минералогия руд редких металлов // Вестник Казахстанской национальной академии наук. 2014. № 3. С. 33–35.

11. *Пермякова Н. А., Лихникевич Е. Г., Сычева Н. А., Отрубянников Ф. И.* Технологическая оценка пирохлор-монацит-гётитовых руд Чуктуконского рудного поля в рамках геолого-технологического картирования // Современные проблемы комплексной переработки труднообогатимых руд и техногенного сырья (Плаксинские чтения — 2017): Материалы междунар. науч. конф. (Красноярск, 12–15 сентября 2017 г.). С. 66–68.

12. *Пермякова Н. А., Лысакова Е. И., Ануфриева С. И., Лихникевич Е. Г.* Поведение редкоземельных металлов при гидрометаллургической переработке пирохлор-монацит-гётитовых руд // Тонкие химические технологии. 2018. № 3. С. 64–71.

13. *Сидоренко Г. А., Александрова И. Т., Петрова Н. В.* Технологическая минералогия редкометалльных руд. СПб.: Наука, 1992. 236 с.

14. *Ozhogina E. G., Kotova O. B.* New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in complex ore treatment // IMPC 2018 — 29th International Mineral Processing Congress. 2019. Moscow. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (2-s2.0-85059377649) P. 32–40.

15. *Ozhogina E. G., Kotova O. B.* New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in complex mineral raw treatment // IMPC 2018 — 29th International Mineral Processing Congress. 2019. Moscow. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (2-s2.0-85059406017). P. 238–246.

References

1. Bykhovskiy L. Z., Potanin S. D., Chebotareva O. S. *Mineralno-syrevaya baza redkih metallov* (Mineral and raw material base of rare metals). Mineral resources of Russia. Economics and Management, 2017, No. 4, pp. 28–37.

2. Kotova, O. B. *Mineralogicheskoe geomaterialovedenie: ratsional'noe ispolzovanie prirodnogo i tehnogennogo mineralnogo syrya. Tehnologicheskaya mineralogiya prirodnyh i tehnogennyh mestorozhdenii: sbornik nauchnyh statei IX seminara po tehnologicheskoi mineralogii.* (Mineralogical geothermal research: rational use of natural and technogenic mineral raw materials. Technological mineralogy of natural and technogenic deposits: a collection of scientific articles of the 9th seminar on technological mineralogy). Petrozavodsk, 2015, pp. 42–46.

3. Levchenko E. N., Ozhogina E. G. *Mineralogiya baddeleit-tsirkonovyh rud Algaminskogo mestorozhdeniya* (Mineralogy of Baddeleyite-Zircon ores of the Algamin deposit). Exploration and protection of mineral resources, 2016, No. 3, pp. 43–47.

4. Lihnikevich E. G, Anufrieva S. I. *Osobennosti vydeleniya redkozemelnyh elementov pri kompleksnoi pererabotke redkozemelno-niobievo-fosfatnyh rud* (Features of the selection of rare earth elements in complex processing of rare-earth-niobium-phosphate ores). Collection of materials of the international scientific-practical conference «Actual issues of obtaining and applying REM-2015», Moscow, June 25, 2015, pp. 73–75.

5. Lihnikevich E. G, Levchenko E. N., Yakushina O. A., Fatov A. S. *Printsipial'naya termohimicheskaya tehnologiya pererabotki tsirkon-baddeleitovyh kontsentratov* (Fundamental thermochemical technology of processing zircon-baddeleyite concentrates). Vestnik IG Komi Science Center UB RAS, 2016, No.3, pp.18–25.

6. Lihnikevich E. G, Permyakova N. A., Sycheva N. A., Otrubyannikov F. I. *Tehnologicheskaya otsenka pirohlor-monatsit-getitovyh rud Chuktukonsskogo rudnogo polya v ramkah geologo-tehnologicheskogo kartirovaniya* (Technological assessment of pyrochlore-monazite-goethite ores of the Chuktukonsky ore field in the framework of geological and technological mapping). Plaksin readings — 2017, Krasnoyarsk, September 12–15, 2017, p. 66.

