



Содержание

Научные статьи

- Условия формирования песчаников соликамского горизонта
в пределах Соликамской впадины
Д. Е. Трапезников 3
- Строение и морфология гряды с напорным моренным
основанием у деревни Мосеево (западная часть Терских
Кейв, Кольский полуостров)
А. А. Васьков, О. Ю. Носова 10
- Геохимическая характеристика кварц-халцедоновых
образований Кузбасского магматического ареала
Е. В. Звягинцева 19
- Минералы группы каолинита в нижнетриасовых отложениях
севера Тимано-Печорской провинции
Н. Н. Тимонина, Ю. С. Симакова 26
- Минералы титана как прототипы функциональных
материалов с выраженными электромагнитными свойствами
*О. Б. Котова, М. Харджа,
Л. Н. Котов, А. В. Понарядов* 34
- Моделирование фазовых преобразований в глинистом
известняке при импактном воздействии
В. В. Уляшев, С. И. Исаенко 40
- Биомаркеры нефтей нижнего палеозоя северной части
Тимано-Печорского бассейна
Д. А. Бушнев, О. В. Валяева, Н. С. Бурдельная 45

Хроника, события, факты

- Памяти кристаллографа 49
- Новые издания 49
- Прикладная минералогия: из Бари в Белгород 51
- Кварц раскрывает свои тайны
(Памяти В. В. Буканова) 52
- Тимано-Печорская нефтегазоносная провинция.
Стратегия развития 55
- Фоторепортаж со Дня геолога 56

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 — 2018:

- 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, Апатиты, Россия
А. Д. Гвишиани, Москва, Россия
Н. Н. Герасимов, Сыктывкар, 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. Удорткина, Сыктывкар, Россия
М. А. Федонкин, Москва, Россия



Content

Scientific articles

- Conditions for the formation of sandstones of the solikamsk stratum within the Solikamsk depression
D. E. Trapeznikov..... 3
- Composition and morphology of the ridge with push moraine basement at the Moseevo village (western part of the Terskie Keivy, the Kola peninsula)
A. A. Vashkov, O. Yu. Nosova 10
- Geochemical characteristics of quartz-chalcedony formations of Kuzbass magmatic area
E. V. Zvyaginceva 19
- Kaolinite minerals in lower triassic deposits of northern Timan-Pechora province
N. N. Timonina, yu. S. Simakova 26
- Titanium minerals as prototypes of functional materials with pronounced electromagnetic properties
O. B. Kotova, M. Harja, L. N. Kotov, A. V. Ponaryadov..... 34
- Simulation of phase transformations in clay-containing limestone under impact treatment
V. V. Ulyashev, S. I. Isaenko 40
- Biomarkers of lower paleozoic oils in the northern part of the Timan-Pechora basin
D. A. Bushnev, O. V. Valyaeva, T. S. Burdelnaya..... 45

Chronicle, events, facts

- In memory of crystallographer 49
- New publications 49
- Applied mineralogy: from Bari to Belgorod 51
- Quartz unlocks its secrets
(In memory of V. V. Bukanov) 52
- Timan-Pechora oil and gas province.
Strategy of the development 55
- Photoreport from Day of Geologist 56

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

2018 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. Voytekhevsky, Apatity, Russia
Alexey D. Gvishiani, Moscow, Russia
Nikolay N. Gerasimov, Syktyvkar, 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



УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕСЧАНИКОВ СОЛИКАМСКОГО ГОРИЗОНТА В ПРЕДЕЛАХ СОЛИКАМСКОЙ ВПАДИНЫ

Д. Е. Трапезников^{1, 2}

¹Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН, Горный институт УрО РАН, Пермь

²Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь

daniltrapeznikov@gmail.com

Представлены результаты анализа разрезов более 500 скважин, расположенных на территории Верхнекамского месторождения солей, корреляция которых определяет наличие нескольких клинообразных слоев песчаников. На основе сведений о мощности обломочных отложений в терригенно-карбонатной толще построены карты процентного содержания песчаного материала. Благодаря этому были выявлены древние конусы выноса терригенного материала, а также прослежена эволюция их развития. Изучен минералогический-петрокластический состав песчаных пород, позволивший классифицировать их. На основе соотношения основных обломочных компонентов установлены геодинамические типы питающих провинций. Комплекс полученных результатов позволил реконструировать палеогеографические и тектонические условия накопления песчаных отложений соликамского горизонта нижней перми.

Ключевые слова: Предуральский краевой прогиб, Соликамская впадина, уфимские отложения, осадконакопление, песчаники, известняки, палеотектоника.

CONDITIONS FOR THE FORMATION OF SANDSTONES OF THE SOLIKAMSK STRATUM WITHIN THE SOLIKAMSK DEPRESSION

D. E. Trapeznikov

Perm Federal Research Center UB RAS, Perm

The results of section analysis of more than 500 wells located in the Verkhnekamskoye salt deposits area have been presented. The presence of several wedge-shaped layers of sandstones was revealed on the basis of the correlation of these sections. The maps of the percentage content of sand materials were constructed on the basis of the information on the thickness of clastic sediments in the terrigenous-carbonate stratum. The ancient removal cones of the terrigenous material were identified, the evolution of their development was traced.

The mineralogical and petroclastic composition of sandy rocks was classified. The relationship between the sedimentary basin and the geodynamic conditions of feeding provinces was established on the basis of the clastic component ratio. The complex of the results allowed us to reconstruct paleogeographic and tectonic conditions for the accumulation of sandy deposits of the Solikamsk Horizon of the Lower Permian.

Keywords: Pre-Urals Foredeep, the Solikamsk basin, ufimian deposits, sedimentation, sandstones, limestones, paleotectonics.

Введение

В пределах Соликамской впадины в верхней части разреза терригенно-карбонатной толщи группой скважин были вскрыты тела песчаников, заключенные в слои известняков морского происхождения. В связи с тем что данный район расположен у западной границы Предуральского прогиба и в значительной мере удален от Уральской складчатой области, возникает вопрос: являются ли эти песчаные слои продуктом размыва Уральского орогена или они сформировались за счет перетолжения платформенных терригенных толщ?

Цель работы заключалась в установлении фациальных условий формирования песчаников, а также идентификации геодинамического типа питающей их провинции.

Объектом исследования являлась территория Соликамской впадины (рис. 1), хорошо изученная со- леразведочными работами в пределах Верхнекамского месторождения солей (ВКМС).

Методика исследования включала изучение архивных описаний скважин, отбор образцов кернового материала из скважин, пробуренных в период 2014–2017 гг., а также оптико-микроскопическое изучение шлифов песчаных пород. В общей сложности были проанализированы материалы 516 скважин и описаны 19 шлифов.

Полученный материал позволил выявить источник сноса обломочного материала и определить фациальные условия накопления песчаных пород соликамского горизонта.

Стратиграфия

Отложения уфимского яруса в составе соликамского и шешминского горизонтов в настоящее время относятся к нижней перми [7]. В пределах Соликамской впадины соликамский горизонт включает в себя соляно-мергельную и терригенно-карбонатную толщи, а шешминский горизонт — пестроцветную [2].

Терригенно-карбонатная толща (ТКТ) в пределах контура ВКМС имеет практически повсеместное распространение, за исключением некоторых локальных положительных структур, на которых она частично или полностью эродирована. Мощность толщи изменяется от 80 до 134 м и зависит от вещественного состава пород, слагающих ее. Литология представлена двумя основными типами пород: карбонатно-глинистыми (ряд «известняки — мергели — глины») и терригенными (ряд «алевролиты — песчаники»), находящимися в том или ином соотношении, но терригенные отложения всегда имеют подчиненный характер. В северной части ВКМС широко развиты мощные слои известко-

вых глин и аргиллитов, а песчаники встречаются очень редко. Центральная часть в основном карбонатная. На юге происходит значительное увеличение терригенной составляющей (песчаники, реже алевролиты), эта же тенденция наблюдается с запада на восток.

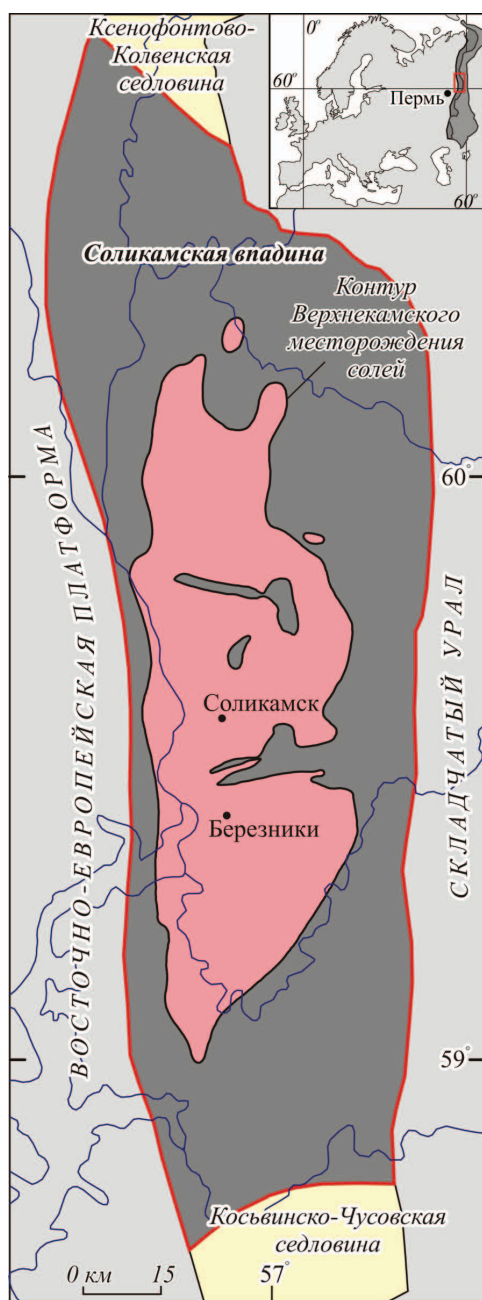
В отложениях ТКТ не принято выделять более мелкие подразделения [2, 5], но существуют альтернативные точки зрения. В частности, В. И. Копниным [3] было предложено вместо одной толщи выделять две: мергельно-доломитово-известняковую и известняково-терригенную, первая из которых подразделяется на три, а вторая на две пачки (рис. 1).

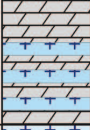
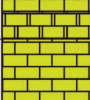
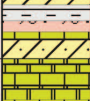
Мергельно-доломитово-известняковая толща слагается преимущественно известняками, доломитами и мергелями, а песчаники, алевролиты, аргиллиты и гипсы имеют здесь явно подчиненный характер. При этом терригенные породы шире распространены в южной

части месторождения, а в центральной развиты известковистые аргиллиты. Мощность толщи изменяется от 59 до 71 м.

Известняково-терригенная толща представляет собой переслаивание песчаных и известняковых слоев, причем вверх по разрезу песчаного материала становится все больше. Мощность толщи увеличивается от 52 до 64 м.

Верхнесоликамская подсистема довольно бедна палеонтологическими остатками [4], но в детально описанных разрезах (район д. Тюлькино) содержит довольно разнообразный комплекс органических остатков, включающий неморские двустворки, остракоды, фораминиферы, брахиоподы, чешую рыб, единичные отпечатки насекомых. Преобладают двустворки и остракоды, образующие массовые скопления; часто встречаются чешуйки рыб [9]. Также выделены спорово-пыльцевые ком-



Пермская						Система
Нижний						Отдел
Кунгурский	Уфимский					Ярус
	Березниковская	Соликамская		Терригенно-карбонатная		Шешминская
Соляная		Соляно-мергельная	Мергельно-доломит-известняковая	Известняково-терригенная	Верхняя	Пестроцветная
			Известняковая	Доломит-известняковая	Нижняя	
			Мергельно-известняковая	17-20	20-24	
						
						
120-450	60-150	52-71	32-40	20-24	52-64	0 - 750
						Мощность, м

Условные обозначения

	- доломит		- песчаник
	- известняк		- алевролит
	- мергель		- аргиллит
	- известняк глинистый		- глина

Рис. 1. Положение Верхнекамского месторождения солей и Соликамской впадины в пределах Предуральского краевого прогиба [5, 6, 10] и стратиграфия уфимских отложений Соликамской впадины, по [4] с изменениями

Fig. 1. The position of the Verkhnekamskoye salt deposit and the Solikamsk basin within the Uralian foredeep [5, 6, 10] and stratigraphy of the Ufimian deposits in the Solikamsk depression, according to [4] with changes



плексы, в которых доминирует пыльца *Striatiti* (до 53 %) и *Vittatina* (до 54.5 %), споры *Zonotriletes* (до 37 %) [1].

Границы терригенно-карбонатной толщи проводятся снизу по границе гипсоносных мергелей с сероцветными известняками, а сверху — по контакту последнего слоя известняков с пестроцветными алевропесчаными отложениями [2].

Литология песчаников

Макроскопическое изучение керна выявило широкое развитие грубой и крупной слоистости с однородной внутренней текстурой. Более детальное изучение слоевых последовательностей показало наличие неяснослоистых крупнокосоволнистых текстур (рис. 2, а–с). В некоторых слоях отмечаются неокатанные фрагменты подстилающих известняков, что указывает на активную донную эрозию и переотложение материала. В некоторых образцах наблюдается асимметричная рябь, локальные перемывы и пересыпи песчаного материала, что говорит о наличии донных течений. В карбонатных слоях, среди которых залегают песчаные по-

роды, на разных уровнях присутствуют редкие остатки как неморских, так и морских двустворок. Все это свидетельствует о накоплении осадка в морских условиях на относительно небольшой глубине в зоне дистальной части дельты реки, поставляющей в бассейн обломочный материал и пресную воду.

Минералого-петрокластический анализ образцов песчаных пород демонстрирует преобладание обломков минералов и пород метаморфического и вулканогенного происхождения (до 60 %), затем следуют обломки силицитов (до 22 %), в относительно равных пропорциях присутствуют обломки микрокварцитов (до 6 %), кварца (до 7 %) и полевых шпатов (до 5 %), а также единичные зерна гематита и лимонита (рис. 2 d, e). Редкие зерна пироксенов и амфиболов подвержены частичному разложению и замещены лимонитом и гематитом. По плагиоклазам и полевым шпатам иногда развиваются мелкие агрегаты хлорита, серицита, а также доломита. Среди обломков осадочных пород выделяются зерна мергелей и известняков, являющихся продуктом размыва подстилающих пород.

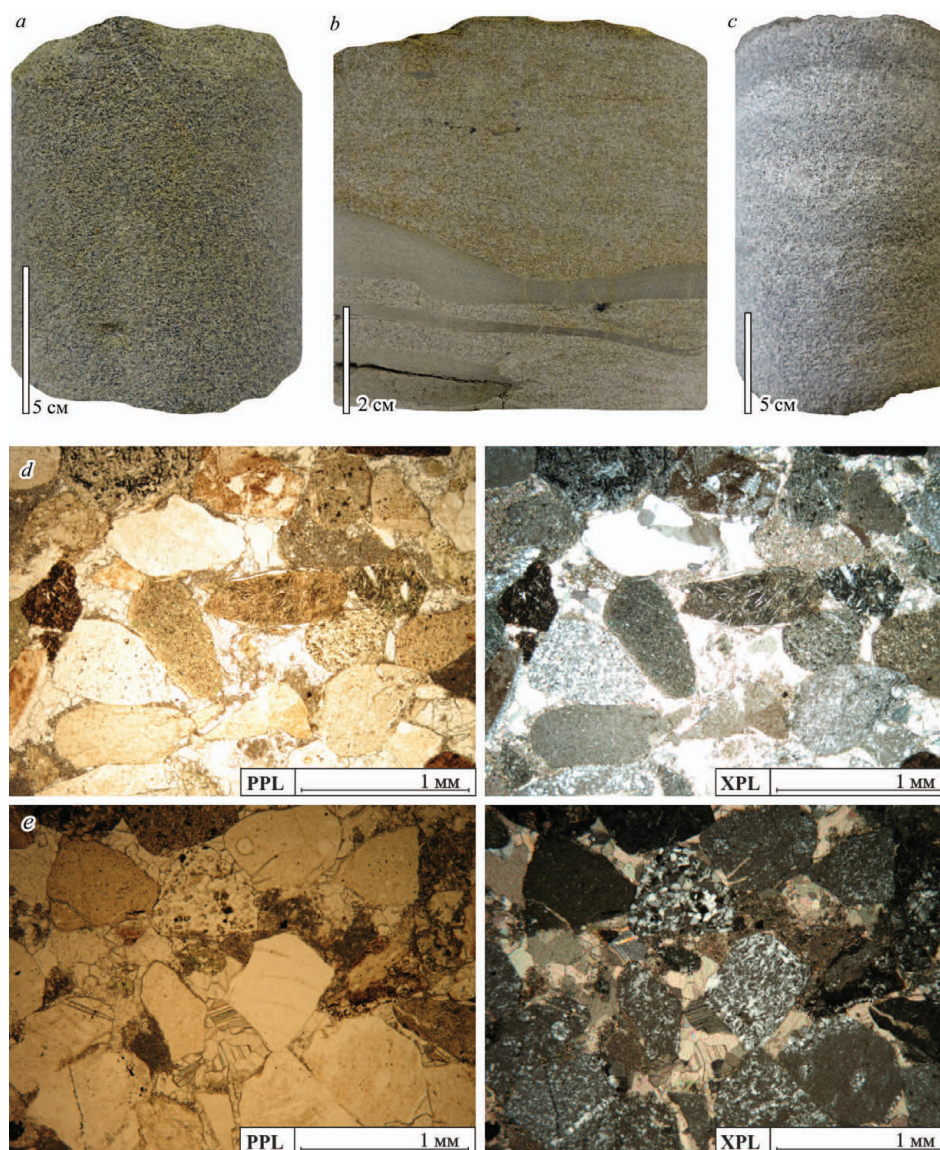


Рис. 2. Фотографии образцов керна песчаников (а–с) и микрофотографии шлифов песчаника (d, e) средне-, крупнозернистого при параллельных (PPL) и скрещенных (XPL) николях

Fig. 2. Photo of sandstone core samples (a–c) and photomicrographs of sandstone (d, e) medium-, coarse-grained with plane light (PPL) and crossed polars (XPL)

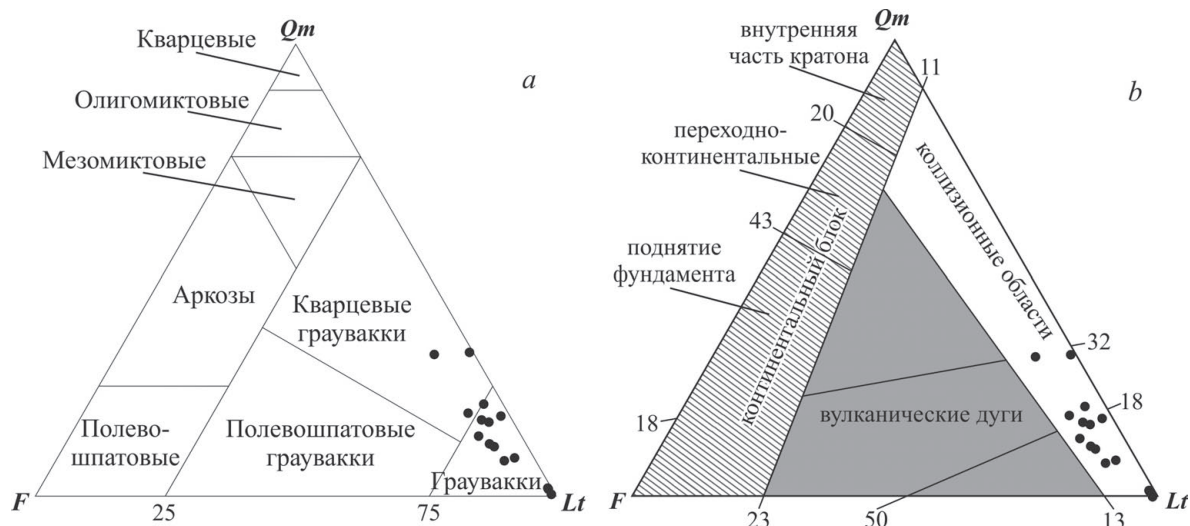


Рис. 3. Положение проб песчаных пород на диаграммах В. Н. Шванова (а) [12] и У. Дикинсона и Р. Валлони (b) [13], отображающих геодинамические обстановки областей сноса песчаных пород: Qm — кварц монокристаллический; F — полевые шпаты, как плагиоклазы, так и калиевые полевые шпаты; Lt — все лититовые обломки, в том числе кремни и микрокварциты

Fig. 3. Position of sand samples on the diagrams V. N. Shvanov (a) [12], and W. Dickinson and R. Valloni (b) [13], depicting the geodynamic conditions of the sand-rock demolition areas: Qm — single-crystal quartz; F — plagioclase and potassium feldspars; Lt — all (t — total) lithitic debris, including flint and microquartzites

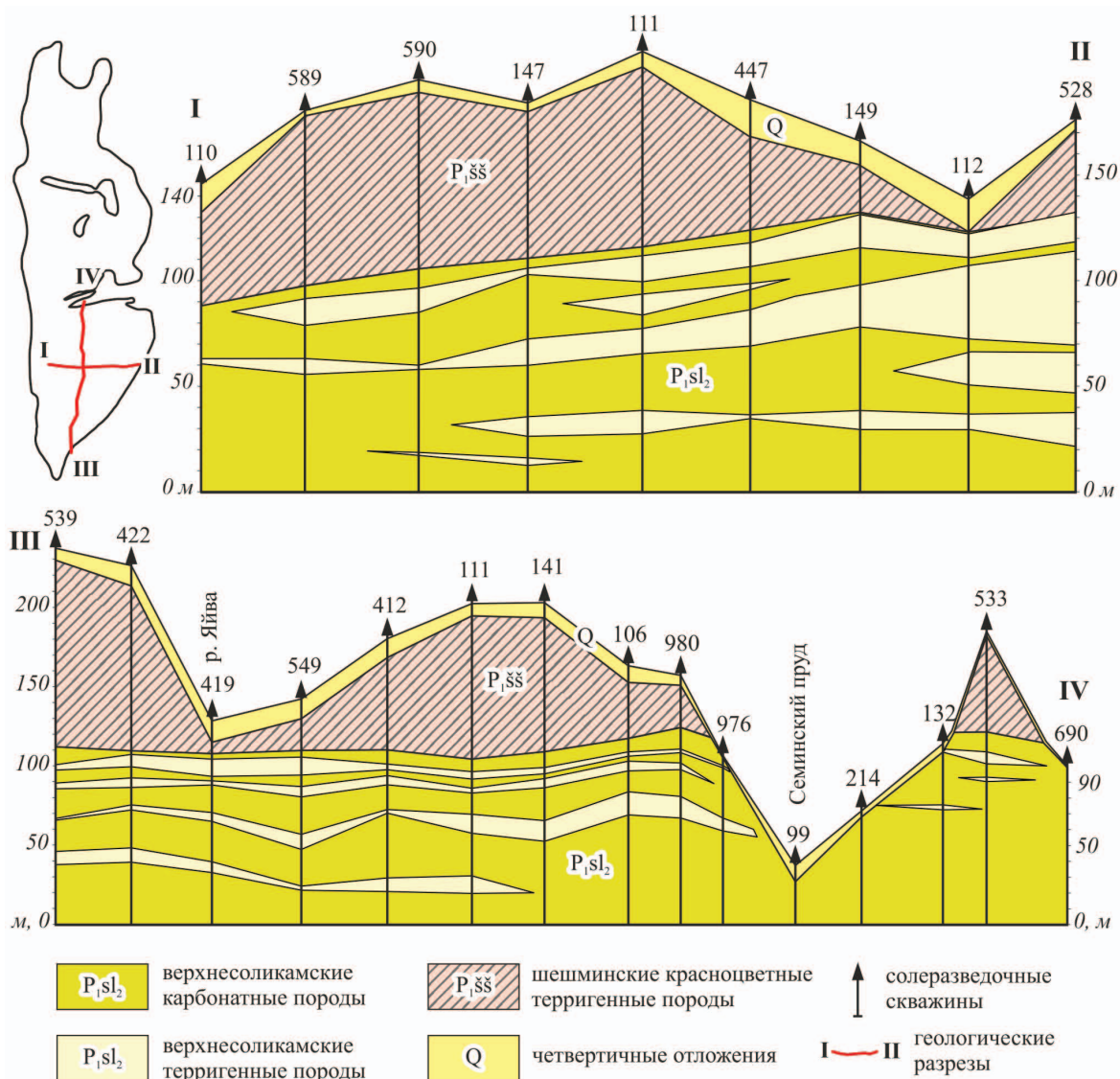


Рис. 4. Клинообразные тела песчаников в разрезах терригенно-карбонатной толщи на территории Верхнекамского месторождения солей

Fig. 4. Wedge-shaped bodies of sandstones in the cross-sections of the terrigenous-carbonate sequence in the Verkhnekamsk salts deposit



Гранулометрический анализ пород в шлифах показал, что размер обломков колеблется от 0.1 до 1 мм, при этом крупные зерна чаще угловатые, а мелко-, средне-размерные — полуокатанные и округлые. Межзерновые контакты чаще точечные, реже вогнуто-выпуклые, что указывает на незначительное преобразование пород.

Цемент песчаников — от базального до порового. Базальный чаще представлен микритом, идентичным соседним слоям известняков и мергелей. Поровый цемент представлен либо аналогичным микритом, либо раскристаллизовавшимся мелко-, среднекристаллическим кальцитом, либо крустификационным доломитом. Доломит в таких случаях формирует сноповидные волокнистые агрегаты вокруг зерен, заполняя практически все поровое пространство.

Полученные данные о вещественном составе аллотигенной образующей песчаников в 19 шлифах позволяют классифицировать эти породы с помощью треугольной QmFLt-диаграммы В. Н. Шванова [12] как кварцевые граувакки и собственно граувакки (рис. 3, а). Это указывает на незрелость обломочного материала, а в сочетании со средней сортировкой и степенью окатанности от плохой до хорошей говорит о незначительной дальности переноса материала.