7. Lihnikevich E. G, Petrova N. V., Anufrieva S. I. *Kompleksnaya pererabotka niobievo-redkozemel'no-fosfatnyh rud gi-*

drometallurgicheskim sposobom. Razvedka i ohrana nedr (Complex processing of niobium-rare-earth-phosphate ores by hydrometallurgical method. Exploration and protection of mineral resources), 1999, No. 1, pp. 42–44.

8. Ozhogina E. G, Kotova O. B, Yakushina O. A. *Gornopromyshlennye othody: mineralogicheskie osobennosti* (Mining wastes: mineralogical features). Vestnik IG Komi SC UB RAS, 2018, No. 6, pp. 43–49. (doi 10.19110 / 2221-1381-2018-6-43-49).

9. Ozhogina E. G, Kotova O. B, Yakushina O. A. *Mineralogicheskie osobennosti gornopromyshlennyh othodov. Ekologicheski orientirovannaya pererabotka gornopromyshlennyh othodov* (Mineralogical features of mining waste. Environmentally friendly processing of mining wastes). Ed. Acad. RAS V. A. Chanturia and Dr. tech. sciences I. V. Shadrunov; Melnikova Institute of problems complex subsoil exploration RAS. Moscow: Sputnik +, 2018, pp. 80–95.

10. Ozhogina E. G, Rogozhin A. A., Kotova O. B. *Tehnologicheskaya mineralogiya rud redkih metallov* (Technological mineralogy of ores of rare metals). Bulletin of the Kazakhstan National Academy of Sciences, 2014, No. 3, pp. 33–35.

11. Permyakova N. A., Likhnikevich E. G., Sycheva N. A., Otrubyannikov F. I. *Tehnologicheskaya otsenka pirohlor-monatsit-getitovyh rud Chuktukonskogo rudnogo polya v ramkah geologo-tehnologicheskogo kartirovaniya* (Technological assessment of pyrochlore-monazite-goethite ores of the Chuktukon ore field in the framework of geological and technological mapping). Plaksin Readings-2017, pp. 66–68.

12. Permyakova N. A., Lysakova E. I., Anufrieva S. I., Likhnikevich E. G. *Povedenie redkozemelnyh metallov pri gidrometallurgicheskoi pererabotke pirohlor-monatsit-getitovyh rud* (Behavior of rare-earth metals in hydrometallurgical processing of pyrochlore-monazite-goethite ores). Thin Chemical Technologies, 2018, No.3, pp. 64–71.

13. Sidorenko G. A., Alexandrova I. T., Petrova N. V. *Tehnologicheskaya mineralogiya redkometall'nyh rud* (Technological mineralogy of rare metal ores). St. Petersburg: Science, 1992, 236 pp.

14. Ozhogina, E. G., Kotova, O. B. New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in complex ore treatment. IMPC 2018 — 29th International Mineral Processing Congress, 2019, Moscow. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (2-s2.0-85059377649), pp. 32–40.

15. Ozhogina, E. G., Kotova, O. B. New methods of mineral processing and technology for the progress of sustainability in complex mineral raw treatment. IMPC 2018 — 29th International Mineral Processing Congress, 2019, Moscow. Canadian Institute of Mining, Metallurgy and Petroleum (2-s2.0-85059406017), pp. 238–246.

КОЛЛЕКЦИОННЫЕ ОБРАЗЦЫ КВАРЦА И КАЛЬЦИТА ИЗ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДАЛЬНЕГОРСКА В МУЗЕЕ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
COLLECTION QUARTZ AND CALCITE SAMPLES FROM DALNEGORSK DEPOSITS IN THE FEGI MUSEUM

Dalnegorsk quartz and associated calcite are the brightest examples of diverse processes of mineral formation of individuals and aggregates of the same minerals within one deposit or within a group of similar deposits. Collection samples from the museum exposition illustrate a wide variety of rare forms of quartz and calcite crystals faceting, the presence of several generations in one sample, evidences of simultaneous and sequential crystas growth, different stages of splitting, and numerous mineral associations forming druse intergrowths.

Будущее камней не в их ценности, не во вложенном в них богатстве, а в их красоте, в гармонии красок, цветов и форм, в их вечности.
А. Е. Ферсман

Коллекционные минералы — это необычные, редкие минеральные индивиды и кристаллические агрегаты, оказавшиеся в свободных условиях, позволивших принять специфическую для каждого минерального вида внешнюю огранку — кристалл. В экспозиции музея ДВГИ насчитывается более пятисот таких экспонатов, и она пополняется кристаллами, сростками и друзами из месторождений Приморья. Наибольшая часть поступлений традиционно приходится на Дальнегорский район, который и сегодня представляет огромный интерес как источник коллекционного минерального сырья. Это обусловлено наличием большого количества открытых полостей для кристаллизации минералов, многоэтапным и многостадийным генезисом оруденения, совмещением в пространстве разновозрастных минеральных агрегатов. В этих полостях есть формы, которые указывают как на быстрый (сферолитовый, дендритовый и скелетный), так и на медленный рост (так называемые друзы перекристаллизации) [2].

Большинство колекционных образцов кварца и кальцита в экспозиции музея — из полиметаллических месторождений Николаевское, Верхнее, Советское-2 и боросиликатного месторождения Бор. Коллекционные образцы из музейной экспозиции, представленные на фотографиях, иллюстрируют большое разнообразие форм огранки кристаллов, признаки одновременного и последовательного роста минералов, многочисленные минеральные ассоциации, образующие друзовые срастания с кварцем и кальцитом.

В скарнах полиметаллических дальнегорских месторождений наблюдаются три морфологические разновидности кварца: длиннопризматические, коротокопризматические «дипирамидального» габитуса (фото 1) и мелкокристаллические корки, образованные на восходящих гранях кварца первой генерации или других минералов. Кварц, часто ассоциирующий с кальцитом, интересен не только разнообразием кристаллических форм. Кварц разного габитуса в месторождениях Дальнегорска встречается в ассоциации со многими минералами, в том числе с рудными (фото 2), часто нарастая на них в виде короны или друзовой корки. Сростки длиннопризматических (игольчатых) кристаллов кварца и папиршпата часто обрастают друзы сульфидов (фото 3).



Фото 1. Друза «дипирамидальных» кристаллов кварца (10×7×4 см). Дальнегорск, месторождение Советское-2. Фото Т. Князевой

Photo 1. Druse of «dipyramidal» quartz crystals (10×7×4 cm). Sovetskoye-2 deposit, Dalnegorsk. Photo by T. Knyazeva

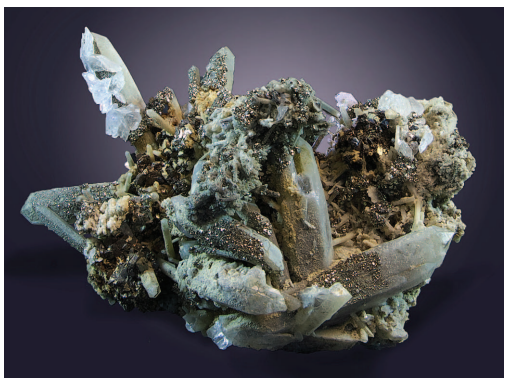


Фото 2. Друзовое срастание призматических кристаллов кварца, галенита и пирротина с последующим ростом мелкокристаллического кубического пирита и бесцветного ромбоэдрического кальцита (10×5×5 см). Дальнегорск, месторождение Николаевское. Фото Т. Князевой

Photo 2. Druse intergrowth of prismatic quartz crystals, galena and pyrrhotite with subsequent growth of fine-crystalline cubic pyrite and colorless rhombohedral calcite (10×5×5 cm). Nikolaevskoye deposit, Dalnegorsk. Photo by T. Knyazeva

Особенно эффектны призматические кристаллы кварца, обросшие пиритом (фото 4). Угольно-черные с глянцевыми гранями кристаллы ильваита, прославившего месторождения Дальнегорска (он почти не встречается в виде кристаллов в других месторождениях), прекрасно контрастируют с ассоциирующими кварцем и кальцитом (фото 5). Кроме того, кварц часто имеет многочисленные включения. На месторождениях Николаевское и Советское-2 встречается розовато-красный кварц, окрашенный включениями и чешуйчатыми выделениями гематита (фото 6), и прозрачные пирамидально-призматические кристаллы, насыщенные черными включениями гематита (фото 7).