Идентификация геодинамических обстановок питающих провинций с помощью QmFLt-диаграммы У. Дикинсона [13] показывает, что изучаемые породы соответствуют областям размыва коллизионных орогенов (рис. 3, б), следовательно, источник этих пород расположен в пределах Уральской складчатой области.

Остается открытым вопрос о фациальной обстановке формирования песчаных отложений. Для выяснения особенностей накопления песчаных отложений терригенно-карбонатной толщи были изучены архивные описания разрезов 516 скважин, в некоторых из них удалось изучить непосредственно керн. В итоге были составлены корреляционные схемы-разрезы для южной части ВКМС. Это позволило выявить в ТКТ несколько хорошо прослеживающихся терригенных клиньев (рис. 4). На широтном разрезе в южной части Соликамской впадины хорошо видна тенденция увеличения мощности всей толщи и количества песчаных слоев в ней с запада на восток. На меридиональном разрезе, построенном в центральной части впадины, четко прослеживаются 4 слоя песчаников, а каждый вышележащий развит шире. Это указывает на пульсационное поступление и постоянно увеличивающийся объем песчаного материала в бассейне Соликамской впадины.

При сопоставлении суммарной мощности песчаных слоев с карбонатными была получена процентная доля терригенного материала в трех толщах ТКТ. Первая включает в себя мергельно-доломитово-известняковую толщу, вторая — нижнюю, а третья — верхнюю зону известняково-терригенной толщи (рис. 1). В зависимости от района в каждом из выбранных интервалов толщи присутствует один-два пласта песчаника.

Данные о песчаности, полученные в нескольких сотнях скважин, послужили основой для построения карт изоконцентрат для каждой толщи (рис. 5). Общий план изолиний песчаного материала на картах выявил наличие ветвящихся конусов с постепенно уменьшающейся мощностью с юго-востока на запад. Вверх по разрезу отмечается как разрастание терриген-

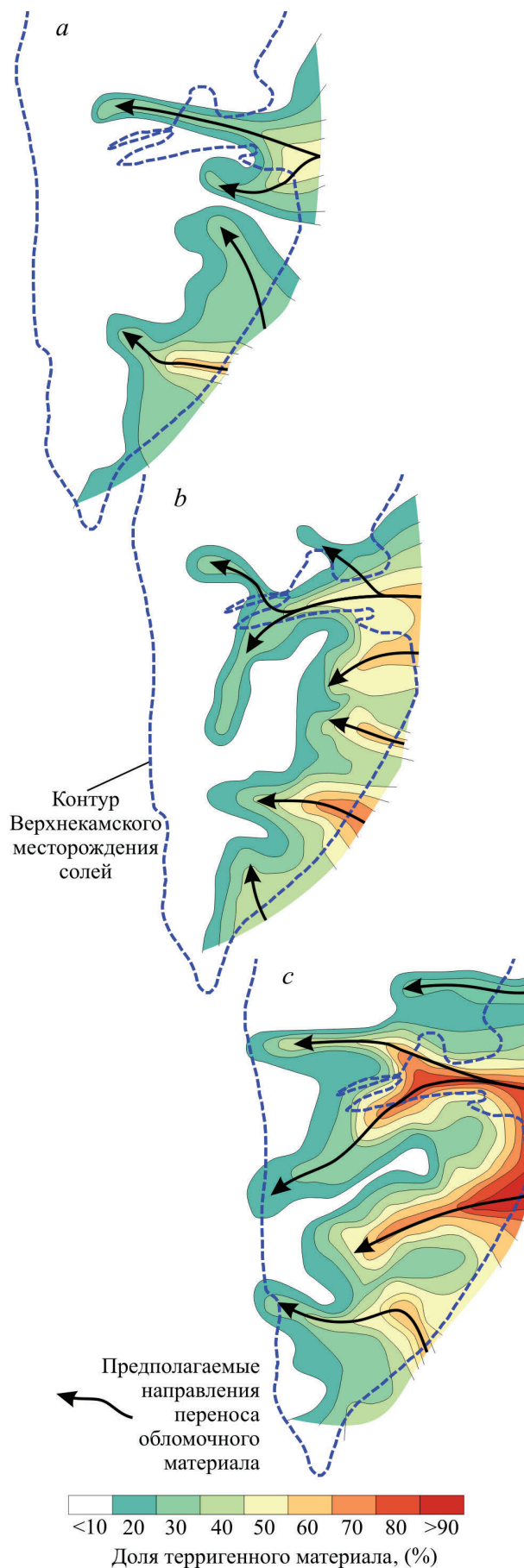


Рис. 5. Карты процентного содержания песчаного материала в нижней (а), средней (б) и верхней (с) частях терригенно-карбонатной толщи [11]

Fig. 5. Maps of percentage of sand material in the lower (a), middle (b) and upper (c) parts of the terrigenous-carbonate sequence [11]

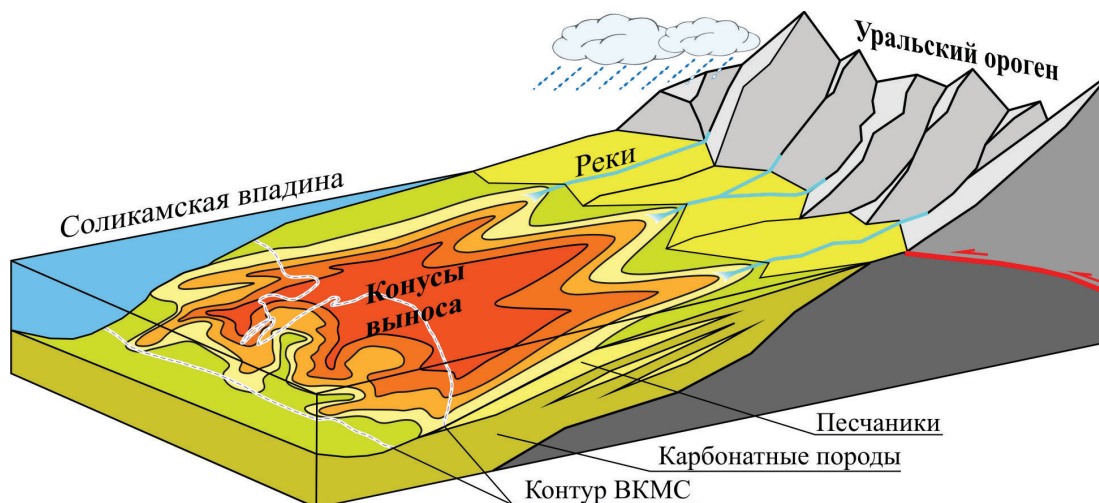


Рис. 6. Модель накопления терригенно-карбонатных отложений в пределах Соликамской впадины

Fig. 6. Model of accumulation terrigenous-carbonate deposits within the Solikamsk depression

ных конусов по площади, так и увеличение их доли в объеме толщ. Таким образом, в разрезе наблюдается тенденция замещения карбонатного осадконакопления терригенным.

Модель осадочного бассейна

Приняв во внимание фациальные и минералогическо-петрокластические особенности песчаных пород, направление сноса обломочного материала и геодинамическую обстановку региона в раннепермское время [8], можно представить модель накопления терригенно-карбонатной толщи в пределах Соликамской впадины следующим образом (рис. 6).

На востоке в современных координатах растет Уральский коллизионный ороген, в передовой части которого формируется Предуральский прогиб, частью которого является Соликамская впадина. В ходе постепенной эрозии орогена речными потоками во впадину выносятся большое количество обломочного материала, который здесь осаждается и переслаивается с карбонатным осадком. Постепенно количество обломочного материала возрастает, что приводит к заполнению бассейна и вытесняет карбонатное осадконакопление. Терригенная седиментация постоянно прогрессирует, а площадь подводных дельт постепенно увеличивается и наступает все дальше на запад. К моменту накопления перекрывающей шешминской свиты морской бассейн перестает существовать, что приводит к накоплению пестроцветных отложений в озерных и аллювиальных условиях.

Выводы

Изучение верхнесоликамской свиты позволило выявить наличие нескольких этапов привноса терригенного материала на фоне аутигенного осаднения карбонатного материала. Минералогическо-петрокластический анализ в комплексе с картами процентного содержания песчаного материала терригенно-карбонатной толщи в пределах Соликамской впадины позволили установить юго-восточный источник сноса, что указывает на близость орогена на этом участке по сравнению с северо-восточным бортом впадины. Фациальный анализ показал, что накопление песчаного материала происходило в подводных частях ветвящихся дельт, фронт которых распространялся все дальше на запад. Таким

образом, полученные результаты позволяют говорить о Соликамской впадине как о мелководно-морском бассейне с перекомпенсированным типом осадконакопления, завершившем свое существование в позднесоликамское время, что привело к континентальным обстановкам формирования вышележащих толщ.

Автор признателен И. И. Чайковскому, О. И. Галиновой, Т. В. Фадеевой, Л. В. Андрейко за ценные замечания и редакцию рукописи.

Работа выполнена в рамках проекта РФФИ 18-05-00046.

Литература

1. Варбхина Л. М., Канев Г. П., Колода Н. А. и др. Корреляция разнофациальных разрезов верхней перми севера европейской части СССР. Л.: Наука, 1980. 160 с.
2. Иванов А. А., Воронова М. Л. Верхнекамское месторождение калийных солей. Л.: Недра, 1975. 219 с.
3. Копнин В. И. Верхнекамское месторождение калийных, калийно-магниевых и каменных солей и природных рассолов // Изв. вузов. Горный журнал. 1995. № 6. С. 10–43.
4. Копнин В. И. Соликамский калиеносный бассейн // Пермская система земного шара: Межд. конгресс: Путевод. геол. экскур. Свердловск: Полиграфист, 1991. Ч. 3, вып. 1. С. 103–135.
5. Кудряшов А. И. Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. М.: EPSILONPLUS, 2013. 368 с.
6. Проворов В. М. Основные черты тектоники нижнепермских отложений и ее связь с глубинным строением Среднего Приуралья // Нижнепермские отложения Камского Предуралья: Тр. ВНИГНИ. Пермь: Перм. кн. изд-во, 1973. Вып. 118. С. 28–48.
7. Постановления Межведомственного стратиграфического комитета и его постоянных комиссий. Вып. 44. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2016. 68 с.
8. Пучков В. Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
9. Силантьев В. В. Соликамский горизонт Пермского Приуралья // Стратотипы и опорные разрезы Поволжья и Прикамья. Казань: Экоцентр, 1996. С. 13–55.
10. Софроницкий П. А. Восточная часть Русской платформы. Предуральский краевой прогиб // Геология СССР. М.: Недра, 1969. Т. XII. Ч. 1, кн. 2. С. 12–37.



11. Трапезников Д. Е. Характер распределения алевро-псаммитового материала в терригенно-карбонатной толще в границах Верхнекамского месторождения // Стратегия и процессы освоения георесурсов: Сб. науч. тр. Вып. 13 / ГИ УрО РАН. Пермь, 2015. С. 10–11.

12. Шванов В. Н. Петрография песчаных пород (компонентный состав, система, описание минеральных видов). Л.: Недра, 1987. 269 с.

13. Dickinson W., Valloni R. Plate setting and provenances of sands in modern ocean basins // Geology. 1983. V.8. P. 82–86.

References

1. Varbhina L. M., Kanev G. P., Koloda N. A. et al. *Korreljacija raznofacialnyh razrezov verhnej permii severa evropejskoj chasti SSSR* (Correlation of different facies sections of the upper Permian north of the European part of the USSR). Leningrad: Nauka, 1981, 160 pp.

2. Ivanov A. A., Voronova M. L. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie kaliynykh soley* (Verkhnekamskoye potassium salts deposit), Leningrad: Nedra, 1975, 219 p.

3. Kopnin V. I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie kaliynykh, kaliyno-magnievykh i kamennykh soley i prirodnykh rassolov* (The Verkhnekamskoye deposit of potassium, potassium-magnesium and rock salts and natural brines). Gornyy zhurnal, 1995, No. 6, pp. 10–43.

4. Kopnin V. I. *Solikamskiy kaliyosnyy basseyn* (Solikamskiy potassium basin) Proceedings of conference. Sverdlovsk: Poligrafist, 1991, pp.103–135.

5. Kudryashov A. I. *Verkhnekamskoe mestorozhdenie soley* (Verkhnekamskoye salt deposit). Moscow: EPSILONPLUS, 2013, 368 p.

6. Provorov V. M. *Osnovnye cherty tektoniki nizhneperm-skikh otlozheniy i ee svyaz s glubinnym stroeniem Srednego Priuralya* (The main features of the tectonics of the Lower Permian deposits and its relationship to the deep structure of the Middle

Urals). *Nizhnepermские отложения Камского Предуралья*. Perm: Proceedings of VNIGNI (118), 1973, pp. 28–48

7. *Postanovleniya Mezhdомstvennogo stratigraficheskogo komiteta i ego postoyannykh komissiy*. (Decisions of the Interdepartmental Stratigraphic Committee and its standing commissions). St. Petersburg: VSEGEI, 2016, 68 p.

8. Puchkov V. N. *Geologiya Urala i Priuralya (aktualnye vo-prosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* (Geology of the Urals and the Urals (actual issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)). Ufa: DizajnPoligrafServis, 2010, 280 p.

9. Silantev V. V. *Solikamskiy gorizont Permskogo Priuralja* (Solikamskiy horizon of the Perm Ural region). V. V. Silantev. *Stratotipy i opornye razrezy Povolzhja i Prikamja* (Stratotypes and reference sections of Volga and Kama regions). Kazan: Jekocentr, 1996, pp. 13–55.

10. Sofronitsky P. A. *Vostochnaya chast Russkoy platformy. Preduralskiy kraevoy progib* (The eastern part of the Russian platform. The Uralian foredeep basin). *Geologiya SSSR*. Moscow: Nedra, 1969, XII (1), pp. 12–37

11. Trapeznikov D. E.. *Harakter raspredeleniya alevropsam-mitovogo materiala v terrigenno-karbonatnoj tolshche v granicah Verkhnekamskogo mestorozhdeniya* (Character of the distribution of aleuroscammitite material in terrigenous-carbonate strata in the Verkhnekamskoye deposit boundary). *Strategiya i processy osvoe-niya georesurov*, collection of articles. GI UB RAS. Perm, 2015, pp. 10–11.

12. Shvanov V. N. *Petrografiya peschanykh porod (komponent-nyj sostav, sistema, opisaniye mineralnykh vidov)* (Petrography of sandy rocks (component composition, system, description of mineral species). Leningrad: Nedra, 1987, 269 p.

13. Dickinson W., Valloni R. Plate setting and provenances of sands in modern ocean basins. *Geology*, 1983, V.8, pp. 82–86.



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 551.435.442 (470.21)

DOI: 10.19110/2221-1381-2018-4-10-18

СТРОЕНИЕ И МОРФОЛОГИЯ ГРЯДЫ С НАПОРНЫМ МОРЕННЫМ ОСНОВАНИЕМ У ДЕРЕВНИ МОСЕЕВО (ЗАПАДНАЯ ЧАСТЬ ТЕРСКИХ КЕЙВ, КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ)

А. А. Вашков, О. Ю. Носова

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

Актуальной проблемой изучения четвертичного покрова Кольского региона на сегодняшний момент является установление структуры, генезиса, механизма формирования и возраста конечно-моренных образований. В ходе полевых работ, проведенных летом 2017 года, была изучена гряда, входящая во внутреннюю зону цепи конечно-моренных образований западной части Терских Кейв. Установлены морфологические особенности гряды: асимметричные склоны, плоская вершина, наличие валлообразных форм на восточном склоне. Ее строение исследовано в трех естественных обнажениях и трех шурфах. При этом использовались геологические, структурные и геоморфологические методы. Изученная гряда сложена ледниковыми (абляционным и базальным тиллом) и водно-ледниковыми отложениями, в ядре гряды выявлен складчатый тилл. Анализ текстур ледниковых отложений показал, что ледник при их формировании двигался с юго-запада на северо-восток. Особенности геологического строения гряды и морфологии поверхности позволили установить этапы её формирования, приуроченность гряды к краевой зоне и особенности динамики Беломорского потока последнего оледенения.

Ключевые слова: конечно-моренные образования, гряда с напорным моренным основанием, тилл, флювиогляциальные отложения, структурный метод, ледниковый морфогенез.

COMPOSITION AND MORPHOLOGY OF THE RIDGE WITH PUSH MORaine BASEMENT AT THE MOSEEV VILLAGE (WESTERN PART OF THE TERSKIE KEIVY, THE KOLA PENINSULA)

A. A. Vashkov, O. Yu. Nosova

Geological Institute of Kola Scientific Centre of RAS

Composition, genesis, morphology and age of the end moraine formations are topical problems in Quaternary geology of the Kola region. During the field works in summer 2017, the ridge, included in internal part of the end moraine belt of Western Terskie Keivy, was investigated. Morphological features of the ridge were identified. There are asymmetrical slopes, flat summit, roll-shaped topography on the eastern slope. Composition of the ridge was studied in 3 natural outcrops and 3 open test pits. Geological, structural and geomorphological methods were used. The studied ridge is composed of glacial (ablation and lodgement tills) and fluvio-glacial deposits, with folded till in its core. Structural features of the glacial units testified to that the glacier moved from south-west to north-east. Forming stages of the ridge, its coinciding with marginal zone and dynamic peculiarity of the Belomorskii Lobe of the Last Glaciation was recognized according to the geological structure and surface morphology of the studied ridge.

Keywords: end moraine, ridge with push moraine basement, till, fluvio-glacial deposits, structural method, glacial morphogenesis.

Введение

Ледниковые отложения и связанные с ними формы рельефа в Кольском регионе изучаются уже больше ста лет отечественными и зарубежными геологами. Большое внимание уделяется системам конечно-моренного рельефа, исследование которых является ключевым при выяснении особенностей развития последнего оледенения и ледникового морфогенеза. Одной из таких систем является полоса холмисто-грядового рельефа, расположенная субширотно вдоль южного берега Кольского полуострова, называемая Терскими Кейвами [9, 11, 14]. В западной части этой системы к ней примыкает субмеридиональная полоса краевых ледниковых образований, что обуславливает специфичность данного участка.

Первое комплексное исследование ледникового рельефа Терских Кейв было проведено в 1960–70-х годах С. А. Стрелковым, Б. Н. Кошечкиным, В. Я. Евзеровым и др. [11]. Проведенная работа опиралась на большой фактический материал, полученный В. Рамзаем,

А. А. Полкановым, М. А. Лавровой, А. А. Никоновым, А. Д. Армандом, Н. Н. Арманд, М. К. Граве и другими [9, 11]. В результате было установлено, что западная часть Терских Кейв относится к межлопастным моренным грядам, осложненным водно-ледниковыми образованиями. Позже В. Я. Евзеров эту краевую зону включил в состав одного из выделенных им поясов краевых образований, который был сопоставлен с климатическим ритмом бёллинг — средний дриас (Пояс II в интерпретации автора). Ледниковый рельеф района был отнесен к так называемой внутренней полосе пояса, которая здесь маркирует положение края ледника в теплую часть ритма. Согласно авторской модели, ледниковый рельеф района должен быть представлен маргинальным озом [4, 6]. В указанных и более поздних работах установлено, что формирование краевых образований западной части Терских Кейв связано с Беломорской лопастью Скандинавского ледника [4, 11–14].

В настоящий момент остаётся дискуссионным возраст и корреляция краевых образований западной ча-



сти Терских Кейв с соседними регионами. Одни исследователи сопоставляют эти формы с невской фазой последнего оледенения [4, 11], другие — с промежуточной фазой между невской и Салпаусселькя I [12, 13, 16]. На карте четвертичных образований масштаба 1: 1 000 000, составленной Л. Р. Семеновой и А. Е. Рыбалко, район исследования сопоставлен с краевой зоной стадии Салпаусселькя I и одной из осцилляций ледника этой стадии [2]. При этом в разных интерпретациях конфигурация краевой зоны различна.

Характеристика района исследования

Район исследования, изученный в ходе полевых работ 2017 года, расположен в пределах Кандалакшского берега Белого моря к востоку от полуострова Турий. Полевые работы проводились в междуречьях рек Чёрная, Кузрека, Хлебная, Оленица (рис. 1).

Поверхность кристаллического фундамента данного района залегает на глубинах 0–50 м и находится на абсолютных отметках от –50 м ниже уровня моря в пределах дна Кандалакшского залива Белого моря до 85 м над уровнем моря (н.у.м.) к северу от исследуемой гряды. В строении кристаллического фундамента в котловине Белого моря и вдоль побережья восточнее

р. Хлебной участвуют полимиктовые, красноцветные песчаники, конгломераты, алевролиты и аргиллиты терской и турьинской свит. Севернее развиты интрузивные породы (кварцевые диориты, плагиограниты, эндербиты, чарнокиты) умбинского комплекса нижнего протерозоя [2].

Четвертичные образования района работ представлены маломощным прерывистым чехлом ледниковых, водно-ледниковых, морских, аллювиальных и болотных отложений. Ледниковые отложения плащеобразно перекрывают крупные холмы-массивы, связанные с выступами кристаллического фундамента, и формируют специфичный грядово-холмистый, грядовый и грядово-увалистый рельеф. Мощность четвертичных отложений в среднем составляет 2–5 м, в пределах развития конечно-моренного грядово-холмистого рельефа достигает 10–30 м. Вдоль берега Белого моря развиты морские голоценовые террасы, сложенные морскими песками, алевролитами и глинами [3]. Морские аккумуляции не распространяются выше абсолютных отметок 35–38 м н.у.м.

К краевым образованиям непосредственно в районе исследований относится гряда, расположенная к северо-западу от д. Мосеево. Первое упоминание о ней

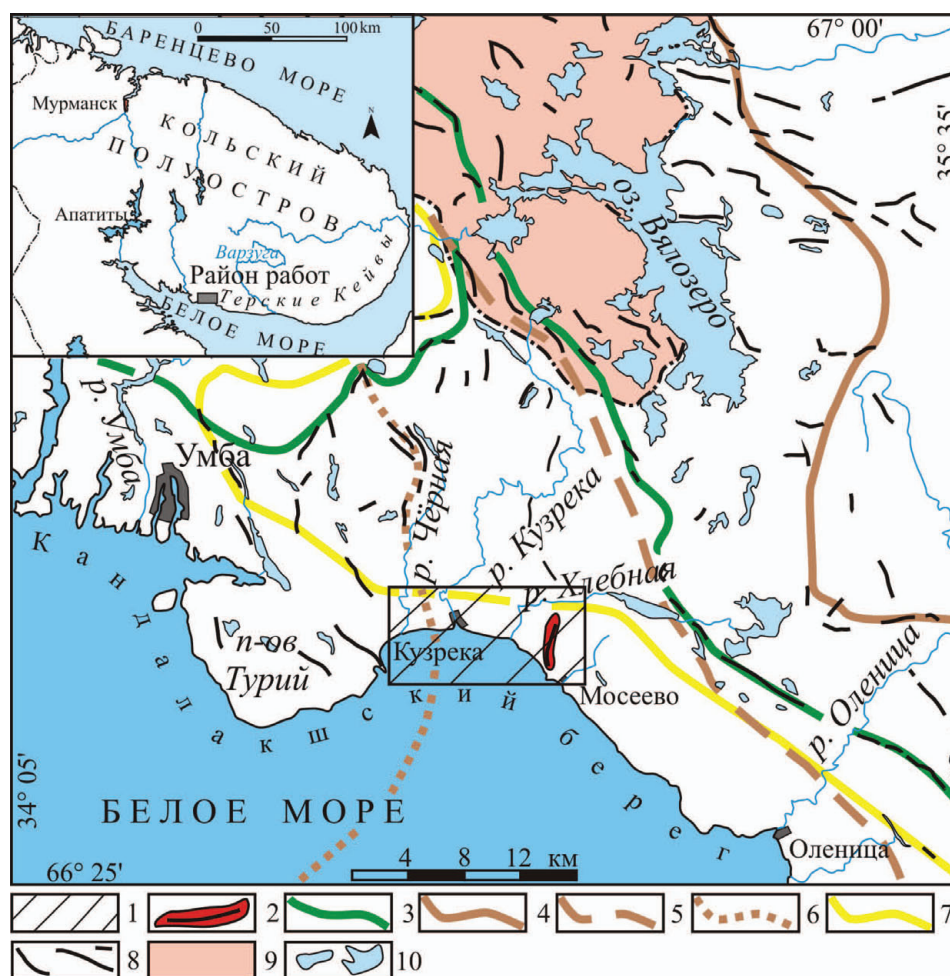


Рис. 1. Район исследования: 1 — участок работ; 2 — гряда с напорным моренным основанием; 3 — пояса краевых образований по [4, 6]; 4 — краевые образования, выделенные достоверно по [2]; 5 — краевые образования, выделенные недостоверно по [2]; 6 — осцилляция по [2]; 7 — краевые образования по [13]; 8 — гряды ледникового генезиса; 9 — Мунозерская возвышенность по [8]; 10 — озера

Fig. 1. Study area and the field work location: 1 — field work area; 2 — a ridge with push moraine basement; 3 — belts of glacial marginal formations, after [4, 6]; 4 — reliably identified marginal formations, after [2]; 5 — uncertainly provided marginal formations, after [2]; 6 — glacial oscillation, after [2]; 7 — marginal formations according to [13]; 8 — glacial ridges; 9 — Munozero Upland, after [8]; 10 — lakes

приводится в обзоре В. В. Кольки и О. П. Корсаковой [15], которые описали морфологию гряды и зафиксировали в её строении грубообломочные отложения абляционного тилла, залегающие на песчаных и гравийно-галечных флювиогляциальных осадках. На основании этих наблюдений был сделан вывод о гетерогенном, напорно-насыпном генезисе формы [8].

Методы исследования

В ходе полевых работ *геологическими методами* было изучено 6 искусственных обнажений (карьеры и придорожные выемки). Проводилось подробное изучение структурно-текстурных особенностей ледниковых и водно-ледниковых осадков. Отмечались их цвет, гранулометрический состав, текстуры и наличие отдельных слоёв, линз, вкраплений. Производились замеры мощности отдельных слоёв и линз, а также азимут и угол падения границ слоистости.

Для подтверждения генезиса и определения направлений нагнетания ледником обломочного материала применялся *структурный метод* массовых замеров плоскостных (плоскости плиток, границы слоистости) и линейных (длинные оси галек и валунов) элементов тилла. Замеры производились при помощи геологического компаса из квадрата 1×1 м, по 100 замеров азимутов и углов падения полюсов плитчатости и линейных элементов слоя. По результатам замеров с помощью программы OpenStereo 0.1.2 строились структурные диаграммы (использовалась нижняя полусфера и равноугольная проекция Вульфа). Анализ диаграмм начинался с выявления плоскости скольжения S_j , соответствующей максимуму полюсов плитчатости, которая указывает главное направление движения ледника [1, 7]. Эта плоскость условно переносилась на диаграммы ориентировки линейных элементов. В случаях, когда плоскости S_j соответствовал один или пара противоположных максимумов линейных элементов, устанавливалось направление *a*-линейности, которая указывает на перемещение галек и валунов согласно направлению движения льда. Если положения максимума или пары противоположных максимумов на диаграмме линейных элементов отличались на 55–90°, устанавливалась *b*-линейность. Она соответствует оси главного нормального напряжения в теле перемещающего обломки ледника и указывает на наличие перпендикулярных направлению движения льда систем растяжения или сжатия. Если на диаграммах ориентировки линейных элементов обнаруживаются максимумы, не совпадающие с *a*- и *b*-линейностью, то речь может идти о дополнительной системе напряжений в теле ледника, которая выражается на структурных диаграммах в виде дисперсии объемной линейности [1].

Геоморфологические методы заключались в сопоставлении геологических данных с формами рельефа. Прослеживание форм рельефа на местности проводилось в ходе маршрутной съемки с применением GPS-навигатора. При помощи геологического компаса и рулетки длиной 10 м фиксировались характеристики морфологических элементов форм рельефа (крутизна и высота склонов, азимут простираения гребней гряд). Через гряды у д. Мосеево был пройден нивелирный ход с 38 опорными точками, использованный при построении геологического разреза (рис. 2, А).

Результаты

Гряда у д. Мосеево отчетливо выражена среди ледникового рельефа района исследования. Её длина около 1.2 км, ширина 0.4–0.5 км, относительная высота 12–20 м. Гряда вытянута с севера на юг, имеет вид выпуклой к западу дуги. Вершинная часть уплощенная, с пологим и широким гребнем, находящимся на отметках от 45 до 52 м н.у.м. и плавно повышающимся с юга на север. На поверхности гряды отмечаются термокарстовые западины глубиной до 2 м. Склоны гряды асимметричные. Западный склон крутой (35–40°) и представляет собой поверхность ледникового контакта. Восточный склон более пологий (6–8°, реже до 12–14°), осложняется валообразными мелкими формами высотой 2–5 м. Северная оконечность гряды на отметках 55–62 м н.у.м. упирается в холмистую моренную равнину, в пределах которой отмечены выходы кристаллических пород, небольшие гряды с абсолютными отметками 68–75 м н.у.м., сложенные абляционным тиллом и ориентированные с юго-запада на северо-восток. К западу и югу от гряды расположены морские террасы, абсолютные отметки которых не превышают 35–38 м н.у.м. Пологий восточный склон гряды продолжается наклоненной к юго-востоку площадкой с флювиогляциальными осадками, которые ниже отметки 35 м н.у.м. сменяются морскими отложениями (рис. 2, В).

Строение гряды изучено в трех обнажениях (Мосеево-1, -2, -3), расположенных у автомобильной дороги Умба — Варзуга и в карьере. Основание гряды построено ледниковыми отложениями, представленными фациями складчатого и базального тиллов. Они изучены в обнажении Мосеево-3 (66°35'20" с.ш., 34°57'31" в.д.). Складчатый тилл представлен дислоцированными осадками, смятыми в лежащую складку волочения (рис. 3, слой 5). В ядре складки в виде линзы мощностью до 0.20–0.25 м залегают пески зеленовато-серые, глинистые, плотные, с гравием и галькой. Кровля и подошва линзы имеют падение согласно осевой плоскости складки. Вниз по разрезу линза распадается на небольшие фрагменты. Ядро складки обрамляют: 1) песок коричнево-красный, мелкозернистый, с тонкими прослоями (до 5 мм) песка глинистого, серо-коричневого, мощностью 1–2 см на висячем крыле и до 15 см на лежащем крыле; 2) песок разнотернистый, преимущественно крупнозернистый, бледно-красный, с гравием и галькой (диаметр зерен 0.7–1.0 см), мощностью от 5–7 см на крыльях до 15–20 см в замке складки; 3) гравийно-галечная смесь (преобладают гальки диаметром 3–7 см, хорошей степени окатанности) бледно-красная, с песком крупнозернистым, алевроитом и глинистыми частицами, мощностью от 1–2 см на крыльях до 20–43 см в замковой части складки. Падение осевой плоскости складки направлено по азимуту 218° под углом 40° (рис. 4, D), верхнее лежащее крыло складки падает по азимутам 212–236° под углами 32–49°, нижнее крыло наклонено по азимутам 202–212° и углами 38–46°. Видимая мощность отложений, слагающих складку — 1.7 м.

Базальный тилл (рис. 3, слой 4) представлен песком алевроитоглинистым, преимущественно мелкозернистым, с гравием, галькой и валунами, имеющим типичную для Кольского региона зеленовато-серую окраску [5, 10]. Характерной его чертой является плитчатая текстура (мощность отдельных пластинок-плиток 1–3

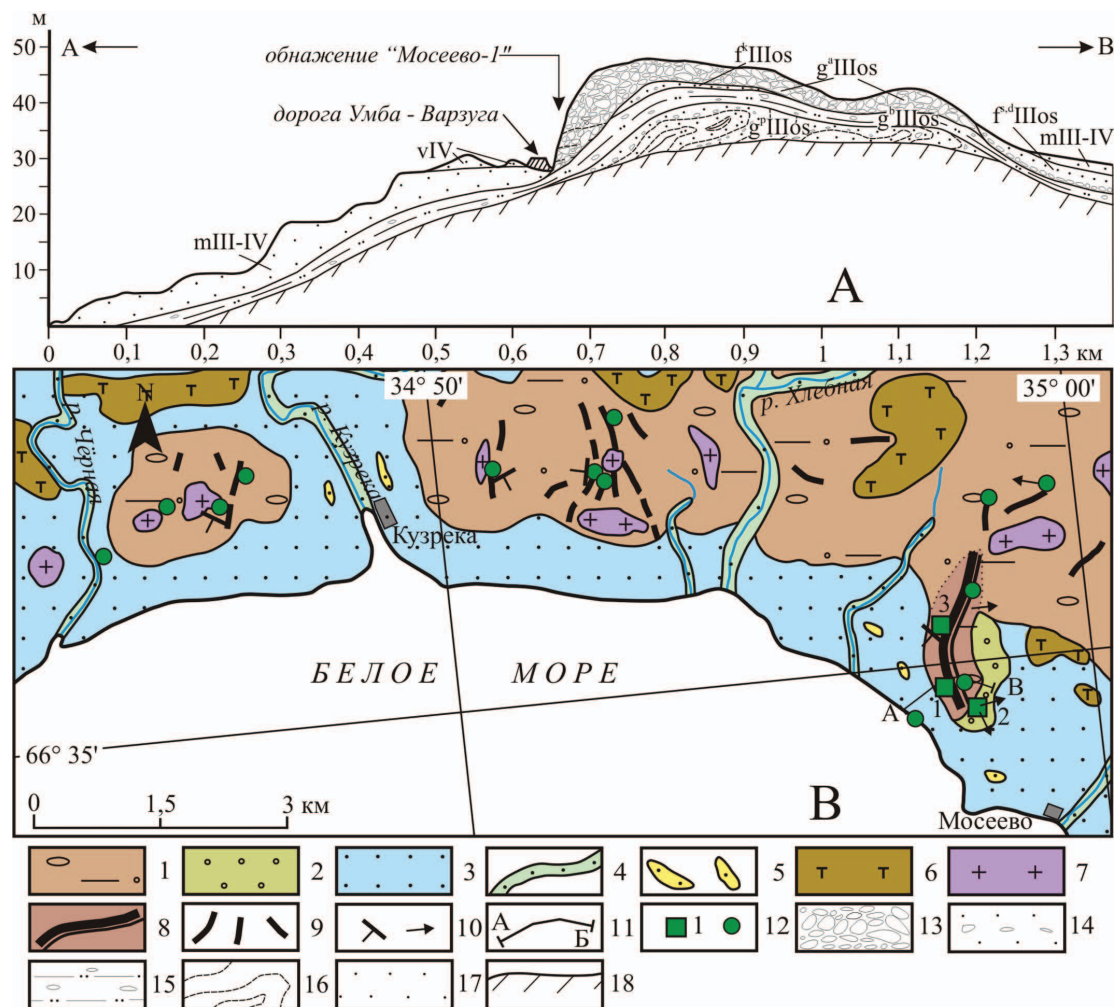


Рис. 2. Геологический разрез гряды с напорным моренным основанием (А) и гляциоморфологическая схема участка работ (В). Условные обозначения: 1 — холмистая моренная равнина; 2 — водно-ледниковый рельеф; 3 — морские террасы; 4 — речные долины; 5 — эоловые гряды; 6 — болотные массивы; 7 — выступы коренных пород с рельефом баранных лбов и флигбергов; 8 — гряды с напорным моренным основанием; 9 — гряды, сложенные абляционным тиллом; 10 — направление падения плоскостных элементов основных морен и направление падения слоистости водно-ледниковых отложений; 11 — положение геологического разреза; 12 — изученные обнажения в пределах исследуемой формы (Мосеево-1, -2, -3) (квадраты) и на прилегающей территории (кружки). Условные обозначения на разрезе: 13 — абляционный тилл; 14 — водно-ледниковые отложения; 15 — базальный тилл; 16 — складчатый тилл; 17 — морские и эоловые отложения; 18 — поверхность коренных пород

Fig. 2. Geological section of the ridge with push moraine basement (A) and a glaciomorphological scheme of the field work area (B). Legend for the Scheme (B): 1 — hummocky moraine plain; 2 — fluvio-glacial landforms; 3 — marine terraces; 4 — river valleys; 5 — eolian ridges; 6 — swamplands; 7 — bed rocks with roche moutonnee and flyggberg landforms; 8 — the ridge with push moraine basement; 9 — ridges, composed of ablation till; 10 — line of dip of planar elements in the lodgement till and in the laminated fluvio-glacial deposits; 11 — geological section; 12 — studied outcrops within the ridge under consideration (Mosееvo-1, 2, 3) (squares) and on the adjacent area (circles). Legend for the Section (A): 13 — ablation till; 14 — fluvio-glacial deposits; 15 — lodgement till; 16 — folded till; 17 — marine and eolian deposits; 18 — bed rocks surface

мм). Между пластинками, а также под гальками и валунами отмечены присыпки песка светло-серого, тонко- и мелкозернистого. Подошва слоя базального тилла неровная, извилистая, с клиньями осадков, слагающих складку, описанную выше. Мощность базального тилла в ядре гряды достигает 1.5–2.0 м.

Анализ падения полюсов плитчатости базального тилла обнаруживает отчетливую a -линейность по плоскости скольжения S_f , направленную по азимуту 234°. Это практически совпадает с азимутом падения осевой плоскости складки, установленным в залегающем ниже складчатом тилле (рис. 4, В, D). Обращают на себя внимание большие значения углов падения плоскостных элементов (в среднем 35°). Результаты замеров падения длинных осей галек и валунов показали один максимум b -линейности (7.7 %), смещенный относительно

но оси S_f на 57° (рис. 4, С). Максимум a -линейности по плоскости скольжения S_f выражен нечетко (до 3.2 %). Это свойство залегания крупнообломочного материала свидетельствует о наличии фронтальной системы напряжений сжимающего характера, ориентированной по азимуту 280–100°, которая приводила к вращению галек и валунов в направлении поперек движения ледника.

Базальный и абляционный тиллы во внутреннем строении гряды разделены осадками водно-ледникового ряда. Они вскрыты и изучены в обнажении Мосеево-3 на глубине 2–3 м (рис. 3, слои 2–3), где представлены песчано-гравийной смесью с галькой желто-серой слоистой и песком глинистым, мелкозернистым, коричнево-серым, слоистым. Слоистость субпараллельная, наклонена под углом 4° по азимуту 281°,

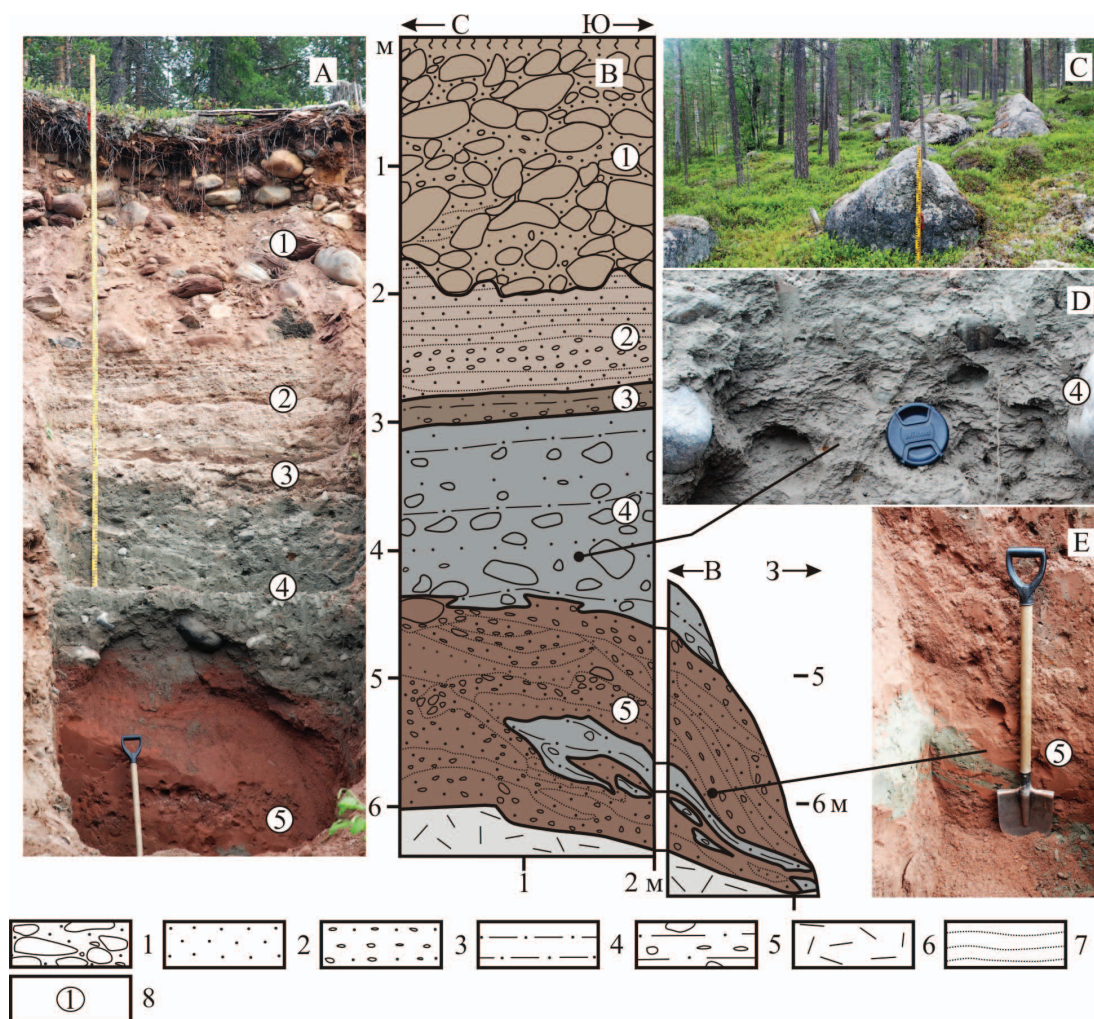


Рис. 3. Строение гряды с напорным моренным основанием в обнажении Мосеево-3: А — фотография, В — зарисовка разреза; С — валуны на западном склоне гряды; D — плитчатая текстура базального тилла; E — складчатый тилл в боковой стенке разреза; 1 — гравийно-галечная смесь с валунами; 2 — песок разноразмерный; 3 — песчано-гравийная смесь; 4 — песок глинистый; 5 — песок глинистый с галькой и валунами; 6 — осыпь; 7 — слоистость; 8 — номера слоев разреза; цвет на зарисовке разреза соответствует фактическому цвету отложений

Fig. 3. Composition of the ridge with push moraine basement in the outcrop Moseevo-3: A — photo; B — section sketch; C — boulders on the west slope of the ridge; D — flaggy structure of lodgement till; E — folded till in the section sidewall; 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; color in the section sketch corresponds to real color of deposits

выражена за счет изменения гранулометрического состава осадка. Мощность водно-ледниковых отложений составляет около 1.3 м.

Абляционный тилл в пределах исследуемой гряды был изучен в обнажениях Мосеево-1 (66°34'58" с.ш., 34°57'17" в.д.) и Мосеево-3, а также в шурфах. Он залегает с поверхности гряды в виде покрова и состоит из песков разноразмерных, коричнево-серых с красноватым оттенком, с включением большого числа гравия, гальки и валунов, а также алевроито-глинистыми частицами (отмечается их налипание на крупные обломки). Количество пелитовых частиц растет вниз по разрезу. На глубине свыше 5 м наблюдаются признаки слоистости за счет прослоев материала более высокой крупности. Слоистость имеет наклон под углом 14° по азимуту 224°, что близко к азимуту падения полюсов плитчатости базального тилла. Максимальная мощность абляционного тилла (свыше 6 м) отмечается на склонах гряды, в центре гряды она уменьшается до 1.5–2.0 м.

Замеры линейных элементов (длинных осей галек) в этих осадках обнаруживают рассеивание их ориентировки в виде полей и полос с отдельными слабо выра-

женными максимумами плотности в 4.0–5.2 % (рис. 4, А). Дисперсия линейности связана с изменением первоначального залегания обломков в результате оползания и перемещения по ледниковому склону. Вместе с этим, на диаграмме заметна пара максимумов, совпадающая с азимутом падения полюсов плитчатости базального тилла (*a*-линейности), что может свидетельствовать о частичном сохранении первичной преобладающей ориентировки обломков. В пользу этого говорит и присутствие слабо выраженного направления *b*-линейности, на 95° отличающегося от направления *a*-линейности. Пространственная ориентировка *b*-линейности может указывать на положение ледникового края согласно направлению простираания гряды во время формирования абляционного тилла.

Дистальный (восточный) склон гряды надстраивается плащеобразным покровом флювиогляциальных отложений. Они изучены в обнажении Мосеево-2 (66°34'47" с. ш., 34°57'55" в. д.) и представлены слоями песчано-гравийных смесей и разноразмерных песков, в основном хорошо сортированных. В разрезе установлена косая слоистость, характерная для фации водно-лед-



никовых дельт, перекрестная косая слоистость, характерная для фации конусов выноса, а также линзовидная слоистость зандровой фации (рис. 5). Измерения ориентировки падения косых серий слоистости и линз обнаруживают смену направления с северо-восточного (по азимуту 36°) в нижней части разреза на юго-восточное и южное (по азимутам $152\text{--}175^\circ$) в средней и верхней его частях.

Обсуждение и выводы

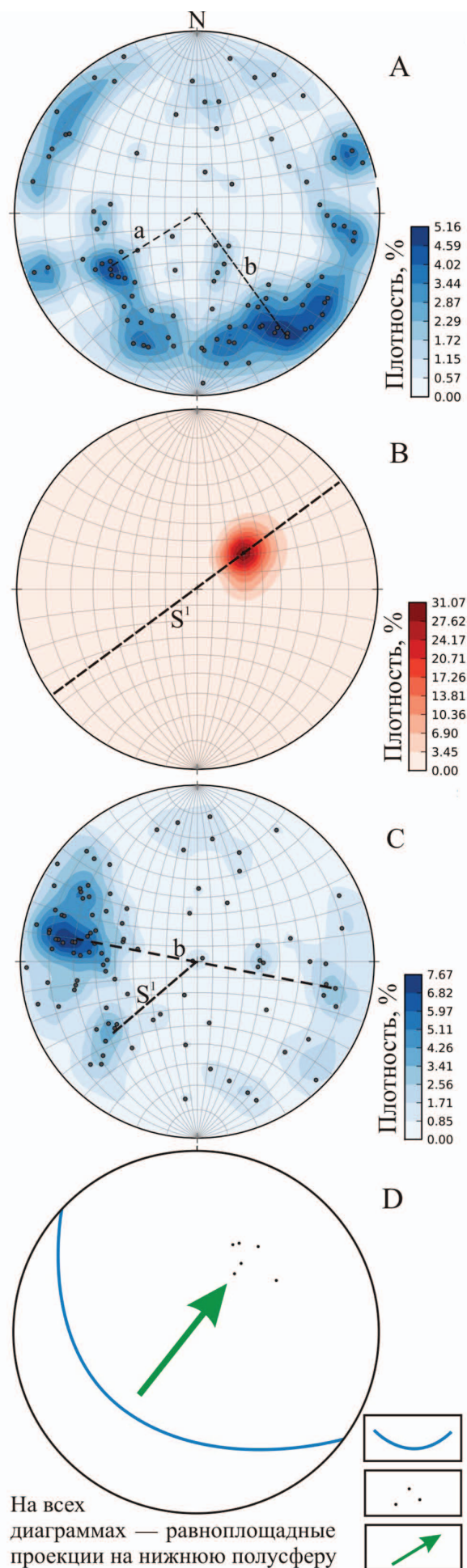
Специфика геологического строения и морфологического облика гряды позволила сделать выводы о механизме и этапах ее формирования.

Заложение этой формы началось в подледных условиях при наступании и активном воздействии ледникового покрова на породы ложа. Текстуальный анализ плитчатого и складчатого тиллов в ядре гряды указывает на перемещение льда, насыщенного дебрисом и вовлеченными в движение рыхлыми осадками, с юго-запада на северо-восток, т. е. к периферии Беломорской ледниковой лопасти Скандинавского ледника. Особенности структуры, цвет, хорошая окатанность и высокая насыщенность материала местными породами (песчаники терской свиты) позволяют предположить, что складчатый тилл состоит в основном из морских отложений, которые слагали литораль Белого моря восточнее полуострова Турий. Перенасыщенность нижней части ледника дебрисом и уклон поверхности ледникового ложа против направления движения привели к тому, что материал сминался в складки волочения, качения, или образовывались гляционадвиги малой амплитуды (рис. 6, этап 1).

Образовавшаяся складка, слагающая сейчас ядро гряды, несколько увеличила локальный уклон ледникового ложа, что привело к аккумуляции толщи базального тилла с характерной плитчатой текстурой, указывающей на условия вязко-пластичного течения морено-насыщенного льда [1]. Формирование и складчатого, и базального тиллов происходило в ходе единой и однонаправленной подвижки ледника, о чем свидетельствует характер контакта тиллов с включением и затаскиванием материала одного слоя в другой, а также одинаковое направление падения плитчатости и осевой поверхности складки. Установленное при помощи структурного анализа смещение плоскости b -линейности относительно направления нагнетания моренного материала (плоскости S_f) на 57° , а не на 90° может объясняться разной скоростью перемещения льда. Осевая часть ледникового

Рис. 4. Структурные диаграммы: А — азимуты линейных элементов абляционного тилла в разрезе Мосеево-1; В — азимуты падения полюсов плитчатости базального тилла в разрезе Мосеево-3; С — азимуты линейных элементов, там же; D — ориентировка осевой плоскости складки в складчатом тилле разреза Мосеево-3; 1 — осевая плоскость складки; 2 — полюса плоскостей слоистости; 3 — направление нагнетания материала в складку

Fig. 4. Structural diagrams: А — azimuths of linear elements in ablation till, outcrop Moseevo-1; В — dip azimuths of flagginess poles in lodgement till, outcrop Moseevo-3; С — azimuths of linear elements, in the same place; D — orientation of axial plane of the fold in folded till, outcrop Moseevo-3; 1 — axial plane of the fold; 2 — poles of lamination planes; 3 — direction of material injection into the fold



потока в наиболее глубокой части Белого моря двигалась быстрее, что могло приводить к вращению и перемещению галек и валунов относительно главного направления скольжения материала в зоне аккумуляции. В это же время происходило формирование базального тилла, в понижениях или на относительно ровных участках ледникового ложа слагающего моренную равнину, которая с севера прилегает к гряде (рис. 6, этап 2).

Во время дегляциации при омертвлении и деградации ледникового покрова неоднородности ледникового ложа способствовали формированию в леднике трещиноватых зон. Они наследовались потоками и небольшими озерами талых ледниковых вод над ледником и внутри его. Здесь происходило накопление водно-ледниковых отложений, близких к фации камов. Наличие в этих аккумуляциях глинистого песка с тонкими прослойками алевролита указывает на их формирование в условиях переменного-проточного водоёма. Параллельная слоистость в разнозернистых песках, залегающих выше, указывает на последующее незначительное усиление оттока талых вод (рис. 6, этап 3).

Дальнейшая деградация Беломорской лопасти ледника привела к формированию значительных масс абляционного тилла перлювиальной фации на поверхности мертвого льда. Этот материал был в значительной степени обводнен и мог быть перемещен в зоны трещин в теле ледника. Таким образом, была сформирована покрывка гряды из абляционного тилла, который можно отнести к фации тиллов сплывания (рис. 6, этап 4). Эти грубообломочные отложения без следов сортировки в водной среде формировались в понижении ледникового щита в период активного его таяния и в условиях оттока талых ледниковых вод из зоны аккумуляции. В пользу принадлежности абляционных тиллов, слагающих гряду с поверхности, к фации сплывания могут свидетельствовать признаки слоистости в нижней части разреза Мосеево-1, а также залегание тилла на водно-ледниковых осадках фации камов [7].

В это же время в пределах современной моренной

равнины, расположенной к северу от гряды, происходило формирование маломощного покрова абляционного тилла перлювиальной фации. Имевшиеся в леднике трещины по периферии наиболее высоких поднятий дочетвертичного ложа (с отметками свыше 50 м н.у.м.) заполнялись абляционным тиллом сплывания, что привело к формированию цепочек небольших гряд.