Минерализованные полости в месторождении Бор развиты так же широко, как в полиметаллических месторождениях, и принадлежат тому же самому генетическому типу, но отличаются по минеральному составу. Поэтому кварц здесь наблюдается в ассоциации с другими минералами (кроме кальцита это датолит, данбурит и апофиллит) и образует иные морфологические формы. В полостях с друзовыми агрегатами кварца и кальцита на глубоких горизонтах месторождения Бор в волластонитовых скарнах встречается аметистовидный кварц. Известны скипетровидные (фото 8) и многоглавые кристаллы кварца. Так называемый пиленый кварц, обнаруженный в полостях выщелачивания в кварцевых карманах и в тектонических полостях, представляет собой сростки призматических прозрачных кристаллов кварца и папиршпата, которые росли одновременно (фото 9).

Месторождение Бор известно кварцевыми псевдоморфозами по кальциту. Наиболее интересны полные

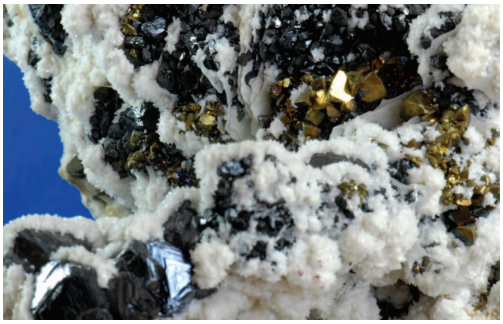


Фото 3. Агрегат галенита, сфалерита и пирита, обросший тонкоигольчатым кварцем и папиршпатом (28×20×18 см). Дальнегорск, месторождение Николаевское. Фото Т. Князевой

Photo 3. Aggregate of galena, sphalerite and pyrite, overgrown with fine-acicular quartz and calcite-«papierspath» (28×20×18 cm). Nikolaevskoye deposit, Dalnegorsk. Photo by T. Knyazeva



Фото 4. Друза длиннопризматических кристаллов кварца с присыпкой пирита. Автоэпитаксия папиршпата по ромбоэдрическому кальциту (кристаллизовалась до кварца) (21×18×13 см). Дальнегорск, месторождение Николаевское. Фото Ю. Т. Васьковского

Photo 4. Druse of long-prismatic quartz, overgrown by cubic crystals and films of pyrite. The colorless calcite-«papierspath» autoepitaxially overgrow the rhombohedral calcite crystal. Nikolaevskoe deposit, Dalnegorsk. (21×18×13 cm). Photo by Y. Vas'kovskyi.

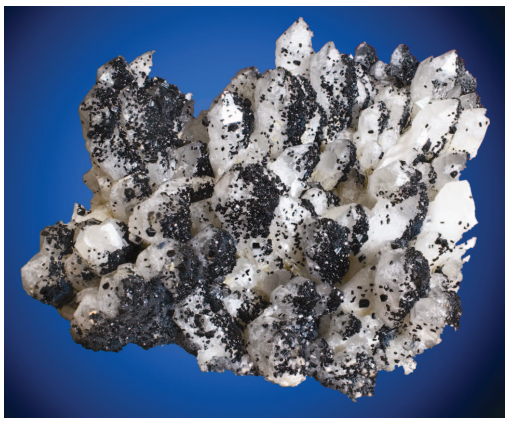


Фото 5. Мелкокристаллический ильваит на восходящих гранях длиннопризматических кристаллов кварца (14×11×6 см). Дальнегорск, месторождение Верхнее. Фото Ю. Т. Васьковского

Photo 5. Fine-crystalline ilvaite aggregate accumulated on the upward facets of long-prismatic quartz crystals (14×11×6 cm). Verkhneye deposit, Dalnegorsk. Photo by Y. Vas'kovskyi.