Более раннее частичное исчезновение мертвого льда на востоке и северо-востоке района исследования привело к формированию комплекса флювиогляциальных отложений на дистальном склоне изучаемой гряды. Постепенное изменение азимутов падения слоистости водно-ледниковых отложений дельт и конусов выноса с северо-восточного на южное направление (рис. 5) отражает процесс стаивания льдов в котловине Белого моря с появлением новых уровней стока для талых вод (рис. 6, этап 5).

Таким образом, изучение гряды с напорным моренным основанием у д. Мосеево позволило уточнить особенности ледникового морфогенеза на юге Кольского полуострова и выяснить механизм формирования ледниковой толщи этой территории. Выражение в современном рельефе, наличие в основании гляциоструктур складчатого и базального тиллов и широкое развитие отложений супрагляциального комплекса свидетельствуют о формировании гряды в краевой зоне последнего оледенения. Эта краевая зона связана с деятельностью активного Беломорского потока последнего оледенения. Насыщенный дебрисом лёд продвигался с юго-запада на северо-восток. На динамику потока оказывали влияние неровности его ложа в пределах полуострова Турий (до 100–170 м н.у.м.), что, в свою очередь, может свидетельствовать в пользу относительно небольшой мощности активного ледника. В краевой зоне активный ледник подвергался многочисленным разнонаправленным напряжениям, что нашло отражение в рассеивании ориентировки линейных элементов базального тилла. Край активного ледника имел сложную конфигурацию и располагался субмеридиональ-

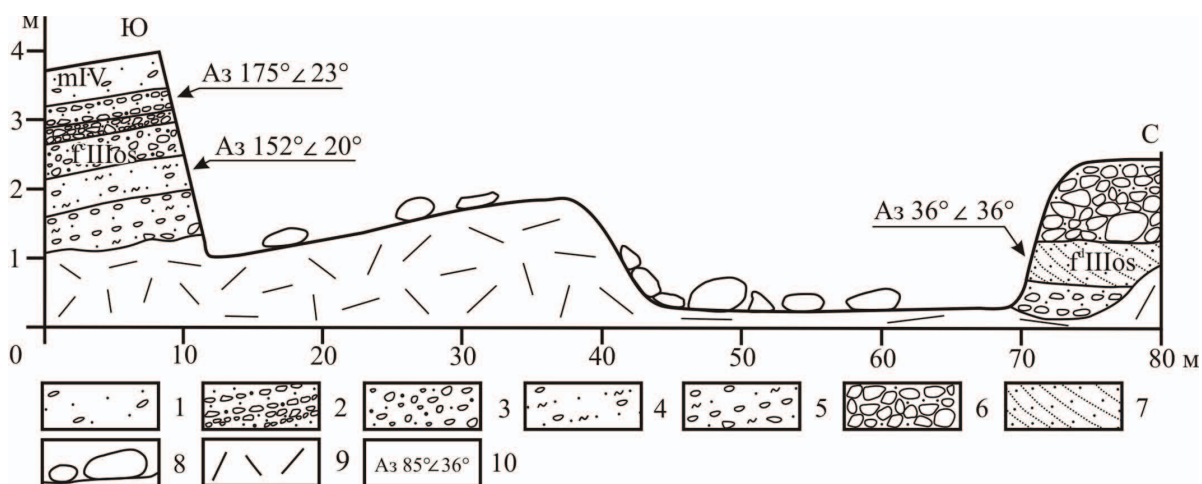


Рис. 5. Флювиогляциальные отложения в обнажении Мосеево-2: 1 — песок мелкозернистый с гравием; 2 — переслаивание песка разнозернистого с гравием, галькой и гравийно-галечной смеси с валунами; 3 — песчано-гравийная смесь с валунами; 4 — песок мелкозернистый глинистый; 5 — песчано-гравийная смесь плохо сортированная; 6 — валунно-галечный материал; 7 — песок мелкозернистый с косой слоистостью; 8 — валуны; 9 — не вскрытая часть карьера; 10 — азимут и угол падения слоистости

Fig. 5. Fluvio-glacial deposits in the open-pit Moseevo-2: 1 — fine-grained sand with gravel; 2 — alternation of fine-grained sand with gravel, pebbles and gravel-pebble mix with boulders; 3 — sand-gravel mix with boulders; 4 — clayey fine-grained sand; 5 — poorly sorted sand-gravel mix; 6 — boulder-pebble material; 7 — cross-laminated fine-grained sand; 8 — boulders; 9 — colluvium; 10 — azimuth and dip angle of lamination

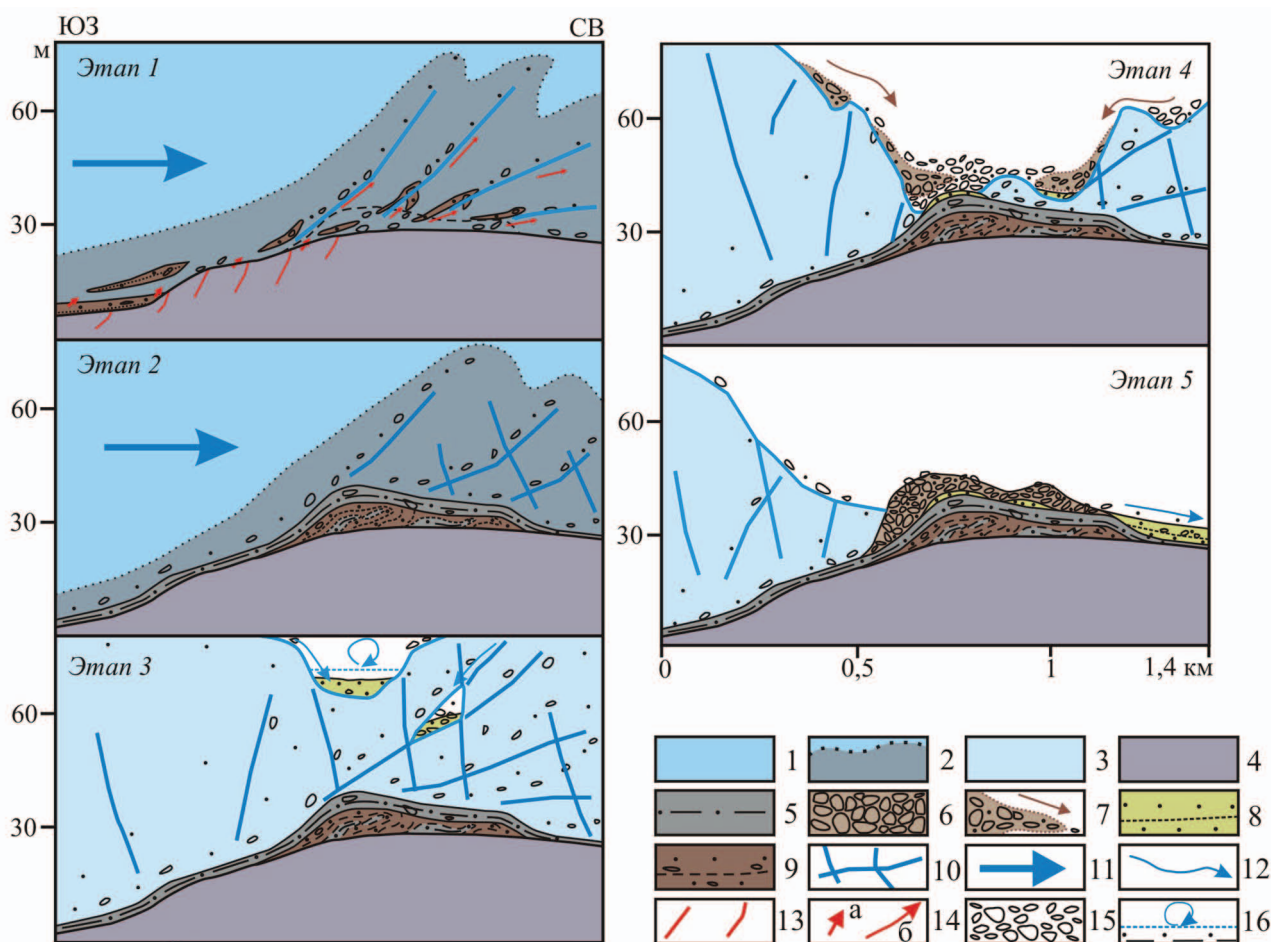


Рис. 6. Этапы формирования гряды с напорным моренным основанием у д. Мосеево: 1 — подвижный лёд; 2 — моренонасыщенный лёд; 3 — мёртвый лёд; 4 — подледниковый субстрат; 5 — базальный тилл; 6 — абляционный тилл; 7 — потоки тиллов сползания (флоу-тиллы); 8 — флювиогляциальные отложения; 9 — складчатый тилл; 10 — трещины во льду; 11 — направление движения льда; 12 — направление стока талых ледниковых вод; 13 — зона экзарации ледникового ложа; 14 — перемещение материала на границе «лёд—ложе» (а) и по трещинам в теле ледника (б); 15 — перлювиальный абляционный тилл на поверхности ледника; 16 — надледниковый водоём

Fig. 6. Forming stages of the ridge with push moraine basement at the Moseevo Village: 1 — active ice; 2 — debris-saturated ice; 3 — dead ice; 4 — subglacial substratum; 5 — lodgement till; 6 — ablation till; 7 — flow-till; 8 — fluvio-glacial deposits; 9 — folded till; 10 — ice cracks; 11 — ice flow directions; 12 — direction of melted-glacial water flow; 13 — areas of glacial erosion; 14 — displacement of the debris at the «ice — bed» boundary (a) and up the cracks in glacier (b); 15 — superglacial ablation till; 16 — superglacial lake

но северо-восточнее района исследования. В пределах котловины Белого моря положение краевой зоны может быть установлено в 50–60 км к юго-востоку от района исследования. Здесь к краевым образованиям могут быть отнесены подводные гряды, выявленные с помощью сейсмоакустического профилирования, проведенного в связи с геологической съемкой [2]. В то же время наличие положительных форм рельефа, построенных ледниковыми образованиями, отмечается на дне котловины Белого моря и к югу от гряды, расположенной у д. Мосеево [2]. Широкое развитие супрагляциальных отложений и форм рельефа свидетельствует об ареальной дегляциации района исследования.

Полученные результаты детализируют особенности строения краевых образований западной части Терских Кейв на их стыке с субмеридиональным комплексом краевых образований. Они будут использованы в дальнейших работах по установлению особенностей ледникового морфогенеза и особенностей динамики Беломорской лопасти последнего ледникового покрова на южном берегу Кольского полуострова.

Авторы выражают благодарность О. П. Корсаковой,

В. В. Колька и С. В. Мудруку за помощь при подготовке статьи, а также Д. С. Толстоброву и В. Л. Ильченко за активное участие в полевых работах.

Литература

1. Аболтинши О. П. Гляциоструктура и ледниковый морфогенез. Рига: Зинатне, 1989. 284 с.
2. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 1 000 000 (третье поколение). Серия Балтийская. Лист Q–(35), 36 (Апатиты) / Гл. ред. Ю. Б. Богданов. Объяснительная записка / Б. Ю. Астафьев, Ю. Б. Богданов, О. А. Воинова и др. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2012. 456 с.
3. Греков И. М., Зарецкая Н. Е., Колька В. В. Раннеголоценовые отложения долины р. Кузреки // Фундаментальные проблемы квартера, итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: VIII Всероссийское совещание по изучению четвертичного периода: Сборник статей. Ростов н/Д, 2013. С. 151–152.
4. Евзеров В. Я., Николаева С. Б. Пояса краевых образований Кольского региона // Геоморфология. 2000. № 1. С. 61–73.
5. Евзеров В. Я. Литология морены поздневалдайско-



го оледенения западной части Кольского полуострова // Вестник Мурманского государственного технического университета. 2017. Т. 20. № 1–1. С. 48–59.

6. Евзеров В. Я. Строение и формирование внешней полосы одного из поясов краевых образований поздневалдайского ледникового покрова в Кольском регионе // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2015. № 4. С. 5–12.

7. Каплянская Ф. А., Тарноградский В. Д. Гляциальная геология: Методическое пособие по изучению ледниковых образований при геологической съемке крупного масштаба. СПб.: Недра, 1993. 328 с.

8. Колька В. В., Евзеров В. Я., Мёллер Я. Й., Корнер Г. Д. Перемещение уровня моря в позднем плейстоцене — голоцене и стратиграфия донных осадков изолированных озер на южном берегу Кольского полуострова, в районе поселка Умба // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2013. №1. С. 73–88.

9. Лаврова М. А. Четвертичная геология Кольского полуострова. М.-Л.: Наука, 1960. 233 с.

10. Семенова Л. Р. Ледниковая геология Кольского полуострова (поздний плейстоцен): Автореф. ... дис. канд. геол.-мин. наук. СПб., ВСЕГЕИ, 2004. 23 с.

11. Стрелков С. А., Евзеров В. Я., Кошечкин Б. И. и др. История формирования рельефа и рыхлых отложений северо-восточной части Балтийского щита. Л.: Наука, 1976. 164 с.

12. Demidov I., Houmark-Nielsen M., Kjær K., Larsen E. The Last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: Ice flow patterns and decay dynamics// Boreas. 2006. №4. p. 425–443.

13. Ekman I., Iljin V. Deglaciations, the Younger Dryas End Moraines and their Correlation in Karelian A.S.S.R. and adjacent Areas// Eastern Fennoscandian Younger Dryas End Moraines. Field Conferencion. Espoo, 1991. p. 73–101.

14. Hättestrand C., Kolka V., Stroeve A. The Keiva marginal zone on the Kola Peninsula, northwest Russia: A Key Component for reconstructing the palaeoglaciology of the northeastern Fennoscandian ice sheet// Boreas. 2007. № 4. P. 352–370.

15. Kolka V., Korsakova O., Nikolaeva S., Yevzerov V. The Late Pleistocene interglacial, late glacial landforms and Holocene neotectonics of the Kola Peninsula// ICG excursion, № 34., August 14–23, 2008., 72 p.

16. Stroeve A. P., Hättestrand C., Kleman J. and all. Deglaciation of Fennoscandia// Quaternary Science Reviews. 2016. P. 1–31.

References

1. Aboltinsh O. P. *Glyatsiostruktura i lednikovyi morfogenez* (Glaciostructure and glacial morphogenesis). Riga: Zinatne, 1989, 284 pp.

2. Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiiskoi Federatsii. *Masshtab 1:1,000,000 (tretye pokolenie). Seriya Baltiiskaya. List Q-(35),36 (Apatity). Gl. red. Yu.B. Bogdanov. Obyasnitelnaya zapiska.* (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (third edition). Baltic series. Sheet Q-(35), 36 (Apatity). Ed. Yu.B. Bogdanov. Explanatory note)/ Astafev B. Yu., Bogdanov Yu. B., Voinova O. A. et.al. St.Petersburg: Kartograficheskaya fabrika VSEGEI, 2012, 456 pp.

3. Grekov I. M., Zaretskaya N. E., Kolka V. V. *Rannegolotsenovyie otlozheniya doliny r. Kuzreki* (Early Holocene deposits in

the Kuzreka River Valley). Fundamental problems of Quater, research results and the main directions of further investigations. VIII All-Russian meeting on study of Quaternary period: collected articles. Rostov-na-Donu, 2013, pp. 151–152.

4. Yevzerov V. Ya., Nikolaeva S. B. *Poyasa kraevykh obrazovaniy Kolskogo regiona* (Belts of marginal glacial formations of the Kola region). Geomorphology, 2000, No 1, pp. 61–73.

5. Yevzerov V. Ya. *Litologiya moreny pozdnevaldaiskogo oledeneniya zapadnoi chasti Kolskogo poluostrova* (Lithology of the Late Valdaian glacial moraine in the western part of the Kola Peninsula). Vestnik of MSTU, 2017, V. 20, No 1-1, pp. 48–59.

6. Yevzerov V. Ya. *Stroenie i formirovanie vneshnei polosy odnogo iz poyasov kraevykh obrazovaniy pozdnevaldaiskogo lednikovogo pokrova v Kolskom regione* (The structure and formation of the outer strip one of the marginal belts of the Late Valdaian ice sheet in the Kola region). Bulletin of Voronezh state University. Series: Geology. 2015, No 4, pp. 5–12.

7. Kaplyanskaya F. A., Tarnogradskii V. D. *Glyatsialnaya geologiya: Metodicheskoe posobie po izucheniyu lednikovykh obrazovaniy 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.

8. Kolka V. V., Yevzerov V. Ya., Moller Ya. Y., Korner G. D. *Peremeshchenie urovnya morya v pozdnem pleistotsene — golotsene i stratigrafiya donnykh osadkov izolirovannykh ozyor na yuzhnom beregu Kolskogo poluostrova, v rayone posyolka Uмба* (The Late Weichselian and Holocene relative sea-level change and isolation basin stratigraphy at the Uмба settlement, southern coast of Kola Peninsula). Izvestiya Rossiiskoi Akademii Nauk. Seriya geograficheskaya. 2013, No. 1, pp. 73–88.

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

10. Semyonova L. R. *Lednikovaya geologiya Kolskogo poluostrova (pozdnii pleistotsen)* (Glacial geology of the Kola Peninsula (Late Pleistocene)). Synopsis of Ph. D. thesis. St.Petersburg: VSEGEI, 2004, 23 pp.

11. Strelkov S. A., Yevzerov V. Ya., Koshechkin B. I., et.al. *Istoriya formirovaniya relyefa i rykhlykh otlozhenii severo-vostochnoi chasti Baltiiskogo shchita* (History of forming relief and loose deposits of north-eastern part of the Baltic Shield). Leningrad: Nauka, 1976, 164 pp.

12. Demidov I., Houmark-Nielsen M., Kjær K., Larsen E. The Last Scandinavian Ice Sheet in northwestern Russia: Ice flow patterns and decay dynamics. Boreas, 2006, No 4, pp. 425–443.

13. Ekman I., Iljin V. Deglaciations, the Younger Dryas End Moraines and their Correlation in Karelian A. S. S. R. and adjacent Areas. Eastern Fennoscandian Younger Dryas End Moraines. Field Conferencion. Espoo, 1991, pp. 73–101.

14. Hättestrand C., Kolka V., Stroeve A. The Keiva marginal zone on the Kola Peninsula, northwest Russia: A Key Component for reconstructing the palaeoglaciology of the northeastern Fennoscandian ice sheet. Boreas, 2007, No 4, pp. 352–370.

15. Kolka V., Korsakova O., Nikolaeva S., Yevzerov V. The Late Pleistocene interglacial, late glacial landforms and Holocene neotectonic of the Kola Peninsula. ICG Excursion, No 34, August 14–23, 2008, 72 pp.

16. Stroeve A. P., Hättestrand C., Kleman J. et. al. Deglaciation of Fennoscandia. Quaternary Science Reviews, 2016, pp. 1–31.



ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КВАРЦ-ХАЛЦЕДОНОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ КУЗБАССКОГО МАГМАТИЧЕСКОГО АРЕАЛА

Е. В. Звягинцева

МАУК «Новокузнецкий краеведческий музей», Новокузнецк
zmei7772006@mail.ru

Агаты – уникальные гидротермальные образования, генезис которых до конца не изучен. С целью уточнения условий образования рассмотрены геохимические особенности агатовых проявлений Кузбасса (участки Салтымаковского хребта, д. Ключи и участок «Терсюк») с использованием метода ICP-MS. Приводятся новые данные о содержании редких и редкоземельных элементов. По геохимическим особенностям среди исследуемых образцов выделено два типа: терсюкский и салтымаковский (включая проявление у д. Ключи). Второй тип отличается более высокими концентрациями Cr, Ni, Cu, V, Co. Значения Eu-аномалий меняются от 0.3 (д. Ключи) до 9.3 (Терсюк). Встречающееся иногда послойное чередование Eu-максимума и Eu-минимума говорит об изменчивости окислительно-восстановительного потенциала и о стадийности процесса. Для образцов участка «Терсюк» отмечено высокое содержание U относительно Th, что указывает на накопление U во флюидных включениях и на поверхности минералов. Во втором типе преобладает Th. Наличие двух геохимических типов может быть связано с разными этапами, генерациями, с различной насыщенностью флюидов, формирующих микропримесный состав агатов.

Ключевые слова: агат, халцедон, РЗЭ, Кузбасс, ICP-MS, рентгеноструктурный анализ.

GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF QUARTZ-CHALCEDONY FORMATIONS OF KUZBASS MAGMATIC AREA

E. V. Zvyaginceva

Novokuznetsk Local History Museum

Agates are unique hydrothermal formations, their genesis is not clear. To clarify the formation conditions we studied geochemical features of agate occurrences of Kuzbass (Saltykovsky ridge, v. Kliuchi and Tersyuk area) using ICP-MS. We present new data on the content of rare earth elements. Two types are geochemically distinguished 1) Tersyukskij and 2) Saltykovskij (including deposits in v. Kliuchi). The second type is notable for higher concentrations of Cr, Ni, Cu, V, Co. The values of Eu anomalies vary from 0.3 (v. Kliuchi) to 9.3 (area Tersyuk). Occurring sometimes layer-by-layer alternation of Eu maxima minima testifies to the variability of the redox potential and the stages of the process. In the samples from Tersyuk area we observed high content of U relative to Th, which indicates U transport and accumulation by fluids. The second type is dominated by Th. The presence of two geochemical types can be associated different stages, generations, with different saturation fluids forming micro-trace the content of the agate.

Keywords: agate, chalcedony, REE, Kuzbass, ICP-MS, laser ablation, x-ray analysis.

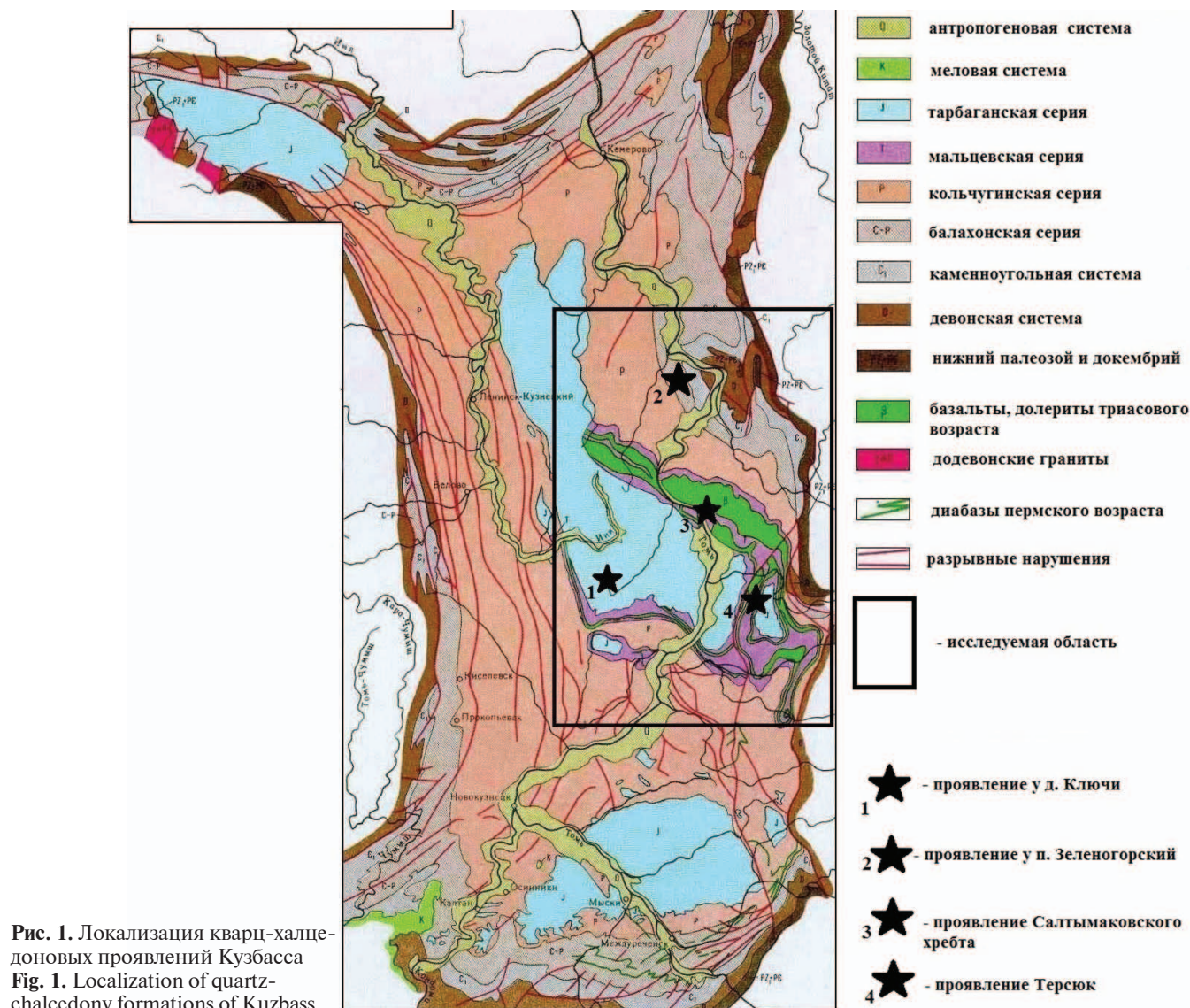
Месторождения агатов распространены на всех континентах, но процессы, связанные с формированием этих образований, до конца не ясны. В России имеется более сотни агатопроявлений и крупных месторождений от Калининградской области до Камчатки. Территория Кемеровской области также не обделена проявлениями этого вида сырья. Несмотря на хорошую геологическую изученность Кузнецкого угольного бассейна (Кузбасса), исследование данных проявлений всегда стояло на втором месте. Всё внимание геологов на протяжении всего длительного изучения Кузбасса было приковано в основном к каменному углю, а на проявления кварц-халцедонового сырья обращали внимание редко и нецеленаправленно. К сожалению, проявления на территории области служат источником стихийного извлечения поделочных камней в частном порядке. Следовательно, имеются лишь поверхностные сведения об их минералогии, петрографии, геохимии и даже распространении. Мы считаем, что данный вид сырья нужно брать во внимание не только с целью практического использования. Процесс агатообразования до конца не изучен, не имеется и единой классификации для агатов и ониксов. Проблема образования в природе этих поделочных камней занимает умы мно-

гих ученых всего мира, но до сих пор никто еще в полной мере не раскрыл данные процессы.

Целью работы является выявление геохимических характеристик зональности агатовых минерализаций Кузбасса. Важно проследить, как меняется содержание элементов-примесей по зонам в каждом из исследуемых образцов, отметить существенные вариации концентраций отдельных элементов; с учётом выявленных особенностей сравнить образцы разных проявлений Кузбасса. Попытки осмысления и анализа полученных данных могут дать важную информацию относительно генетических аспектов процесса формирования агатов.

Объект исследования

Вулканисты Кузбасса, вмещающие агатовую минерализацию, входят в пределы Алтае-Саянской камнесамоцветной области (АСКО). Кузнецкая зона, входящая в АСКО, рассматривается в геммологическом плане как площадь с неопределёнными перспективами по ограниченному сырью, хотя обладает ресурсами таких ювелирно-поделочных камней, как агаты и ониксы (рис. 1). Каменный материал был отобран нами со следующих проявлений:



— у д. Ключи (Крапивинский район). Проявление россыпного типа, приурочено к левобережью р. Мунгат, локализовано в четвертичных отложениях погребённой террасы (образец 7);

— участка «Терсюк» (Новокузнецкий район), где миндалекаменные базальты с агатовой минерализацией вскрыты в правом борту реки Терсюк (образцы 22 и 25);

— Салтымаковского хребта (Крапивинский район), где миндалекаменные базальты с агатовой минерализацией вскрыты в правом борту реки Томь (образец 49).

Ранее кварц-халцедоновые образования Кузбасса были разделены нами по структурно-текстурному признаку [2] на три типа (табл. 1):

- 1) с концентрически-зональным строением миндалины (агатовый тип);
- 2) с плоскопараллельной слоистой зональностью (ониксовый тип);
- 3) с комбинированной «агат-ониксовой» зональностью.

В каждом из рассмотренных проявлений кварц-халцедоновые образования имеют все типы зональности. Однако агатам Салтымаковского хребта наиболее присущ ониксовый тип рисунка, для остальных двух проявлений характерно комбинированное и кон-

центрически-зональное строение миндалины наряду с ониксовым типом. Но в общей массе доля образцов с плоскопараллельным рисунком преобладает. По нашему мнению, это является особенностью кварц-халцедоновых образований Кузбасского магматического ареала. Вопрос о типах зональности очень сложен. На этот счёт у исследователей нет единого мнения. В любом случае причинами различных текстур зональности могут выступать такие параметры, как химический потенциал среды кристаллизации, скорость кристаллизации, ход изменения температуры и давления, концентрация минералообразующих веществ [4].

Методика исследования, аппаратура, пробоподготовка

Используемые в работе методы: ICP-MS и рентгеноструктурный. Для получения рентгенограмм измерения проводились на дифрактометре X*Pert PRO. Эксперимент выполнялся при нормальных условиях по геометрии Брэгга — Брентано с использованием $\text{CuK}\alpha$ -излучения. Напряжение на трубке 40 кВ, ток 30 мА (аналитик — Т. С. Небера). Определение микроэлементного состава проводилось на квадрупольном ICP-MS-спектрометре Agilent 7500 сх, позволяющем определять концентрации рассеянных элементов от Li до U включительно (аналитик — Е. С. Рабцевич).



Таблица 1. Структурно-текстурные типы кварц-халцедоновых образований Кузбасса
Table 1. Structural-textural types of quartz-chalcedony formations of Kuzbass

1 тип Агатовое (концентрически-зональное) строение миндалины	3 тип Ониксовое (плоско-параллельное) строение миндалины	2 тип Комбинированный тип (в одной миндалине ониксовая и агатовая зональности)
		
		

Для детального исследования данными прецизионными методами было отобрано с каждого проявления по 1–2 образца, которые были распилены по слоям (всего 25 проб (рис. 1). Распиловка производилась с помощью высококачественных алмазных дисков с использованием непрерывной подачи на диск воды. Для всех анализов использовались порошковые пробы, истёртые до состояния пудры в корундовой ступке.

На рисунке 2 показаны опробованные слои, каждый из которых обозначен соответствующей цифрой. Далее по тексту обозначение слоя будет состоять из номера образца и номера слоя (например: 7-1, 7-2, 25-1, 25-2 и т. д.)

Полученные результаты и обсуждение

По данным рентгеновской дифракции в оторочках агатовых миндалин наряду с кварцем присутствует кристобалит (25-1) или кристобалит с цеолитом (22-1). Внутренние слои всех образцов агата и оникса сложены кристаллозернистым кварцем и халцедоном. Четко разделить разновидности кремнезема каждого изучен-

ного слоя (зоны) пока затруднительно, здесь мы можем говорить о преимущественном нахождении того или иного минерала. Поскольку целью работы является послойное геохимическое исследование кварц-халцедоновых образований, мы в данной работе не останавливаемся более подробно на минеральном составе. Отметим только, что для диагностики кремнезёма была применена методика [1], использующая различия в соотношениях интенсивностей рефлексов 110 (2.45 Å), 102 (2.27 Å) и 111 (2.22 Å) на дифрактограммах кварца и халцедона.

В данной работе приводятся новые данные о содержании редких и редкоземельных элементов в кварц-халцедоновых образованиях проявлений Кузбасского магматического ареала (рис. 3). В геологическом отчете А. И. Юрьева за 1992 год [3] приведены результаты спектрального анализа для образцов участка «Терсюк». Эти данные относительно наших значений завышены в несколько раз (табл. 2), за исключением концентрации Ga. Близкие к нашим данным значения наблюдаются лишь для Zn. Приведенные значения в отчете тридцатилетней давности, вероятно, не корректно сопостав-

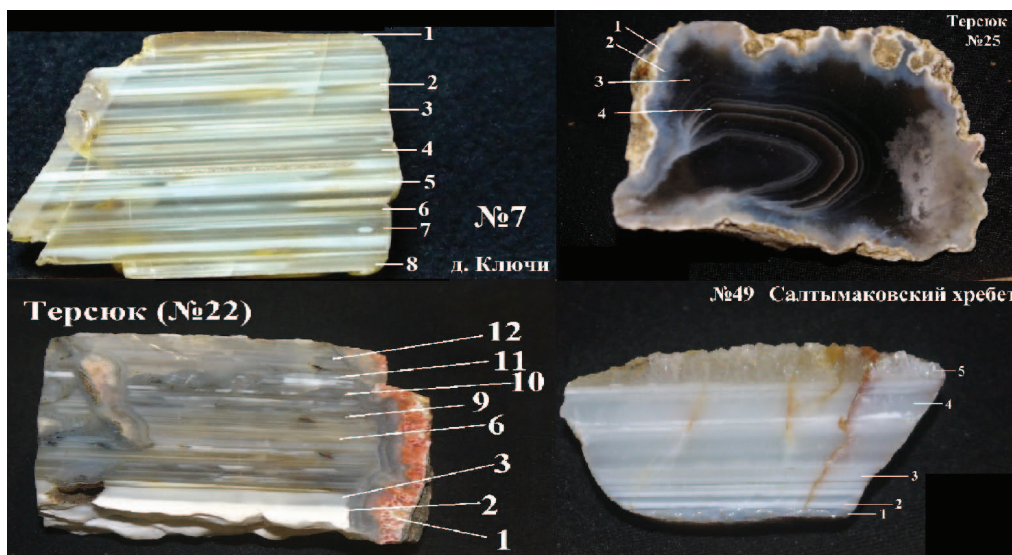


Рис. 2. Исследуемые образцы, распиленные по зонам (слоям)
Fig. 2. Test samples, cut by zones (layers)



лять с современными данными. Тем более что в отчете А. И. Юрьева не описана пробоподготовка, а именно не ясен главный момент — из каких участков был взят материал для анализов. Поэтому непонятно, по каким причинам содержание многих элементов имеет такие высокие показатели относительно приведенных нами.

*Проявление участка «Терсюк»
(образцы 22 и 25).*

В миндалине 22 с плоскопараллельной зональностью отмечено повышенное содержание (10–100 ppm) Ti, Mn, Zn, Sr и Ba; в концентрации 1–10 ppm присут-

ствуют Be, Cr, Ni, Cu, Ga и Rb; содержания Sc, V, Co, Y, Zr, Nb, Cs, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Er, Yb, Hf, Pb, U и Sn определены в пределах 0.01–1 ppm; Ge, Tb, Ho, Tm, Lu, La, Ta, W, Th — меньше 0.01 ppm.

В миндалине 25 с зональностью агатового типа определены следующие концентрации элементов: Ti, Mn, Zn, Sr и Ba — 10–100 ppm; Cr, Ni, Cu, Ga; Zr, Rb, Pb — 1–10 ppm; Be, Sc, V, Co, Y, Nb, Sn, Ge, U, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Dy, Er, Yb, Hf и Cs — 0.01–1 ppm; Eu, Tb, Ho, Tm, Lu, Ta, W, Th — меньше 0.01 ppm.

Видно, что кварц-халцедоновые образования участка «Терсюк» с агатовой и ониксовой зональностью мин-

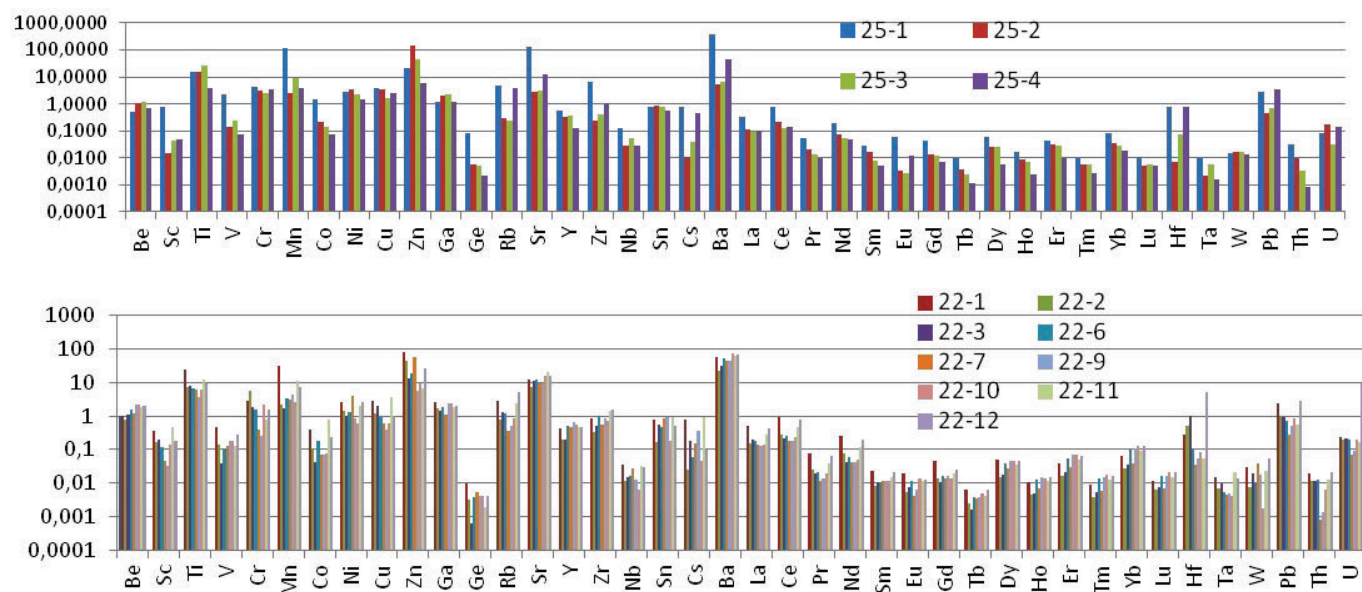


Рис. 3. Диаграммы распределения элементов-примесей (ppm) в кварц-халцедоновых проявлениях участка «Терсюк» (Кузбасс)
Fig. 3. Diagrams of distribution of trace elements (ppm) in the quartz-chalcedony formations of Tersyuk (Kuzbass)

Таблица 2. Значения концентраций элементов-примесей в образцах участка «Терсюк»*
Table 2. Concentration of trace elements in samples from «Tersyuk» area*

Элемент	Данные А. И. Юрьева [3]	Данные автора (на примере образца №22)									
Элемент	В ppm	22	22–1	22–2	22–3	22–6	22–7	22–9	22–10	22–11	22–12
Sc	30	0.81	0.36	0.16	0.19	0.12	0.04	0.03	0.14	0.44	0.18
Pb	20	1.09	2.39	0.9	0.95	0.72	0.28	0.51	0.86	0.55	2.89
Cu	50	2.25	2.86	1.15	1.97	0.91	0.6	0.38	0.62	3.77	1.04
Zn	300	7.78	83.1	44.5	12.8	18.8	58	5.5	9.04	6.66	25.8
Mo	7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Be	40	0.81	0.96	0.78	1.1	1.5	1.23	2.11	2.2	1.8	2
Zr	500	19	0.84	0.33	0.53	1.04	0.55	0.87	0.7	1.38	1.5
Ga	7	0.56	2.63	1.74	1.45	1.87	1.13	2.41	2.31	1.9	2.01
Y	20	0.32	0.42	0.2	0.2	0.5	0.46	0.65	0.57	0.47	0.48
Yb	3	0.07	0.06	0.03	0.04	0.1	0.04	0.11	0.13	0.09	0.12
Sr	400	135	11.6	7.5	11.5	11.9	9.5	9.6	16	20	15.5
Ba	2000	462	55.5	21.5	31.3	52.5	42	43.2	74.3	59.6	69.7
As	70	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
P	3000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Li	50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Cd, Ar, Hg, W, Sn, Ta, Nb, Ge, Bi, Sb	Данные отсутствуют										

*Данные для образцов Салтымаковского хребта нами не были обнаружены.

*Data for samples from Saltymakovsky ridge are not determined.



далин в целом геохимически сходны. Но если для ониксов характерно постоянное послойное чередование более низких концентраций с более высокими, то для агатов характерно закономерное снижение концентраций примесей к центру (но не для всех элементов).

Особенно четко эта тенденция прослеживается в поведении редкоземельных элементов (за исключением Eu). Рост концентраций Eu ближе к центру является следствием смены окислительной обстановки на восстановительную, которая способствовала повышению мобильности Eu^{2+} . Распределение РЗЭ, нормированное на хондрит, характеризуется некоторой обогащенностью легкими элементами, четко выраженной только для Ce и La (рис. 4). Для образца 22 (оникс) характерна положительная европиевая аномалия для всех слоев ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1-2.4$).

Для образца 25 (агат) в первом и центральном слое обнаруживается положительная европиевая аномалия ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 3-9.8$), тогда как 2-й и 3-й слои показывают обратную картину ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 0.5-0.9$). Все это может быть связано с колебаниями окислительно-восстановительного потенциала.

Проявление Салтымаковского хребта (образец 49)

В этом образце отмечено повышенное содержание (10–100 ppm) Ti, Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr и Ba; в концентрации 1–10 ppm присутствуют Rb, V, Co, Zr, Nb и Ga; концентрации Sc, Be, Y, Nb, Sn, La, Ce, Pr, Nd, Sm, W, Pb, Dy, Ge, Er, Yb, Hf, Cs, Ta, Th, U находятся в диапазоне 0.01–1 ppm; содержания Eu, Tb, Ho, Tm и Lu меньше 0.01 ppm (рис. 5).

Распределение РЗЭ, нормированное на хондрит, для оникса Салтымаковского проявления характеризуется обогащенностью легкими элементами (рис. 6), причём более значимой, чем в случае с проявлением участка «Терсюк».

Все слои характеризуются положительной европиевой аномалией ($\text{Eu}/\text{Eu}^* = 1.03-2.6$), но в третьем, четвертом и пятом слоях она совсем слабая (на уровне 1), что может отражать влияние окислительной среды на степень проникновения Eu в глубь миндалины.

Проявление у деревни Ключи (образец 7)

Для данного проявления отмечено повышенное содержание (10–100 ppm) Mn, Ni, Cu, Ti, Ga, Cr, Zn, Ba; 1–10 ppm для Rb, V, Co, Sr, La, Ce; 0.01–1 ppm для Sc, Be, Y, Nb, Sn, Pr, Nd, Sm, W, Pb, Ge, Zr, Cs, Eu, Gd, Tb, Dy, Er, Yb, Hf, Ta, Th, U и меньше 0.01 для Tm, Lu (рис. 5). Распределение РЗЭ, нормированное на хондрит, характеризуется заметной обогащенностью лег-

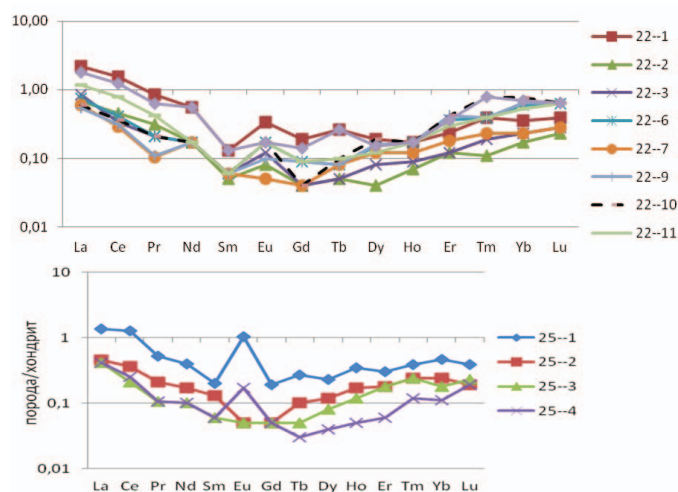


Рис. 4. Нормированные на хондрит [6] графики распределения редкоземельных элементов в кварц-халцедоновых проявлениях участка «Терсюк» (Кузбасс)

Fig. 4. Chondrite-normalized [6] graphs of the distribution of REE in the quartz-chalcedony formations of Tersyuk (Kuzbass)

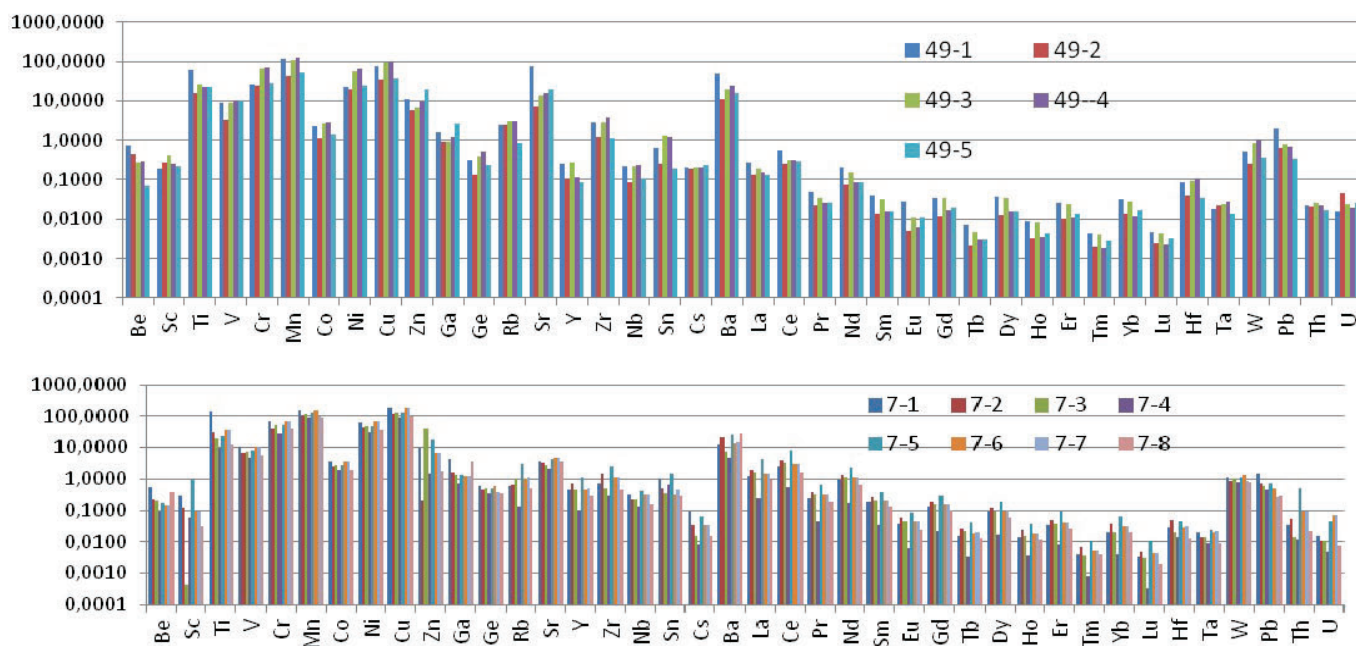


Рис. 5. Диаграммы распределения элементов-примесей (ppm) в кварц-халцедоновых проявлениях Салтымаковского хребта (Кузбасс) и д. Ключи (Кузбасс)

Fig. 5. Diagrams of distribution of impurity elements (ppm) in the quartz-chalcedony formations of the Saltymakovsky ridge (Kuzbass) and v. Kliuchi (Kuzbass)

кими элементами (рис. 6) в отличие от проявления участка «Терсюк».

Центральный слой этого образца содержит повышенное значение Gd. Во всех слоях отмечена отрицательная Eu-аномалия ($Eu/Eu^* = 0.3-0.8$). Данный факт может быть следствием повышенного окислительно-го потенциала в условиях открытого доступа кислорода. Дело в том, что сквозь поровые пространства свободнее проникает Eu^{2+} [6], чему способствует восстановительная обстановка (в этом случае можно ожидать положительную аномалию (иногда во всех слоях), что характерно для проявления участка «Терсюк»). В окислительной среде формируется Eu^{3+} , проницаемость которого сквозь поровые пространства затруднена [6], и в этом случае часть Eu оказывается за пределами миндалины либо в первых приконтактовых слоях. Вследствие этого и наблюдается отрицательная аномалия, свойст-

венная образцу 7, либо положительная в приконтактовых слоях с резко падающим значением Eu/Eu^* (практически до 1) во всех последующих слоях, что характерно для оникса Салтымаковского хребта (рис. 6, образец 49). Тем не менее видно, что в одном отдельном образце разные слои могут показывать как отрицательную, так и положительную Eu-аномалию, например в образце 25. Такая картина наблюдается и для образцов из Лаутербаха Германии [5]. Отличительной геохимической особенностью кварц-халцедоновых проявлений у д. Ключи и Салтымаковского хребта являются значительно более высокие концентрации Cr, Ni, Cu, V, Co по отношению к агатам участка «Терсюк», которые являются более стерильными. Это может быть связано с разными этапами, различными генерациями кварц-халцедоновых образований. Косвенным подтверждением этого служат находки на участке «Терсюк» ксенолитов более «ранних» агатов в более «поздних».

О распределении U и Th

В работах ряда исследователей ранее отмечен факт большего содержания U относительно Th в агатах, что может указывать на транспорт и накопление мобильного U флюидами [5] (рис. 8). Для образцов 22 и 25 (участок «Терсюк») также отмечается высокое содержание мобильного U по сравнению с Th. Торий в отличие от урана относительно легко встраивается в кристаллические решетки минералов. Предполагается, что торий при прохождении флюидов через породы захватывается в структуру минералов, а уран остается в растворе, так как не может войти в кристаллическую структуру минералов. Поэтому его повышенное содержание указывает на наличие в агатах большого числа флюидных включений, в которых находится U, или в форме уранила был высажен из флюидов на поверхность кристаллитов халцедона [5].

Для образца 7 (оникс из россыпного проявления у д. Ключи) характерна противоположная картина: содержание Th преобладает над содержанием U (рис. 7). Возможно, что подобное исключение вполне закономерно для россыпного проявления, формирование которого проходило при разрушении вмещающих пород в условиях свободного доступа кислорода, что способствовало консервации Th и выносу мобильного U. Но обращает на себя внимание тот факт, что для образца 49 из

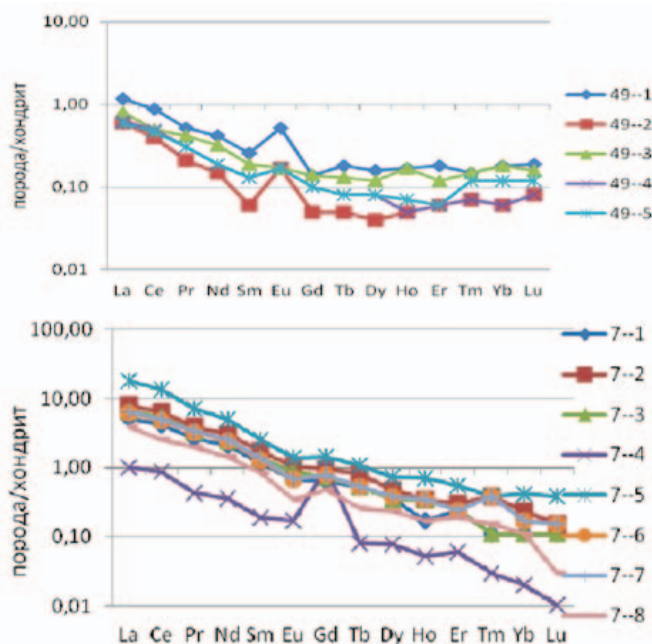


Рис. 6. Нормированные на хондрит [7] графики распределения редкоземельных элементов в кварц-халцедоновых проявлениях у д. Ключи и Салтымаковского хребта (Кузбасс)

Fig. 6. Chondrite-normalized [7] graphs of the distribution of REE in the quartz-chalcedony formations of v. Kliuchi and Salty-makovsky ridge (Kuzbass)

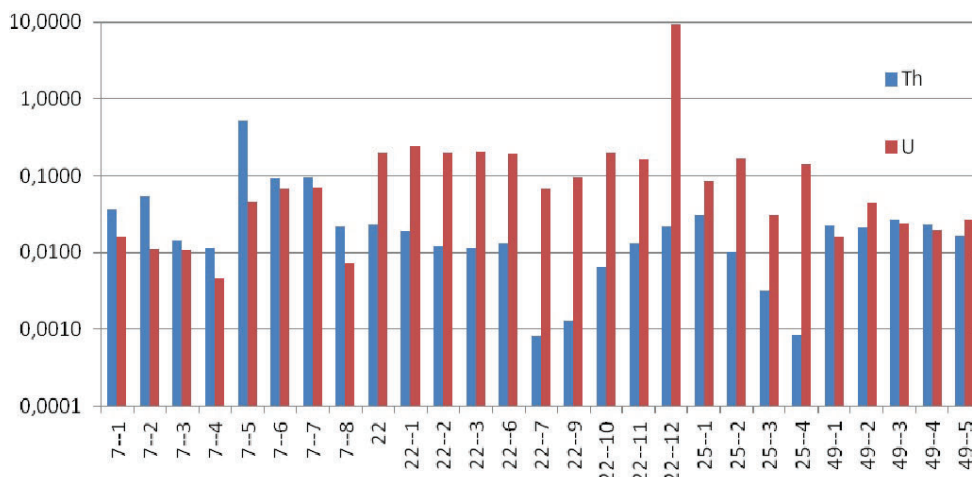


Рис. 7. Распределение U и Th (ppm) в кварц-халцедоновых проявлениях Кузбасса (номера участков соответствуют указанным в тексте)

Fig. 7. Distribution of U and Th (ppm) in the quartz-chalcedony formations of Kuzbass (the numbers of the plots correspond to those indicated in the text)



Салтымаковского коренного проявления по концентрациям U и Th наблюдается сходная картина, хотя у образца 7 в силу указанных выше причин более четкое преобладание содержания Th над содержанием U (рис. 7).