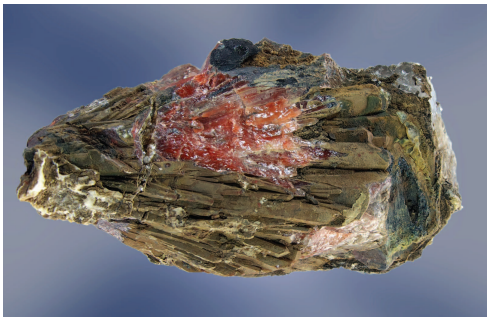


Фото 6. Расщепленный кристалл кварца в «рубашке» диккит-антигорита (рентгеновский дифрактометр MiniFlex2). Окрашен включениями и чешуйчатыми выделениями гематита (MiniFlex2) (14×5×5 см). Дальнегорск, месторождение Советское-2. Фото Т. Князевой

Photo 6. Split quartz crystal in a «jacket» of dikkit-antigorite (X-ray diffractometer MiniFlex2). Painted with inclusions and scaly hematite secretions (MiniFlex2) (14×5×5 cm). Sovetskoye-2 deposit, Dalnegorsk. Photo by T. Knyazeva

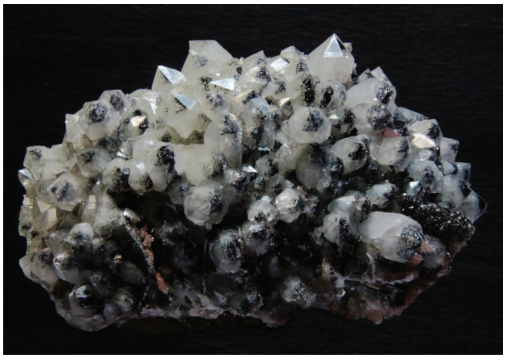


Фото 7. Друза пирамидально-призматического кварца с включениями кристаллов гематита (ИКС) (13×10×6 см). Дальнегорск, месторождение Советское-2. Фото Г. Гришина

Photo 7. Druse of pyramidal-prismatic quartz with inclusions of hematite crystals (Infra red spectroscopy) (13×10×6 cm). Sovetskoye-2 deposit, Dalnegorsk. Photo by G. Grishin

кварцевые псевдоморфозы по крупным (35–40 см), сохранившим форму кристаллам данбурита. Особенно ценятся как коллекционный материал трубообразные псевдоморфозы горного хрусталя и папиршпата по данбуриту, указывающие на то, что замещение и выщелачивание данбурита происходили одновременно (фото 10).

Выдающаяся особенность дальнегорского кальцита — не имеющие аналогов редкие формы огранки кристаллов. Наиболее известно большим разнообразием кальцита месторождение Верхнее: от игольчатых, сформированных гранями острого скаленоэдра в комбинации с призмой до расщепленных дендритов. Некоторые образцы бесцветного прозрачного, белого, розового и буровато-коричневого кальцита, образующего друзы и сложные сростки, по богатству форм и качеству относятся к лучшим в мире. Морфологическое разнообразие кальцита объясняется множеством комбинаций простых форм, образующих кристаллы и агрегаты, процессами выщелачивания и расщепления, наличием нескольких генераций в одной полости, а также частой сменой габитусных форм при образовании последующих генераций минерала. Например, в одном образце демонстрируются три генерации кальцита (фото 11): на массивном спайноромбоэдрическом кальцитовом основании (первая генерация) розоватый расщепленный ромбоэдрический кальцит — более поздний (третья генерация), чем ранее образованные трубчатые срастания кристаллов, сложенные тончайшим папиршпатом (вторая генерация). Подобные полые образования отмечались в зонах частичного выщелачивания и перекристаллизации [3].

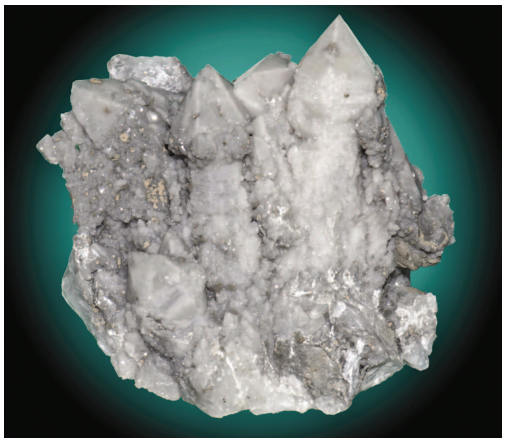


Фото 8. Друза кристаллов скипетровидного кварца (8×7×6 см). Дальнегорск, месторождение Бор. Фото В. Г. Сазонова

Photo 8. Druse of sceptre quartz crystals (8×7×6 cm). Bor deposit, Dalnegorsk. Photo by V. Sazonov

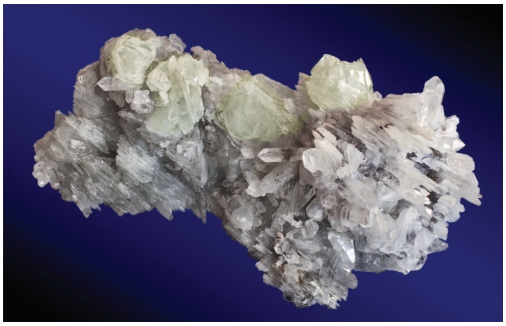


Фото 9. «Пиленый» кварц и датолит с папиршпатом (7×5×4 см). Дальнегорск, месторождение Бор. Фото Ю. Т. Васьковского

Photo 9. «Cut» quartz crystals and datoli te with calcite-«papierspath» (7×5×4 cm). Bor deposit, Dalnegorsk. Photo by Y. Vas'kovskyi



Фото 10. Псевдоморфоза горного хрусталя и папиршпата по данбуриту (10×7×5 см). Дальнегорск, месторождение Бор. Фото В. Г. Сазонова

Photo 10. Rock crystal and calcite-«papierspath» pseudomorph after danburite (10×7×5 cm). Bor deposit, Dalnegorsk, Photo by V. Sazonov

На стенках кальцитовой полости месторождения Верхнее, известного большим разнообразием кальцита, были обнаружены: сростки классических скаленоэдров кальцита с формами многоглавого роста; дендриты расщепленных скаленоэдров розового кальцита (фото 12); редкие уникальные кристаллы кальцита с ростовым расщеплением по типу сферокристалла; сферокристаллические формы, напоминающие цветную капусту, образованные благодаря более плотному прорастанию гребенчатых дендритов. Формирование таких сложных кристаллов, которые преобразовываются в агрегаты в процессе расщепления, могло происходить из-за быстрой кристаллизации в течение ранних стадий из пересыщенного материнского раствора, содержащего взвешенные частицы, которые могут создавать центры расщепления [1].

Несмотря на множество наблюдений, не выявлено закономерностей в распределении морфологических разновидностей в пределах месторождений, есть только различия в преобладании форм минерала в каждом месторождении [4]. Скаленоэдрические и расщепленные

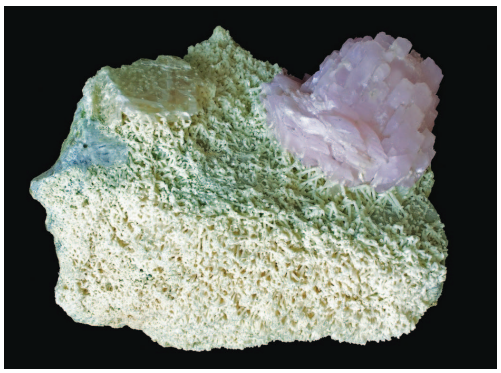


Фото 11. «Бутон» розоватого расщепленного ромбоэдрического кристалла кальцита на агрегате ранее образованных трубообразных полых выделений кальцита (по удлинению 0.5–1 см), сложенных тончайшим папиршпатом (20×17×12 см). Дальнегорск, месторождение Советское-2. Фото Ю. Т. Васьковского

Photo 11. A pinkish «bud» of split calcite rhombohedral crystal on the earlier formed aggregate of hollow-tubular calcite (0.5–1 cm), composed by superfine calcite-«papierspath» (specimen size is 20×17×12 cm). Sovetskoye-2 deposit, Dalnegorsk. Photo by Y. Vaskovskyi.