Заключение

Вопросов, связанных с генезисом этих удивительных образований, остается еще много, но тем не менее можно сделать следующие выводы.

В исследуемой агатоносной провинции Кузбасса выделяются проявления, образцы которых заметно отличаются по типу зональности. Но отличительной чертой практически всех кузбасских образцов является большое содержание ониксов.

Характерной геохимической особенностью кварц-халцедоновых проявлений у д. Ключи и Салтымаковского хребта являются значительно более высокие концентрации Cr, Ni, Cu, V, Co относительно агатов участка «Терсюк».

В общей массе легкие РЗЭ численно преобладают над тяжелыми; особенно это характерно для ониксов Салтымаковского хребта и для рассыпного проявления у д. Ключи.

В целом можно сделать вывод о преобладании в миндалинах участка «Терсюк» восстановительной среды, а в миндалинах проявлений Салтымаковского хребта и у д. Ключи — окислительной. Присутствие в одном образце как европиевого максимума, так и минимума с послойным чередованием сред говорит о возможности смены окислительно-восстановительной среды и стабильности процесса.

В ряде образцов наблюдается высокое содержание U относительно Th, что особенно характерно для проявления участка «Терсюк». Вероятно, U накапливается во флюидных включениях, осаждается в форме уранила на кристаллитах халцедона. Для ониксов Салтымаковского проявления и у д. Ключи соотношение U/Th значительно уменьшается. Причем содержание Th часто преобладает.

Таким образом, по данным элементного анализа методом ICP-MS, среди кварц-халцедоновых образований Кузбасского магматического ареала можно выделить два типа:

— терсюкский, который характеризуется преобладанием восстановительной обстановки;

— салтымаковский и рассыпное проявление у д. Ключи.

Наличие двух типов, отличающихся по геохимическим особенностям, может быть связано с разными этапами, различными генерациями кварц-халцедоновых образований, с различной насыщенностью флюидов, формирующих микропримесный состав агатов.

Вероятно, формирование агатов происходило стадийно и/или пульсационно. Материалом могли служить флюиды, высвобождавшиеся после выхода базальтовой лавы на поверхность. Образование агатовых миндалин могло быть растянуто во времени, и, возможно, имели место даже длительные перерывы. Также в этом процессе нельзя пренебрегать участием метеорных вод. И все же предположение о таком способе агатообразования не дает ответа на вопрос: через что и каким образом флюид попадал в агатовую камеру, если первые слои могли быть уже твердыми.

Исследования были проведены с использованием оборудования центра коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Национального исследовательского Томского государственного университета.

Автор выражает благодарность Валентину Михайловичу Яковлеву за подготовку тонких спилов образцов, Нине Николаевне Борозновской и Платону Алексеевичу Тишину за участие в обсуждении полученных результатов, рецензентам за конструктивные замечания, позволившие улучшить качество рукописи.

Литература

1. Барсанов Г. П., Яковлева М. С. Минералогия поделочных и полудрагоценных разновидностей тонкозернистого кремнезема. М.: Наука, 1984.
2. Токарева Е. В., Коноваленко С. И., Борозновская Н. Н., Небера Т. С. Тектурно-морфологические особенности кварц-халцедоновых образований в пределах проявлений Южно-Кузбасского магматического ареала (Южная Сибирь) // Успехи современного естествознания. 2017. С. 113–117.
3. Юрьев А. И. Отчет по результатам поисково-оценочных работ в междуречье рр. Нижняя и Средняя Терсь с целью оценки миндалекаменных базальтов на поделочные и коллекционные агаты. Новокузнецк, 1992.
4. Götze, J., Möckel, R., Kempe, U., I. Kapitonov, T. Vennemann. Characteristic and origin of agates in sedimentary rocks from Dryhead area, Montana, USA. 2009. Mineralogical Magazine. P. 673–690.
5. Götze, J., M. Tichomirowa, H. Fuchs, J. Pilot, and Z. D. Sharp. Geochemistry of agates: a trace element and stable isotope study. 2001. Chemical Geology 175: P. 523–541.
6. Möller P. Rare earth element and yttrium fractionation caused by fluid migration // J. Czech Geol. oc. 1997. Vol. 42. P. 43.
7. Sun S. S., Mc Donough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Spec. / Publ. A. D. Saunders, M. J. Norry (eds.). 1989. № 42. P. 313–345.

References

1. Barsanov G. P., Yakovleva M. S. *Mineralogiya podelochnykh i poludragocennykh raznovidnostej tonkozernistogo kremneze-ma* (Mineralogy of ornamental and semiprecious varieties of fine-grained silica). Moscow: Nauka, 1984.
2. Tokareva E. V., Konovalenko S. I., Boroznovskaia N. N., Nebera T. S. *Teksturno-morfologicheskie osobennosti kvarts-khalsedonovykh obrazovaniy v predelakh proiavlennii IUzhno-kuzbasskogo magmaticheskogo areala IUzhnaia Sibir* (Textural-morphological features of quartz-chalcedony formations within the limits of manifestations of the South Kuzbass magmatic range (Southern Siberia)). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniia*, 2017, pp. 113–117
3. Yurev A. I. *Otchet po rezul'tatam poiskovo-ocenochnykh rabot v mezhdureche rr. Nizhnyaya i Srednyaya Ters s celyu ocenki mindalekamennykh bazaltov na podelochnye i kollekcionnye agaty*. (Report on results of search-estimation works in interfluvium of Nizhnyaya and Srednyaya ters to estimate amygdaloid basalts for collection agates) Novokuznetsk, 1992.
4. Götze, J., Möckel, R., Kempe, U., I. Kapitonov, T. Vennemann. Characteristic and origin of agates in sedimentary rocks from Dryhead area, Montana, USA, 2009, Mineralogical Magazine, pp. 673–690.
5. Götze, J., M. Tichomirowa, H. Fuchs, J. Pilot, and Z. D. Sharp. Geochemistry of agates: a trace element and stable isotope study. 2001. Chemical Geology 175: P. 523–541.
6. Möller P. Rare earth element and yttrium fractionation caused by fluid migration. J. Czech Geol. oc. 1997, V. 42, pp. 43.
7. Sun S. S., Mc Donough W. F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Spec. Publ. A. D. Saunders, M. J. Norry (eds.). 1989, No. 42, pp. 313–345.



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 550.84:553.982 (470.11)

DOI: 10.19110/2221-1381-2018-4-26-33

МИНЕРАЛЫ ГРУППЫ КАОЛИНИТА В НИЖНЕТРИАСОВЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ СЕВЕРА ТИМАНО-ПЕЧОРСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Н. Н. Тимонина, Ю. С. Симакова

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

Статья посвящена важной проблеме — условиям формирования пустотного пространства терригенных коллекторов. Представлены результаты исследования вещественного состава нижнетриасовых терригенных отложений севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Для определения минерального состава отложений использованы оптическая и электронная микроскопия, рентгеноструктурный анализ. Выделены морфологические типы каолинита, показано влияние условий осадко-накопления на характер его распределения по разрезу и площади. Оценено влияние глинистых минералов на емкостные свойства пород-коллекторов раннетриасового возраста.

Ключевые слова: каолинит, нижний триас, коллекторские свойства, углеводороды, фильтрационные и емкостные свойства пород.

KAOLINITE MINERALS IN LOWER TRIASSIC DEPOSITS OF NORTHERN TIMAN-PECHORA PROVINCE

N. N. Timonina, Yu. S. Simakova

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The article is devoted to an important problem — the conditions for the formation of a void space of terrigenous reservoirs. The results of a study of the material composition of the Lower Triassic terrigenous deposits of the north of the Timan-Pechora oil and gas province are presented. Optical and electron microscopy, X-ray diffraction analysis were used to determine the mineral composition of deposits. The morphological types of kaolinite are distinguished, the effect of sedimentation conditions on the character of its distribution along the section and on the area is shown. The influence of clay minerals on the capacitive properties of Early Triassic reservoir.

Keywords: kaolinite, lower Triassic, reservoir properties, hydrocarbons, porosity and permeability.

Введение

Происхождение нефти и формирование ее залежей — сложнейшая научная проблема современно-го естествознания, где ведущая роль принадлежит литологическим исследованиям. За миграцией углеводородов из нефтематеринских пород следует их аккумуляция в пористых породах коллектора. Дальнейшая судьба нефти связана с теми минералами, которые участвуют в формировании порового пространства коллектора.

Вопрос о формировании порового пространства представляет большой научный и практический интерес. Правильное решение его весьма важно для определения структурных параметров коллекторов, что в итоге влияет на подсчет запасов нефти, оценку перспектив и правильный выбор мероприятий по увеличению нефтеотдачи пласта. Данные о структуре порового пространства представляют теоретический интерес, позволяя оценить масштабы миграции углеводородов через различные типы пород при формировании залежей нефти и газа.

Среди глинистых минералов в нефтегазовой геологии большой интерес вызывает каолинит. Известно, что он имеет самую низкую емкость поглощения среди глинистых минералов, является гидрофобным, не сорбирует нефть, способствует повышению извлечения нефти из продуктивных пластов. Присутствие пе-

рекристаллизованного каолинита увеличивает пористость пород вследствие появления дополнительного пустотного пространства в агрегатах более крупных кристаллов каолинита.

Изучение глинистого вещества нижнетриасовых отложений показало его полиминеральный состав. Основными глинистыми минералами являются смешанослойные минералы типа иллит-сметита, каолинита, хлорита, гидрослюда.

Состав, распространение, генезис и индикаторные возможности глинистых минералов, в том числе и минералов группы каолинита, рассмотрены в работах И. Д. Зхуса, В. А. Дрица, А. Г. Коссовской, М. И. Тучковой, Т. Т. Клубовой, О. Г. Зарипова, Л. Г. Вакуленко, М. Ю. Зубкова, Б. А. Лебедева, Н. М. Недоливко, Р. С. Сахибгареева, Э. П. Солотчиной, В. А. Шмыриной и других [2, 3, 5, 6, 9, 13, 17, 18, 20].

Объекты и методы исследования

Изучение минерального состава и петрографических особенностей чаркабожской свиты нижнего триаса проведено нами в ходе исследования керн глубоких скважин, вскрывших эти отложения на различных тектонических структурах (Шапкина-Юрьянский вал, Колвинский метавал, вал Сорокина).

Фазовый состав глинистой фракции определялся по дифрактограммам ориентированных образцов, под-



вергнутых стандартным диагностическим обработкам. Исследовались дифракционные кривые препаратов: а — воздушно-сухих, б — насыщенных глицерином, в — обработанных 1Н HCL на водяной бане, г — прокаленных при 500 °С. Съемка проводилась на рентгеновском дифрактометре Shimadzu XRD-6000, излучение CuK α , Ni-фильтр, 30 kV, 20 mA.

Рентгенографическим методом каолинит на дифрактограммах определялся по серии базальных рефлексов первого, второго и третьего порядков, которым соответствуют межплоскостные расстояния (d_{001}), равные 7.16 Å, 3.56 Å и 2.37 Å. При насыщении образца глицерином положение рефлексов не меняется, что объясняется отсутствием набухающих слоев в кристаллической решетке каолинита [5].

С помощью электронно-микроскопического анализа были определены морфологические особенности каолинита.

Для раннетриасового времени характерно развитие преимущественно терригенных пород, внутри которых по размеру зерен выделяются гравелиты, песчаники, алевролиты и глины.

Литологическая характеристика

Триасовые отложения распространены практически на всей территории Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции, за исключением осевых зон крупных положительных структур, таких как Седухинский и Талотинский валы, вал Гамбурцева, восточный борт гряды Чернышева [19]. Отложения с размывом залегают на различных горизонтах перми и более древних образований, максимальная мощность нижнетриасовых образований зафиксирована в Коротаихинской и Большесынинской впадинах (2.8–3.6 км), в северо-западном направлении отмечается их сокращение (рис. 1). В центральных частях Колвинского мегавала и Хорейверской впадины мощность составляет 700–900 м [12,16].

Триасовые отложения представлены всеми тремя отделами [4]. К нижнему триасу относятся чаркабожские отложения, мощность которых варьирует от первых метров на юго-западе (в районе Седухинского вала) до 380 м в центральной части Колвинского мегавала, Хорейверской впадины; в среднем мощность свиты составляет 150–250 м [7, 8]. Отложения представлены

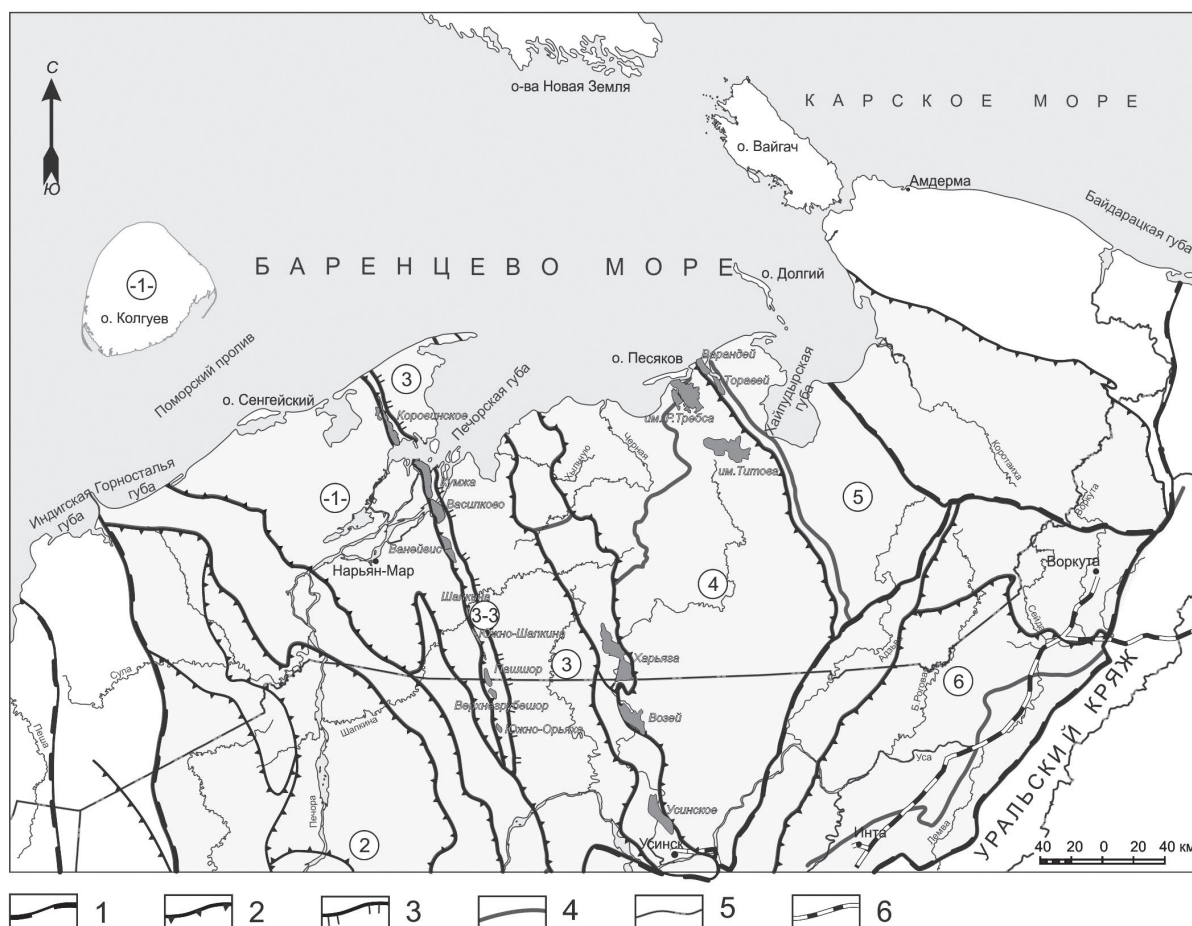


Рис. 1. Схема тектонического и нефтегазогеологического районирования Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции. Границы структур: 1 — крупнейших, надпорядковых; 2 — крупных, первого порядка; 3 — средних, второго порядка; 4 — границы нефтегазоносных районов; 5 — административная граница; 6 — железная дорога; 7–10 — месторождения, 7 — нефтяные, 8 — газовые, 9 — газоконденсатные, 10 — смешанного состава; 11 — район исследования. Элементы нефтегазогеологического районирования: 1 — Тиманская НГО, 2 — Ижма-Печорская НГО, 3 — Печоро-Колвинская НГО, 3-3 — Шапкина-Юрьяхинский НГР, 4 — Хорейверская НГО, 5 — Варандей-Адзвинская НГО, 6 — Северо-Предуральская НГО, 7 — Малоземельско-Колгуйевская НГО

Fig.1. Structure map of Timan-Pechora oil and gas-bearing province. Boundaries of structures: 1 — major, super-order; 2 — large, the first order, 3 — average, the second order, 4 — borders of oil and gas bearing areas; 5-administrative border; 6 — railway. Elements of oil zoning: 1 — Timan oil and gas-bearing area, 2 — Izhma-Pechora oil and gas-bearing area, 3 — Pechora-Kolvinское oil and gas-bearing area, 3-3 — Shapkina-Yuryakhinskoye oil and gas-bearing region, 4 — Khoreyver oil and gas-bearing area, 5 — Varandey-Adzva oil and gas-bearing area, 6 — North-Ural oil and gas-bearing area, 7 — Malozemel'sk-Kolguev oil and gas-bearing area

ритмичным переслаиванием красно-коричневых глин, зеленовато-серых алевролитов и серых песчаников с прослоями конгломератов и гравелитов. Судя по керну и каротажным диаграммам, мощности пачек песчаников по скважинам в пределах валов варьируют от 5 до 40 м (в среднем 15–20 м). Мощности прослоев глин, которые могут служить покрывками, составляют 10–50 м (чаще 25 м).

Конгломераты и гравелиты, залегающие в основании чаркабожской свиты, образуют прослой мощностью 0.2–0.5 м. Конгломераты мелко-, среднегалечные, слабосортированные, с примесью гравийного материала. Галька окатана, округлой формы, характерной для магматических, метаморфических пород, известняков. Гальки глин и аргиллитов имеют плоскую форму. Они подразделяются на внеформационные (сложенные галькой магматических, метаморфических и осадочных пород) и внутриформационные (сложенные обломками коричневых и серых аргиллитов). Цемент представлен песчано-гравийно-карбонатным материалом, заполняющим поровое пространство. В составе галечного материала выделяются кварц, кварциты, кварцитопесчаники, аркозовые песчаники и алевролиты, кремнистые породы, кислые эффузивы, аргиллиты, известняки. Гравелиты полимиктовые, от мелко- до грубозернистых, среди мелкогалечных конгломератов составляют 10–30 %, в песчано-гравийных прослоях содержание гравия достигает 40 %. Гравийные зерна отсортированы, полуокатаны, размер их 1–3 мм, встречаются и более крупные зерна (5–10 мм). В составе гравийного материала преобладают осадочные породы: известняки, песчаники, алевролиты, глины, присутствует гравий кремнистых пород и кварца.

Алевролиты окрашены в разные оттенки серого цвета, от зеленовато- до голубовато-серого. Встречаются также прослои красновато-коричневых разностей алевролитов. В отличие от песчаников в алевролитах широко распространены тонкослоистые текстуры и микро-текстуры, преобладают горизонтально-слоистые и линзовидно-слоистые, широко встречаются породы с нарушенной слоистостью и текстурами взмучивания.

Глины и аргиллиты, широко представленные в описываемой части разреза, окрашены в различные оттенки коричневого цвета, от красноватых до темно-шоколадных. Основными породообразующими минералами являются минералы группы смектита, иллиты. Текстуры аргиллитов представлены горизонтальной прерывистой слоистостью, широко встречаются нарушенные, комковатые текстуры. Для описываемых отложений характерно наличие карбонатных линз и включений, выполненных крупнокристаллическим кальцитом. Встречаются также остатки корневой системы растений, заполненные белым кальцитом.

Песчаники рассматриваемой части разреза окрашены главным образом в различные оттенки серого цвета: от светло-серых до зеленовато-серых, встречаются также отдельные линзы и прослои песчаников розовато-серого цвета. Светло-серый цвет обусловлен, как правило, присутствием каолинита в составе цемента, зеленый — большим содержанием хлорита, красноватая окраска свойственна песчаникам, пропитанным гидроокислами железа. Широкое распространение получили песчаники разнообразного гранулометрического состава, от мелко- до крупно- и грубозернистого. Они

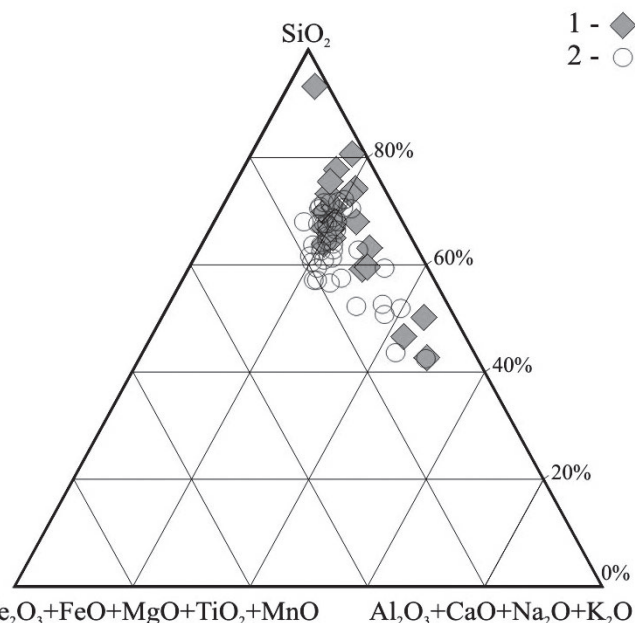


Рис. 2. Классификационная диаграмма Коссовской и Тучковой: 1 — песчаники севера Шапкина-Юрьяхинского вала, 2 — песчаники севера вала Сорокина

Fig. 2. Classification diagram of Kossovskaya and Tuchkova, 1 — sandstones of the north of Shapkina-Yuryakha swell, 2 — sandstones of the north of Sorokin swell

характеризуются широким спектром текстур: встречаются массивная, крупная однонаправленная косо-слоистая, слоистость ряби, горизонтально слоистая. Слоистость обусловлена чередованием слоев разного гранулометрического состава, слоистость часто подчеркивается скоплениями рудных минералов, чешуйками биотита и т. д.

По петрохимической классификации А. Г. Коссовской и М. И. Тучковой [10] нижнетриасовые песчаники попадают в поле полимиктовых (содержание SiO_2 62–78 %) и вулканомиктовых (содержание SiO_2 54–64 %) (рис. 2). К первым относятся средне- и крупнозернистые песчаники, ко вторым — их преимущественно мелкозернистые разности. Крупнозернистые отложения характеризуются смещением в сторону верхней границы поля полимиктовых песчаников вследствие повышенного содержания SiO_2 . Это обусловлено большим количеством обломков кремнистых пород, фельзитов, устойчивых к химическому разрушению. Более мелкозернистые отложения смещены вниз вследствие обогащения полевыми шпатами. Интересно, что по разрезу песчаников снизу вверх отмечается сокращение содержания SiO_2 , связанное с уменьшением количества обломков кремнистых пород и фельзитов. На классификационной диаграмме Ф. Дж. Петтиджона [14] фигуративные точки состава песчаников локализируются в полях граувакк (рис. 3).

Особенности строения каолинита

В. В. Хлыбов [20] в триасовых отложениях выделяет три разновидности каолинита: плохо упорядоченный, неупорядоченный и хорошо упорядоченный, в зависимости от колебаний межплоскостного расстояния d_{001} .