Фото 12. Дендриты расщепленных скаленоэдров розового кальцита (15×15×13 см). Дальнегорск, месторождение Верхнее. Фото Ю. Т. Васьковского

Photo 12. Dendrites of split scalenohedrons of pink calcite (15×15×13 cm). Verkhneye deposit, Dalnegorsk. Photo by Y. Vaskovskyi



Фото 13. Кальцит. Автоэпитаксия при смене габитусных форм – ориентированное обрастание остроромбоэдрическим кальцитом поздней генерации расщепленных скаленоэдров ранней генерации. Экранирующая пленка гидрооксислов железа (ИКС) (15×15×10 см). Дальнегорск, месторождение Николаевское. Фото В. А. Соляник

Photo 13. Calcite. Autoepitaxia with changing of habit forms — oriented overgrowth of early generation split scalenohedrons by late generation sharp-rhombohedral calcite. Iron hydroxide shielding film (Infra red spectroscopy) (15×15×10 cm). Nikolaevskoye deposit, Dalnegorsk. Photo by V. Solyanik

формы кальцита почти не встречаются в «продушинах» месторождений Николаевское и Бор, для которых характерны ромбоэдрические кристаллы. Эти кристаллы образуют друзовые срастания с кварцем, флюоритом и другими минералами или участвуют в перекристаллизации ранних таблитчатых кальцитов. Папиршпат типичен для месторождений Советское-2 и Бор, но редок в Николаевском и почти не встречается в Верхнем. Для месторождений Советское-2 и Николаевское характерны комбинация призмы с тупым ромбоэдром и автоэпитаксия кальцита со сменой габитусных форм, когда происходит ориентированное обрастание остроромбоэдрическим кальцитом поздней генерации скаленоэдров более ранней генерации (фото 13). Важную роль для смены габитуса кристалла часто играет экранирующая пленка на поверхности его граней, замедляющая их рост по сравнению с другими гранями. Кальцит остроромбоэдрической огранки есть во всех месторождениях. Он кристаллизовался в последнюю пострудную стадию минерализации.



Фото 14. Друза кристаллов папиршпата («цветущая ветка») на кварц-сульфидной подложке. (23×12×10 см). Дальнегорск, месторождение Советское-2. Фото Ю. Т. Васьковского

Photo 14. Druse of calcite-«papierspath» crystals («flowering branch») on a quartz-sulphide substrate. Dalnegorsk, Sovetskoye-2 deposit. Photo by Y. Vas'kovskyi

Иногда друзовые срастания кристаллов кальцита создают эффектные формы, напоминающие цветы. В коллекции музея это «цветущая ветка», образованная кальцитом папиршпатом (фото 14), розовый расщепленный остроромбоэдрический кальцит, образующий «розу» (фото на обложке), и др.

Музейная экспозиция коллекционных минералов представляет собой большую ценность как в научно-познавательном, так и в эстетическом отношении. Работа по классификации и описанию различных форм выделения минералов и их друзовых срастаний с целью выяснения истории их роста и последовательности выделения минералов продолжается.

Литература

1. *Григорьев Д. П., Жабин А. Г.* Онтогения минералов: индивиды. М., Наука, 1975. 339 с.

2. *Григорьев Д. П., Капитонов М. Д.* Два типа минеральных друз. Доклады Академии наук СССР. 1953. Том 89. № 3. С. 543–545.

3. *Grant R, and Wilson W. E.* 2001. Famous mineral localities: Dal'negorsk, Primorskiy Kray, Russia. Mineralogical record, Vol. 32 (1), pp. 3–30.

4. *Moroshkin V. and Frishman N.* 2001 Dalnegorsk: Notes on Mineralogy. Moscow, Ocean Pictures Ltd., Mineralogical Almanac, Vol. 4, 136 pp.

В. Соляник

Ответственный за выпуск: Е. В. Антропова

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

Компьютерная верстка: Р. А. Шуктомов

Свид. о рег. средства массовой информации ПИ № ФС77-75435 от 19.04.2019, выданное Роскомнадзором.
Отпечатано: 31.05.2019. Формат бумаги 60×84 1/8. Печать RISO. Усл. п. л. 6. Тираж 140. Заказ 1109.
Учредитель: ФГБУН ФИЦ Коми НЦ УрО РАН.
Редакция, издательство, типография: издательско-информационный отдел Института геологии 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 Н. Ковальчук, Е. Кушмановой, Ю. Голубевой, Ю. Глухова