И. Д. Зхус [5] выделяет три разновидности каолинита, различающиеся по морфологическим признакам. К первой разновидности отнесены идиоморфные

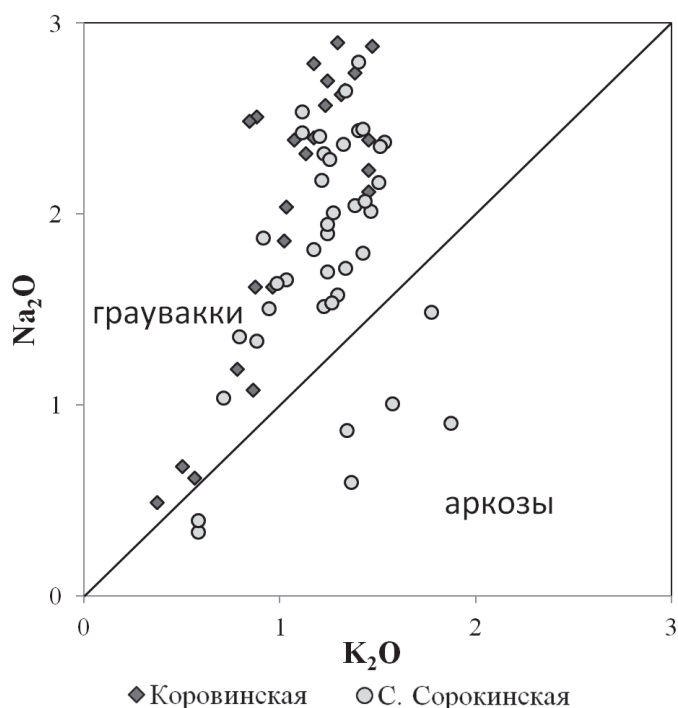


Рис. 3. Классификационная диаграмма K_2O-Na_2O

Fig. 3. Classification diagram K_2O-Na_2O

частицы каолинита (пластинки гексагональной формы) с четкими, резко очерченными линиями ограничения. На дифрактометрических кривых рефлексы, соответствующие каолиниту этой разновидности, характеризуются высокой интенсивностью, малой полушириной и симметричной формой. Частицы второй разновидности каолинита отличаются от первой менее совершенной формой, неровными краями. В некоторых образцах отмечается небольшое увеличение диффузности каолинитовых рефлексов на дифрактограммах. Частицы третьей разновидности каолинита характеризуются как псевдогексагональными пластинками, так и их обломками с нечеткими линиями ограничения. Дифракционные картины третьей разновидности несколько отличаются от двух первых. Каолинитовые рефлексы более диффузные: у них довольно широкое основание, а вершины имеют пилообразную форму.

Образование каолинита первой разновидности, вероятно, связано с аутигенным минералообразованием, частицы второй разновидности возникли в результате механического разрушения кристаллов в процессе переноса и переотложения в физико-химической обстановке, близкой к той, в которой образовался первичный каолинит. Каолинит третьего типа связан, по-видимому, с изменениями внешней среды, где минерал оказывался в несвойственной ему обстановке.

На основе детальных рентгеноструктурных исследований верхнепермских отложений Тимано-Печорской провинции Е. О. Малышевой [15] были выделены четыре структурно-морфологических типа каолинитов. К первому типу отнесен аутигенный каолинит, представленный крупными, хорошо окристаллизованными агрегатами, часто имеющими столбчатую или вермикулитоподобную формы. Этот тип каолинита приурочен к более крупнозернистым песчаникам. Каолиниты второго типа представлены мелкокристаллическими агрегатами, которые полностью заполняют поры песчаников, развиваются по обломоч-

ным компонентам или выделяются в виде гнезд в глинистых породах. Каолиниты этого типа рассматриваются как трансформационно-аутигенные. Их образование, вероятно, происходило в периферических частях открытых систем в свободных порах или на субстрате. Третий и четвертый типы объединяют каолиниты с псевдомоноклинной ячейкой и низкой степенью упорядоченности. Каолиниты, относимые к третьему типу, характеризуются асимметричной формой рефлекса 001 с отчетливым плечом со стороны малых углов. Они отмечаются в отложениях, диагностируемых как ископаемые почвы, и, вероятно, имеют аллотигенно-трансформационное происхождение. Для каолинитов четвертого типа характерны симметричные, но широкие базальные отражения. Эти каолиниты присутствуют в мелкозернистых песчаниках, аргиллитах и глинах и определяются как аллотигенные.

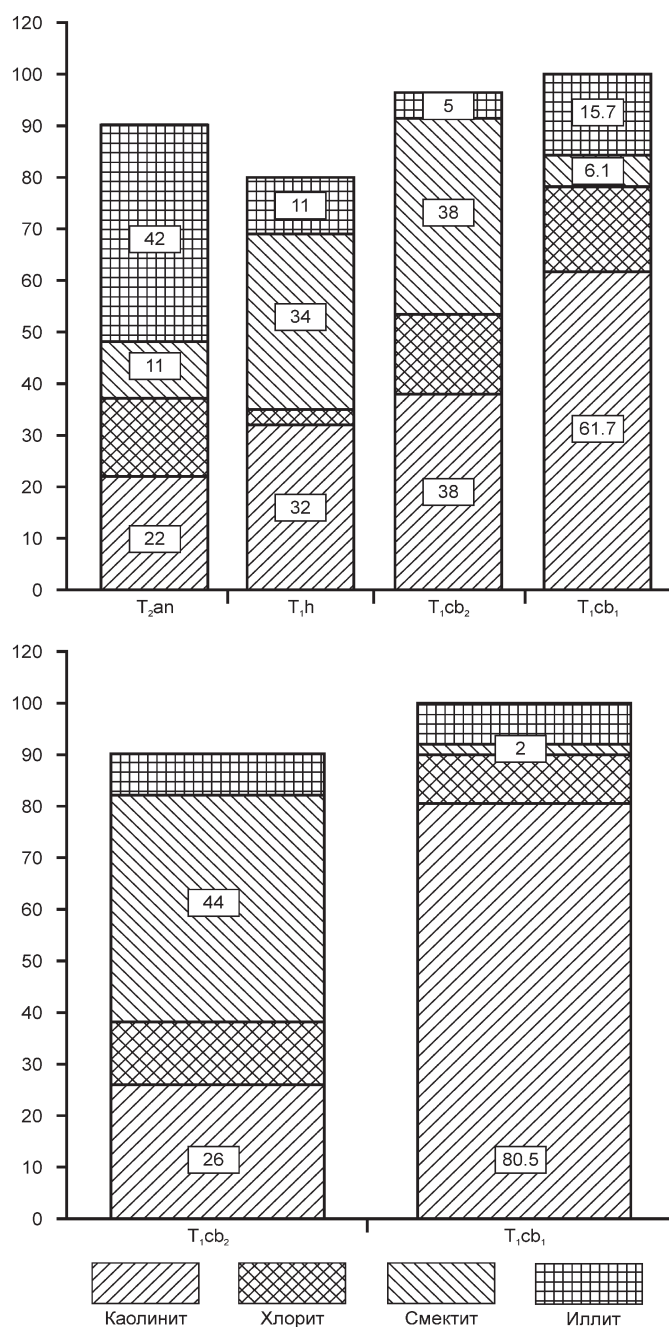


Рис. 4. Относительное содержание глинистых минералов в цементе песчаников

Fig. 4. Relative content of clay minerals in cement of sandstones

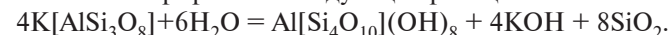
Рассмотрим минеральный состав глинистого цемента (примесей) в коллекторах чаркабожской свиты. В изученных породах практически отсутствуют мономинеральные глины и поровое пространство всегда цементируется несколькими глинистыми минералами (сметит, хлорит, каолинит и гидрослюда).

В триасовых отложениях характер распространения каолинита неравномерный как по разрезу, так и по площади. Снизу вверх по разрезу отмечается уменьшение его содержания: с 80–90 % в песчаниках базального пласта до 10 % в верхней части разреза (рис. 4). При переходе от крупнозернистых к тонкозернистым осадкам также отмечается уменьшение содержания каолинита. Обогащение каолинитом пород псаммитовой размерности связано также с образованием части каолинита в постседиментационную фазу уже в самих этих породах.

Зафиксировано увеличение относительного содержания каолинита в северо-западном направлении. Объяснением этому может служить тот факт, что частицы аллотигенного каолинита были подхвачены и перенесены водным потоком при размывании кор выветривания, сформировавшихся по пермским отложениям. Впоследствии эти отложения, вероятно, обогащались каолинитом аутигенного происхождения. Есть основания предполагать, что повышенные содержания каолинита в цементе песчаников имеют фаціальную приуроченность.

Первая разновидность каолинита представлена вермикулитоподобными сростками, зерна которых имеют псевдогексагональную морфологию, зерна обычно идиоморфны, реже гипидиоморфны (рис. 5, а, б).

На дифрактометрических кривых рефлексы, отвечающие каолиниту этой разновидности, характеризуются высокой интенсивностью, малой полушириной и симметричной формой (рис. 6). На электронно-микроскопических снимках образцов часто вместе с веерообразными агрегатами каолинита наблюдаются регенерированные зерна кварца и корродированные обломки полевого шпата (рис. 5, е). Растворение полевых шпатов, их каолинитизацию, а также регенерированные зерна кварца можно увидеть в шлифах и с помощью поляризационного микроскопа. Данные электронной микроскопии и наблюдения в шлифах показывают, что процессы растворения полевых шпатов, образование каолинита и регенерация кварца существуют даже в одном образце и развиты они почти повсеместно в песчаниках. Вероятно, эти процессы взаимосвязаны и могут быть иллюстрированы следующей реакцией:



В описываемых отложениях встречается также каолинит как в виде псевдогексагональных пластинок, так и их обломков с нечеткими линиями ограничения. При помощи электронного микроскопа установлено большое количество частиц каолинита крупных размеров при небольшой толщине, с неровными, как бы срезаемыми краями (рис. 5, с, d). Дифракционная картина этой разновидности несколько отличается от вышеописанных. Отмечается диффузность пиков: у них довольно широкое основание, а вершины иногда имеют пилообразную форму (рис. 7). Эта разновидность каолинита может быть отнесена к каолиниту низкой степени упорядоченности.

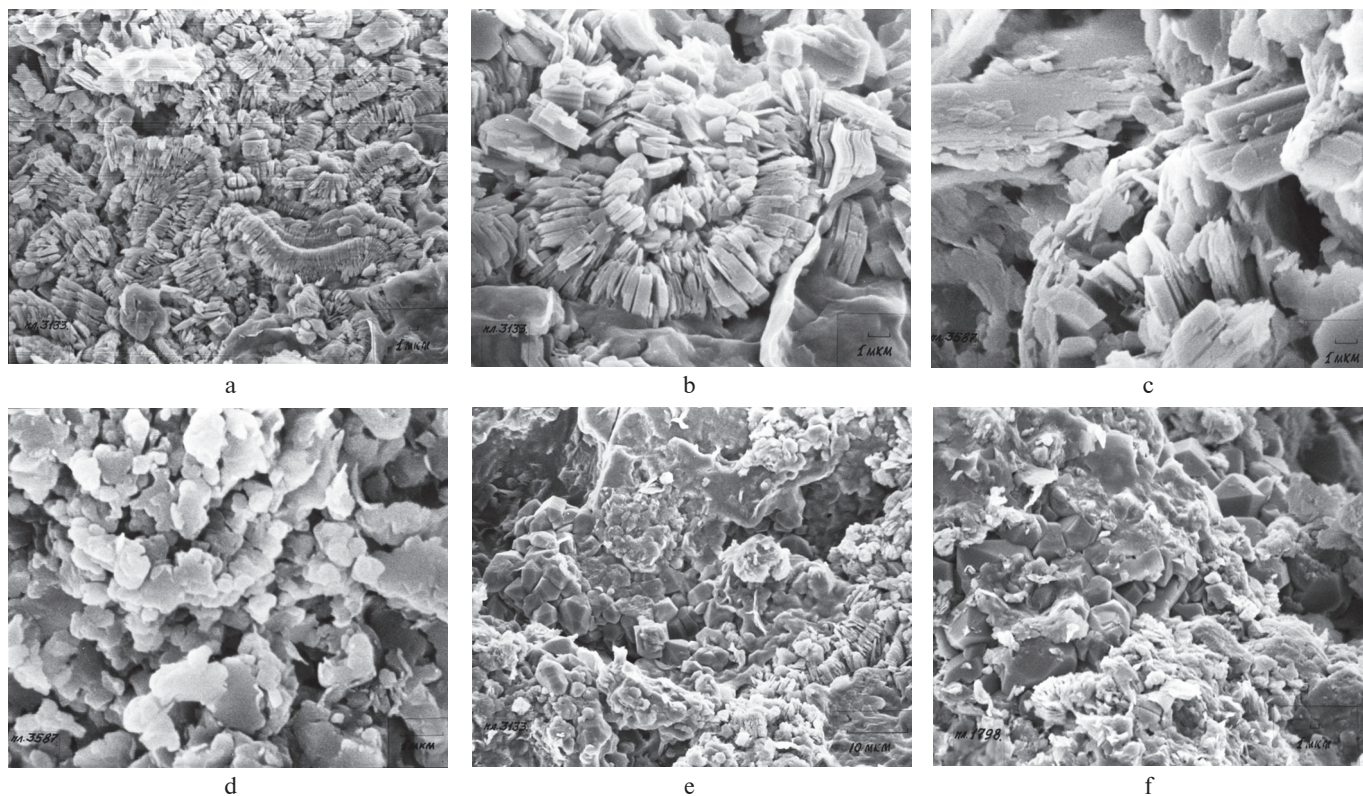


Рис. 5. Каолинит в цементе песчаников: а–б — вермикулитоподобные агрегаты каолинита в поровом пространстве нижнетриасового песчаника; с — каолинит средней степени структурной упорядоченности; d — каолинит низкой степени структурной упорядоченности; е, f — аллотигенный каолинит и кристаллы кварца в поровом пространстве

Fig. 5. Kaolinite in sandstone cement: а–b — vermiculite-like aggregates of kaolinite in the pore space of Lower Triassic sandstone; с — kaolinite of average degree of structural ordering; d — kaolinite of low degree of structural ordering; е, f — allotigenic kaolinite and quartz crystals in pore space

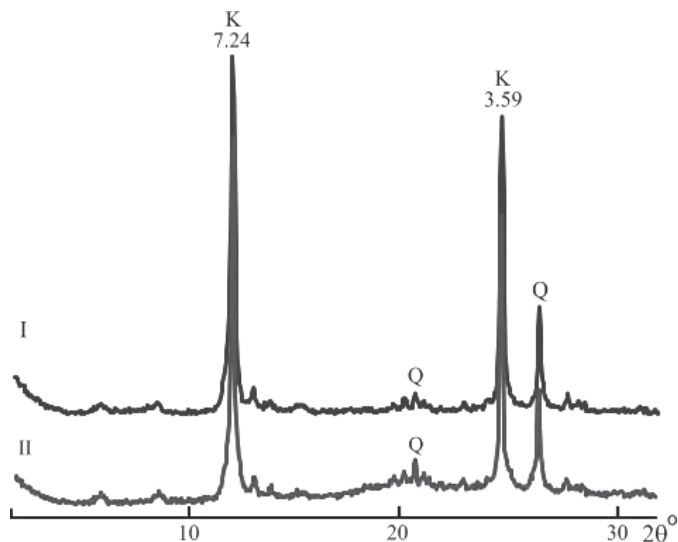


Рис. 6. Дифрактограммы глинистой составляющей пород (каолинит высокой степени структурной упорядоченности): I — воздушно-сухой образец, II — обработанный глицерином. Межплоскостные расстояния в ангстремах (K — каолинит, Q — кварц)

Fig. 6. Diffraction patterns of clay component of rocks (kaolinite with a high degree of structural ordering): I — air-dry sample, II — treated by glycerin. Interplanar distances in angstroms (K — kaolinite, Q — quartz)

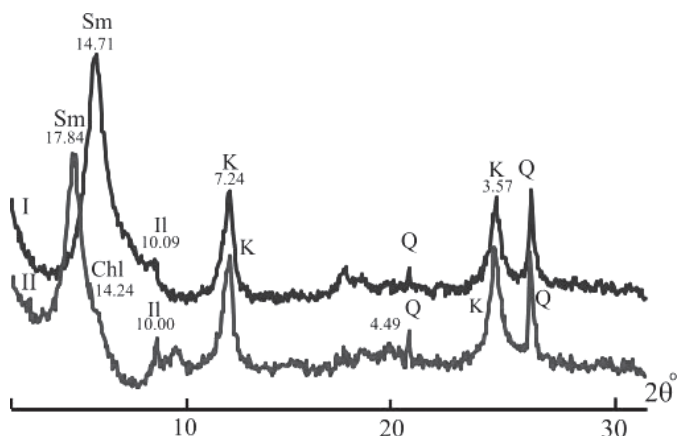


Рис. 7. Дифрактограмма разновидности каолинита низкой степени структурной упорядоченности: I — воздушно-сухой образец, II — обработанный глицерином. Межплоскостные расстояния в ангстремах. Sm — смектит, Chl — хлорит, II — иллит, K — каолинит, Q — кварц

Fig. 7. Diffraction patterns of a variety of kaolinite of low degree of structural ordering: I — air-dry sample, II — treated by glycerin. Interplanar distances in angstroms. Sm — smectite, Chl — chlorite, II — illite, K — kaolinite, Q — quartz

Каолинит низкой степени упорядоченности имеет трансформационно-аутигенное и аутигенное происхождение, приурочен, как правило, к мелко- и среднезернистым песчанникам, образовавшимся на приустьевой отмели. Он заполняет практически все поровое пространство. Обломочное унаследование глинистых минералов определяется степенью их устойчивости в корях выветривания, при переносе и в осадках. Каолинит является конечным продуктом преобразования силикатов в гидрослюдисто-каолинитовом профиле выветривания, он стабилен и в водной среде, и в почвах.

По мнению ряда исследователей, каолинит — один из наиболее устойчивых по отношению к механическому разрушению глинистых минералов и может переноситься

состоять во взвешенном состоянии водными потоками. Источником обломочного каолинита могла быть кора выветривания пермских песчанников. Процесс выветривания песчанников связан с разрушением хлоритов, полевых шпатов и гидратацией мусковита, при этом происходил вынос из коры выветривания кремнекислоты, железа и алюминия. Эти элементы, переносимые в коллоидном состоянии, становились источниками для образования аутигенного каолинита.

При преобладании слабокислой среды в поровых водах изучаемых отложений в хорошо проницаемых участках песчаных пород из деградированных гидрослюдов и полевых шпатов образовывался аутигенный каолинит. В глинистых породах подстилающих и перекрывающих слоев глинистые минералы остались в той стадии, в которой они были принесены в бассейн.

В образовании каолинита всех типов в большей или меньшей степени участвует один и тот же источник — коры выветривания. Это может служить объяснением факта обогащения каолинитом низов разреза, в особенности базального пласта.

Влияние каолинита на коллекторские свойства пород

На фильтрацию нефти через коллектор, поровое пространство которого выполнено глинистыми минералами, влияет характер распределения глинистого вещества. Если цемент распределен равномерно, то влияние глинистого вещества сказывается тем сильнее, чем более мелкозернистым является песчаник и чем хуже сортировка песчаного материала, т. е. чем сложнее структура порового пространства.

Уменьшение эффективного диаметра пор происходит также в результате взаимодействия минералов цемента с углеводородами, сопровождаемого сорбированием части УВ активными центрами минералов. Преимущественной способностью к сорбции должны обладать высокомолекулярные УВ, т. к. им свойственны большие значения ван-дер-ваальсовых сил, пропорциональных размерам органических молекул. Сорбированные углеводороды способствуют увеличению объема частиц, участвующих в строении пласта-коллектора, и уменьшению вследствие этого диаметра пор.

Существенно влияет на уменьшение объема пор способность глинистых минералов к пластическим деформациям. При увеличении статической нагрузки (давление вышележащих отложений) на коллектор с равномерно распределенным цементом глинистое вещество способно заполнить все открытые каналы, снижая емкостные и фильтрационные свойства породы.

Пластические свойства минералов определяют величиной обменной емкости, тесно связанной с составом обменных ионов, т. е. характером пластовых вод. Поэтому при равномерном распределении глинистого цемента его негативное влияние на коллекторские свойства пород будет тем больше, чем выше обменная емкость цементирующего глинистого минерала. По способности к пластическим деформациям глинистые минералы располагаются следующим образом (в порядке убывания пластических свойств): монтмориллонит — деградированные гидрослюды — гидрослюды — каолинит [9].

Особенностью минералов каолинитовой группы является устойчивость структуры, вследствие чего за-



мещения внутри решетки чрезвычайно редки и заряды внутри слоя компенсированы. Связь силикатных слоев друг с другом в направлении оси *c* осуществляется водородом, который препятствует расширению решетки и исключает проникновение в нее воды и углеводородов. Даже значительное количество каолинита в породе не делает ее полностью непроницаемой для нефти, т. к. потери на адсорбцию будут минимальными.

По расчетам, проведенным В. А. Шмыриной, процесс полного преобразования полевых шпатов в каолинит приводит к значительному увеличению пористости (46 %), если кремнезем не используется на регенерацию кварца, или на 12 %, если весь кремнезем расходуется на регенерацию кварца [13].

Заключение

Проведенные исследования позволили установить, что в вещественном составе глинистой фракции отложений нижнего триаса всегда присутствует каолинит. В мелкозернистых песчаниках и алевролитах присутствует каолинит низкой степени структурной упорядоченности, и содержание его не превышает 25 %. Эта разновидность каолинита имеет, по всей видимости, аллотигенное происхождение в результате переноса и переотложения водными потоками каолиновой коры выветривания верхнепермского возраста. В фациальном плане каолинит этого типа накапливался в условиях внешней части поймы. Каолинит средней степени упорядоченности приурочен, как правило, к мелко- и среднезернистым песчаникам, образовавшимся на приустьевой отмели. Он заполняет практически все поровое пространство. Каолинит высокой степени упорядоченности, вероятнее всего, имеет аутигенное происхождение. Он сформировался в средне- и крупнозернистых песчаниках руслового генезиса, где было достаточное пустотное пространство для формирования крупных, хорошо окристаллизованных агрегатов. Как правило, его содержание превышает 60 %.

Наличие в нижнетриасовых породах каолинита различной структурной упорядоченности можно использовать при определении обстановок осадконакопления.

Литература

1. Брузес Л. Н., Изотов В. Г., Ситдикова Л. М. Литолого-фациальные условия формирования горизонта Ю₁ Тевлинско-Рускинского месторождения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Георесурсы. 2010. № 2 (34). С. 6–9.
2. Вакуленко Л. Г., Аксенова Г. П., Ян П. А. Минералы группы каолинита в нижнеюрских отложениях Западной Сибири // Недропользование. Горное дело. Направления и технология поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Экономика. Геоэкология: междунар. науч. конф. // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. Т. 1. С. 52–56.
3. Дриц В. А., Коссовская А. Г. Глинистые минералы: смектиты, смешанослойные образования. М.: Наука, 1990. 214 с.
4. Енцова Ф. И., Калантар И. З. Триасовые отложения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Материалы по геологии востока Русской платформы. Казань: Изд-во Казанского университета. 1966. С. 138–189.
5. Жус И. Д. Глинистые минералы и их палеогеографическое значение. М.: Изд-во АН СССР, 1966. 235 с.
6. Изотов В. Г. Технологическая минералогия нефтяного пласта // Современные методы минералого-геохимических исследований: Сб. материалов РМО: СПб, 2006. С. 140–142.

7. Калантар И. З., Танасова С. Д. Фациальные критерии при стратификации континентальных отложений триаса // Стратиграфия и литология нефтегазоносных отложений Тимано-Печорской провинции. Л.: Недра, 1988. С. 127–134.

8. Киричкова А. И. Стратотипические и опорные разрезы нижнего триаса Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: литология, фациальные особенности // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2013. Т. 8. № 4. URL: http://www.ngtp.ru/rub/2/45_2013.pdf

9. Клубова Т. Т. Глинистые минералы и их роль в генезисе, миграции и аккумуляции нефти. М.: Недра, 1973. 256 с.

10. Коссовская А. Г., Тучкова М. И. К проблеме минералого-петрохимической классификации и генезиса песчаных пород // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 2. С. 8–24.

11. Маслов А. В., Мизенс Г. А., Бадида Л. В. Литогеохимия терригенных ассоциаций южных впадин Предуралья. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2015. 308 с.

12. Мораховская Е. Д. Триас Тимано-Уральского региона (опорные разрезы, стратиграфия, корреляция) // Биохронология и корреляция фанерозоя нефтегазоносных бассейнов России. СПб.: ВНИГРИ, 2000. Вып. 1. 80 с.

13. Морозов В. П., Шмырина В. А. Влияние вторичных изменений пород-коллекторов на фильтрационно-емкостные свойства продуктивных пластов БС₁₁¹ и ЮС₁¹ Кустового месторождения // Ученые записки Казанского университета. Казань. 2013. Т. 155. Кн. 1. С. 95–98.

14. Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р. Пески и песчаники. М.: Мир, 1976. 536 с.

15. Природные резервуары в терригенных формациях Печорского нефтегазоносного бассейна / Е. О. Малышева, З. В. Ларионова, Н. Н. Рябинкина, Н. Н. Тимонина // Коми научный центр УрО РАН. Сыктывкар, 1993. 154 с.

16. Природные резервуары нефтегазоносных комплексов Тимано-Печорской провинции / Е. Л. Теплов, З. В. Ларионова, И. Ю. Беда, Е. Г. Довжикова, Т. И. Куранова, Н. И. Никонов, Е. Л. Петренко, Г. А. Шабанова / ГУП РК ТП НИЦ. СПб.: Реноме, 2011. 286 с.

17. Сахибгареев Р. С. Вторичные изменения коллекторов в процессе формирования и разрушения нефтяных залежей. Л.: Недра, 1989. 260 с.

18. Солотчин П. А., Солотчина Э. П., Столповская В. Н. Минералогия глинистого вещества терригенных отложений нижнего тоара юго-востока Западно-Сибирской плиты // Геология и геофизика. 2005. Т. 46. № 8. С. 833–843.

19. Тимонин Н. И. Печорская плита: история геологического развития в фанерозое. Екатеринбург, УрО РАН, 1998. 240 с.

20. Хлыбов В. В. Глинистые минералы триасовых отложений Северо-востока европейской части СССР. Л.: Наука, 1989. 104 с.

References

1. Bruzhes L.N., Izotov V.G., Sitdikova L.M. *Litologo-fatsialnye usloviya formirovaniya gorizonta Yu1 Tevlinsko-Russkinskogo mestorozhdeniya Zapadno-Sibirskoi neftegazonosnoi provintsii* (Lithofacies conditions of J₁ horizon formation within the Tevlinsko-Russkinskoe deposit). Georesources, 2010, No. 2 (34), pp. 6–9.
2. Vakulenko L.G., Aksanova G.P., Yan P.A. *Mineraly grupy kaolinita v nizhneyurskikh otlozheniyah Zapadnoi Sibiri* (Minerals of kaolinite group in Lower Jurassic deposits of Western Siberia). Interexpo Geo-Syberia-2017. International conference «Subsoil use. Mining. Directions and technology of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Economy. Geoecology», 2017, V.1, pp. 52–56.



3. Drits V.A., Kossovskaya A.G. *Glinistye mineraly: smektity, smeshannoslainnye obrazovaniya* (Clay minerals: smectites, mixed layers). Moscow: Nauka, 1990, 214 p.
4. Entsova F.I., Kalantar I.Z. *Triasovye otlozheniya Timano-Pechorskoy neftegazonosnoy provintsii* (Triassic deposits of Timan-Pechora petroliferous province). *Materialy po geologii Vostoka Russkoy platform* (Geology of Eastern Russian platform). Kazan: Kazan University, 1966, pp.138–189.
5. Zhus I.D. *Glinistye mineraly i ih paleogeograficheskoe znachenie* (Clay minerals and their paleogeographical significance). Moscow: AS USSR, 1966, 235 p.
6. Izotov V.G. *Tehnologicheskaya mineralogiya neftyano-go plasta* (Technological mineralogy of oil layer). Proceedings of RMO: Modern methods of mineralogical-geochemistry investigation. St. Petersburg, 2006, pp.140–142.
7. Kalantar I. Z., Tanasova S.D. *Fatsialnye kriterii pri stratifikatsii kontinentalnykh otlozhenii triasa* (Facial criteria for stratification of continental deposits of Triassic). Stratigraphia and lithology of oil and gas bearing deposits of Timan-Pechora basin. Leningrad: Nedra, 1988, pp. 127–134.
8. Kiritchkova A.I. *Stratotipicheskie i opornye razrezy nizhnego triasa Timano-Pechorskoi neftegazonosnoi provintsii: litologiya, fatsial'nye osobennosti* (Stratotipicheskie i opornye razrezy nizhnego triasa Timano-Pechorskii neftegazonosnoi provintsii: lithologia, fatsialnyi osobennosti). *Neftegazovaya geologia. Teoriya i praktika* (Oil and gas geology. Theory and practice). 2013, V.8, 4.
9. Klubova T.T. *Glinistye mineraly i ih rol' v genezise, migratsii i akkumulyatsii nefiti* (Clay minerals and their role in genesis, migration and accumulation of oil). Moscow: Nedra, 1973, 256 p.
10. Kossovskaya A.G., Tuchkova M.I. *K probleme mineralogo-petrohimicheskoi klassifikatsii i genezisa peschanykh porod* (About problem of mineralogy and petrochemisri classification and genesis of sandstones). *Lithology and poleznye iskopaemye*. 1988, No. 2, pp. 8–24.
11. *Litogeochemia terrigennykh association yuzhnykh vpadin Preduraskogo progiba* (Lithogeochemistry of terrigenous associations of southers depressions of Preural Foredeep). Maslov A. V., Mizens G. A., Badida L. V. Ekaterinburg: IGG UB RAS, 2015, 308 p.
12. Morakhovskaya E. *Trias Timano-Uralskogo regiona (opornye razrezy, stratigrafiya, korrelyatsia). Biokhronologiya i korrelyatsiya fanerozoya neftegazonosnykh basseynov Rossii* (Triassic Timan-Ural region (sections, stratigraphy, correlation). Bio-chronology and correlation of Phanerozoic oil and gas basins of Russia). St. Petersburg: VNIGRI, 2000, 79 p.
13. Morozov V. P., Shmyrina V. A. *Vliyanie vtorichnykh izmenenii porod-kollektorov na fil'tratsionno-emkostnye svoystva produktivnykh plastov BS111 i YuS11 Kustovogo mestorozhdeniya* (Effects of secondary alteration of reservoirs on porosity and permeability of productive layers BS₁₁₁ and US₁₁ at the Kustovoye deposit). *Uchenye zapiski of Kazan University* (Proceedings of Kazan University). 2013, V. 155, book 1, pp. 95–98.
14. *Prirodnye rezervuary v terrigennykh formatsiyah Pechorskogo neftegazonosnogo basseina* (Reservoirs in terrigenous formations of the Pechora oil and gas basin) E. O. Malysheva, Z. V. Larionova, N. N. Ryabinkina, N. N. Timonin. Komi Science Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Syktyvkar, 1993, 154 p.
15. *Prirodnye rezervuary neftegazonosnykh kompleksov Timano-Pechorskoi provintsii* (Reservoirs of oil and gas bearing complexes of the Timan-Pechora province) E.L. Teplov, Z. V. Larionov, I.Yu.Beda, E. G. Dovzhikova, T. I. Kuranov, N. I. Nikonov, E. L. Petrenko, G. A. Shabanova. GUP RK TP SIC. St. Petersburg : Renome, 2011, 286 p.
16. Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. Sand and sandstone. M. Mir, 1976, 536 p.
17. Sakhibgareev R. S. *Vtorichnye izmeneniya kollektorov v protsesse formirovaniya i razrusheniya nefityanykh zalezhei* (Secondary alteration of reservoirs during formation and disintegration of oil deposits). Leningrad: Nedra, 1989, 260 p.
18. Solotchin P. A., Solotchina E. P., Stolpovskaya V. N. *Mineralogiya glinitogo veschestva terrigennh otlozhenii nizhnego toara yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoi plity* (Mineralogy of clay matter of terrigenous deposits of the lower toar of the southeast of the West Siberian plate. Geology and Geophysics, 2005, V.46, No. 8, pp.833–843.
19. Timonin N. I. *Pechorskaya plita: istoriya geologicheskogo razvitiya v fanerozoe* (Pechora plate: the history of geological development in the Phanerozoic). Ekaterinburg, UB RAS, 1998, 240 p.
20. Khlybov V. V. *Glinistye mineraly triasovykh otlozhenii Severo-vostoka evropeiskoi chasti SSSR* (Clay minerals of the Triassic deposits of the Northeast of the European part of the USSR). Leningrad: Science, 1989, 104 p.



TITANIUM MINERALS AS PROTOTYPES OF FUNCTIONAL MATERIALS WITH PRONOUNCED ELECTROMAGNETIC PROPERTIES

O. B. Kotova¹, M. Harja², L. N. Kotov³, A. V. Ponaryadov¹

¹Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar, Russia; kotova@geo.komisc.ru

²«Gheorghe Asachi» Technical University of Iasi, Romania; mharja@tuiasi.ro

³Pitirim Sorokin Syktyvkar State University (SyktSU), Syktyvkar, Russia; kotovln@mail.ru

In this paper new crystalline materials were developed with pronounced electromagnetic properties, derived from titanium minerals, on the base of Academician N. P. Yushkin concept about mineralogical geomaterial science.

Titanium minerals (rutile, anatase, ilmenite and others) are carriers of useful components (elements) and unique structures (nanotubes, nanocomposites and others). Titanium minerals were modified by hydrothermal method. The doping of TiO₂ with silver was realized by sol-gel methods. The modified nanotubes of titanium dioxide by nitrogen and acid treatment were realized to study the influence of parameters (temperature, time of hydrothermal alkaline treatment, acid influence at washing, etc.) over nanomaterials properties.

The characterization of minerals and synthesis products was realized by scanning electron microscope (SEM), TEM, SEAD, EDAX, X-ray fluorescence method, atomic force microscope (AFM), etc. We revealed the nature of the phases and the degree of crystallinity of TiO₂-Ag nanocomposites with controlled particle sizes and electronic characteristics.

Nanotubes made of TiO₂ are an alternative material for waveguides with high data flow rates, compared to the materials used in fiber technology.

Keywords: titanium minerals, nanotubes, nanostructures, nature-like technologies, electromagnetic properties.

МИНЕРАЛЫ ТИТАНА КАК ПРОТОТИПЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ С ВЫРАЖЕННЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ СВОЙСТВАМИ

О. Б. Котова¹, М. Харджа², Л. Н. Котов³, А. В. Понарядов¹

¹Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

²Технический университет им. Г. Асаки, Яссы, Румыния

³СГУ имени Питирима Сорочкина, Сыктывкар, Россия

Показано развитие концепции минералогического геоматериаловедения академика Н. П. Юшкина на примере кристаллических веществ (синтезированных нанотрубок и других структурных нанообразований, производных по отношению к минералам титана) с выраженными электромагнитными свойствами.

Минералы титана (рутил, анатаз, ильменит и др.) являются носителями полезных компонентов (элементов) и уникальных структур (нанотрубок, нанокомпозитов и др.). Минералы титана были модифицированы гидротермическим методом. Легирование TiO₂ серебром было выполнено с помощью золь-гелевого метода. Модифицирование нанотрубок диоксида титана путем обработки азотом и кислотой было выполнено для изучения влияния параметров (температуры, времени гидротермической обработки щелочью, влияния кислоты на промывку и т. д.) на свойства наноматериалов.

Информация о морфологии и химическом составе исходных минералов и продуктов синтеза получена с использованием сканирующего электронного микроскопа (SEM), TEM, SEAD, EDAX, рентгенофлуоресцентного метода, атомно-силового микроскопа (AFM) и др. Выявлены особенности фаз и степень кристалличности нанокомпозитов TiO₂-Ag с контролируемыми размерами частиц и электронными характеристиками.

Нанотрубки из TiO₂ являются альтернативным материалом для волноводов с большими скоростями потока передаваемых данных по сравнению с используемыми материалами в волоконной технике.

Ключевые слова: минералы титана, нанотрубки, наноструктуры, природоподобные технологии, электромагнитные свойства.

Introduction

The concept of mineralogical geomaterial science by Academician N. P. Yushkin is gaining a new level of development today. The study of natural crystalline substances, including titanium minerals, allows identifying the features of conditions for their formation and the formation of physical and chemical properties, to evaluate the potential for their use in the industry [12, 25]. The industry of nanosystems, technologies of production and diagnosing nanodevices and nanomaterials are included in the list of critical technologies and priority directions for the development of science, technology and technics in the Russian Federation.

When the size of structural elements decreases from 10⁻³ to 10⁻⁹ m, the derivatives with respect to natural minerals can exhibit unique optical, electrical, magnetic, catalytic and other properties [10, 11, 15]. Nanostructured systems, based on monodisperse magnetic nanoparticles/nanocrystals, are promising as high-density data storage systems. A great contribution to the fundamental foundations of the processes of formation of nanostructured composite materials of natural and model synthetic mixtures was made by Prof. B. Goldin and co-authors [5, 6]. The greatest attention of researchers is attracted by titanium-containing concentrates of natural raw and its synthetic model analogues, as well as products of



their thermochemical processing, where signs of nanostructuring are revealed [6]. The titanium minerals are interesting because of their unique electrical and magnetic properties [9], including the values of the band gap, a large potential for capturing solar energy. Another important indicator of attractiveness of materials based on titanium minerals is their relatively low price, chemical and physical stability, non-toxicity. Semiconductor properties of substances based on titanium dioxide (rutile, anatase, ilmenite and others) make them potential materials as sensitizers for oxidation-reduction processes activated by light [23]. The doping of Pt, Au and Ag atoms improves the photocatalytic activity of TiO_2 , reducing the recombination of electron-hole pairs [1]. The productivity of oxidation processes of TiO_2 is influenced by various factors (degree of crystallinity, morphology and particle size). Therefore, the synthesis of titanium-based materials with target properties is still a challenge. In the field of nanoplasmonics, nanostructures (threads, fibers, tubes, layers), synthesized on the basis of natural minerals, are of particular interest. Previously, the authors of the work produced titanium dioxide nanotubes by hydrothermal synthesis [11, 14].

The purpose of the work: the search for new crystalline materials with pronounced electromagnetic properties on the basis of the features of nature-like technologies for the synthesis of nanotubes and other structural nanomaterials derived from titanium minerals.

Methods and approaches

Technologies for the synthesis of TiO_2 nanotubes (samples HT0601 – HT0604, HT0701 – HT0708, HT0901 – HT0904) are developed on the basis of methods and approaches of hydrothermal synthesis. They are adapted for the non-magnetic fraction of the gravity concentrate of the ilmenite-leucocoxene ore from Pizhma deposit [14].

Technologies of production of TiO_2 -Ag nanocomposites (samples S1 and S2) are developed on the basis of the sol-gel method [4]. Information on the morphology and chemical composition of ore and synthesis products was obtained by Tescan VEGA 3 LMH scanning electron microscope (2017) with the Oxford Instruments X-Max energy dispersive attachment and the X-ray fluorescent method (Shimadzu XRF-1800). The analysis for crystalline structures for initial material and synthesized samples was carried out on the basis of the Shimadzu XRD-6000 diffractometer.

The roughness of surface of the samples (resolution 5 nm), the shape and dimensions of the electric and magnetic micro- and nanoscale regions and their topology were determined by ARIS-3500 atomic force microscope (AFM), a magnetic power microscope (MPM) — modernized AFM, for which the semiconductor probe was replaced by a silicon probe with a CoCr magnetic coating. At the MPM in

2015, the authors obtained images of magnetic granules, regions (resolution up to 20 nm), and band domains in composite films of various compositions.

Results and discussion

Nanocomposites (nanostructured materials). The formation of titanium oxide by the sol-gel method includes binding of Ti monomers either by bridges (Ti-O-Ti) or hydroxides (Ti-OH-Ti). The nature of the phases and the degree of crystallinity of titanium nanostructures were revealed, which were analyzed by XRD method [13]. The peaks and relative intensity were taken from the JCPDS database: anatase (JCPDS 21-1272), rutile (JCPDS 21-1276), silver (JCPDS 04-0783) and silver oxide Ag_2O (JCPDS 00-076-139).

In all samples, the main peaks can be assigned to anatase by the following planes and corresponding 2θ angles: [101] (25.30); [38]; [200] (480); [105] (540); [204] (62.550) and [116] (690) [18]. Undoped TiO_2 is anatase and a small amount of amorphous phase. The larger width and lesser sharpness of the peaks in sample S1 (as-synthesized) compared to S2 (calcined at 650 °C) indicate that the first sample is less crystalline, has a smaller particle size than the other. In addition, S1 contains a crystalline phase of anatase in the main state, and S2 is a mixture of anatase and rutile, which is confirmed by the distinctive peaks at 27.5 and 360 due to rutile planes [110] and [101]. The lower position of the baseline for sample S2 indicates its higher degree of crystallinity compared to S1. SEM images and EDAX images for synthesized and calcined samples S1 and S2 were obtained. The results of EDAX analysis showed that after annealing the ratio of silver on the surface decreases, indicating its migration within the titanium oxide structure, as previously mentioned in the literature [4, 6].

Nanotubes. Anatase (or rutile) (3D, Fig. 1, A), reacting with an alkaline solution, is stratified (Ti-O bonds break) and layers are formed (2D, Fig. 1, B). The lateral and angular atoms of the layered structures should have a large number of broken bonds with sufficient energy to destabilize the entire two-dimensional system. Consequently, to close the broken bonds, the sample layers can be folded into nanotubes and form one-dimensional structures (1D, Fig. 1, C). The process of 2D→1D transition can lead to the formation of two types of nanotubes: concentric and nonconcentric (spiral) [13].

Fig. 2 and Fig. 3 show typical diffraction patterns of synthesized samples. Tubular twisting of atomic layers is accompanied by a noticeable expansion of shape of the peaks. Indices of the planes corresponding to the peaks of the diffraction pattern are given on Fig. 3. A typical peak for titanium dioxide nanotubes, observed in the region $2\theta=10^\circ$, according [13], can be attributed to the of $\text{H}_2\text{Ti}_3\text{O}_7$ or $\text{Na}_x\text{H}_{2-x}\text{Ti}_3\text{O}_7$ crystals. This peak belongs to plane (200) with the interlayer distance 0.96 nm cor-

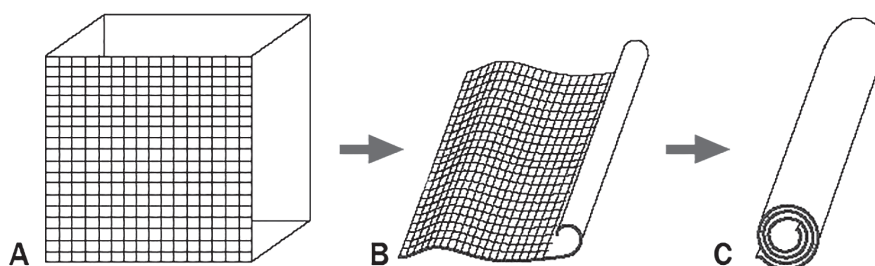


Fig. 1. The process of titanium dioxide nanotubes formation

Рис. 1. Процесс образования нанотрубок диоксида титана

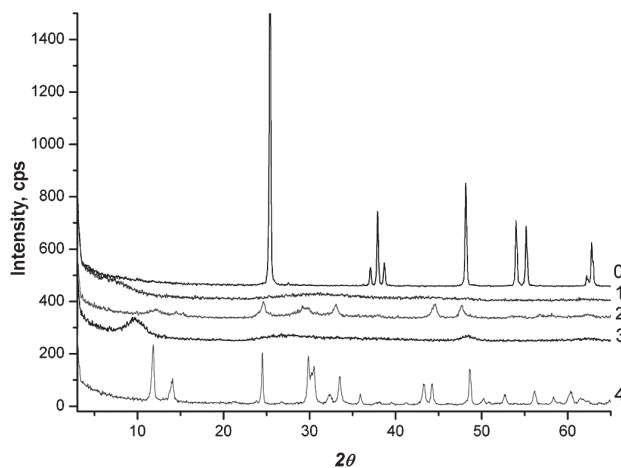


Fig. 2. Diffraction patterns of initial material (0), samples HT0601 (1), HT0602 (2), HT0603 (3), HT0604 (4)

Рис. 2. Дифрактограммы исходного материала (0), образцов HT0601 (1), HT0602 (2), HT0603 (3), HT0604 (4)

responding to the distance between two neighboring TiO_6 octahedra forming nanotube walls. It is also noted that this peak can be absent in the case of decreasing pH during the acid treatment. In our case, a significant decrease of the intensity of this peak occurred after the acid treatment (samples of HT0707 and HT0708, 0.1 M HCl treatment). Thus, the alkaline treatment of rutile results in to a restructuring at the nanolevel — the formation of titanium dioxide nanotubes.

The TEM-images of the synthesized materials (Fig. 4), allowed specifying data on their structure, as well as evaluating the degree of influence of various synthesis parameters (temperature, duration of hydrothermal alkaline exposure, acid influence at washing) on their morphology.

We determined influence of duration of hydrothermal alkaline treatment on the geometric parameters of forming titanium dioxide nanotubes. The increase in the reaction time from 24 (Fig. 4, A) to 72 h (Fig. 4, B) leads to decreasing outer and inner diameters, as well as the interlayer gap of the obtained nanotubes. It should be noted that the interlayer gap is large, according to the X-ray diffraction data, compared to that obtained by the transmission electron microscopy, which can be explained by the presence of water molecules in the interlayer gaps. The number of layers in the walls is the same in this case.

On the electron diffraction pattern of the nanostructured samples, the reflexes of only (101) and (004) planes are clearly distinguished. Blurring of the diffraction pattern in comparison with the anatase electron diffraction pattern,

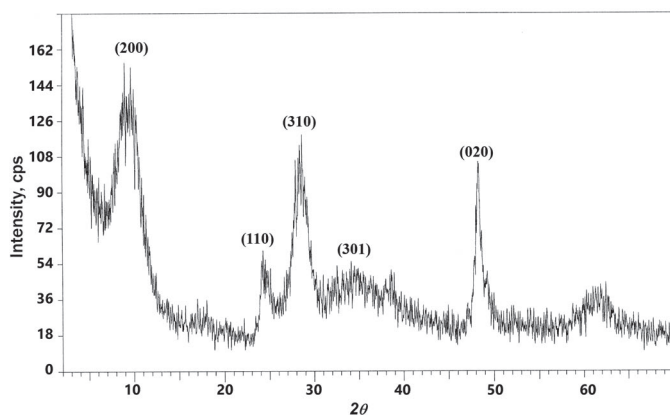


Fig. 3. Diffraction pattern HT0701

Рис. 3. Дифрактограмма образца HT0701

can be attributed to the formation of tubular materials at nanoscale.

Electromagnetic and electronic properties of titanium minerals. UV spectra were used to determine the band gap of the initial material and the obtained samples. A shift of the absorption band toward the visible radiation was observed, when nanotubes were formed. However, according to the spectra shown in Fig. 5, such a shift is not observed or the absorption band is shifted to the short-wave region (sample HT0901).

There are two formulas to calculate the band gap. The first [20]:

$$E_g = \frac{1240}{\lambda_g}, \quad (1)$$

where λ_g — intersection point extrapolation straight line with abscissa axis (Fig. 5, A).

The second formula [24] is based on the relation between the adsorption coefficient α and the photon energy $h\nu$:

$$\alpha = \frac{B_i (h\nu - E_g)^2}{h\nu}, \quad (2)$$

where B_i — adsorption constant for indirect transitions. For further calculations it is convenient to construct $\sqrt{h\nu\alpha} = f(h\nu)$ dependence with extrapolation of the linear part of the spectrum to zero. Since the adsorption coefficient α is proportional to the spectral absorption A , then we can proceed to the construction of $\sqrt{h\nu A} = f(h\nu)$ dependence. The intersection of the extrapolation straight line (Fig. 5, B) with the abscissa axis gives the desired value of the band gap. The obtained values are shown in Table.

Band gap
Ширина запрещенной зоны

Sample	Band gap (eV)	
	Formula (1)	Formula (2)
HT0801	3.35	3.075
HT0802	3.35	3.075
HT0901	3.48	3.125
Anatase	3.35	3.1

Titanium dioxide occurs in many polymorphs, but the most important ones are anatase and rutile. These two polymorphs are wide-gap semiconductors ($E_a = 3.23$ and $E_a = 3.02$ eV, respectively), so they can support photocatalytic reactions in the presence of visible light [22].

A convenient strategy to increase the absorption of visible light is to incorporate noble metal nanoparticles into titanium oxide. Such additives as Pt, Pd, Au, Ag improve the photocatalytic efficiency of TiO_2 , preventing recombination of the electron-hole pair [23]. Silver is suitable, it is non-toxic and much cheaper than other mentioned noble metals, improving the bioactivity of TiO_2 , especially when treated with water, because of its own antibacterial activity against various microorganisms [10].

Previously, it was shown that the higher activity of samples of doped titanium dioxide compared to pure TiO_2 can be explained by the contribution of silver compounds [8], which have a very small band gap (1.3 eV) and form boundaries due to Ag_2O aggregation on carrier. Calcination generates an appropriate ratio between anatase and rutile, which plays an important role in optimizing the electron hole of the

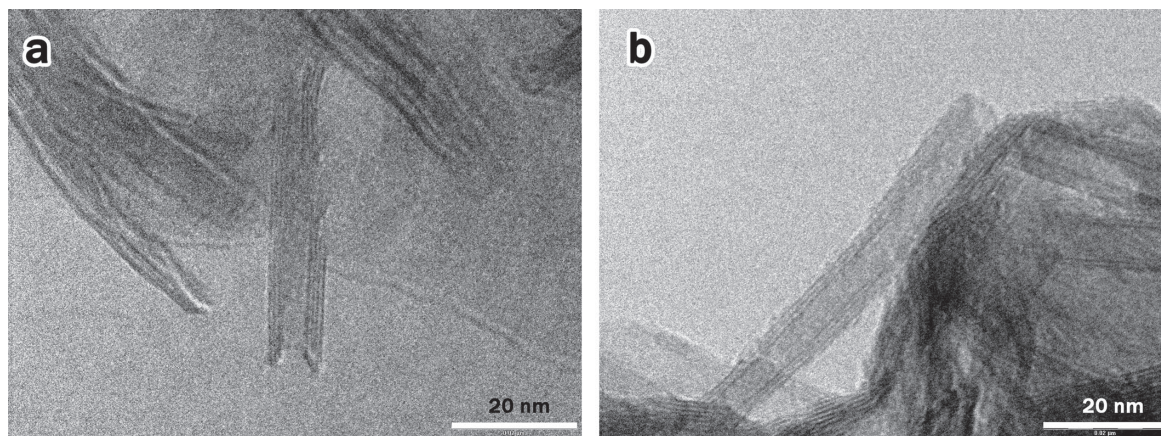


Fig. 4. TEM image of nanostructured TiO_2 (sample HT0701, synthesis time A – 24 h, B – 72 h). The scale corresponds to 20 nm

Рис. 4. ТЕМ-изображения наноструктурированного TiO_2 (образец HT0701, А – время синтеза 24 ч, В – время синтеза 72 ч). Шкала соответствует 20 нм

pairs. The position of the energy levels of the valence band and the conduction bands of the two phases promotes the migration of the advanced electron from the anatase conduction band to the rutile conduction band, instead it allows recombination [19].

We also **modified nanotubes of titanium dioxide by nitrogen**, which was accompanied by a shift in intrinsic absorption to the visible light zone. The obtained samples were annealed at different temperature (550–873 K).

Fig. 6 shows UV spectra of the studied samples before and after the modification. The shift of the absorption band is clearly visible toward increasing the wavelength. In addition to this displacement, a so-called «shoulder» occurs in the region of 400–773 nm (indicated by an arrow), which is associated with electronic transitions from 2p level of nitrogen atom to conduction band [7]. This shoulder becomes more pronounced with increasing annealing temperature in nitrogen flow.

The band gap was calculated using dependencies $\sqrt{h\nu A} = f(h\nu)$ [24]. The change made 1 eV (3.1 for anatase and 2.1 eV for nitrogen modified nanotubes). The energy of 2.1 eV corresponded to radiation, with a wavelength 590 nm.

According to the literature [7], the degree of isomorphous substitution of sodium atoms in the crystal-substrate structure is proportional to the annealing temperature. However, our studies of the temperature stability of modified samples showed that the increase in temperature above 673 K leads to the breaking of the tubular structure and for-

mation of aggregated anatase particles. This determined the upper limit of the temperature range permissible for annealing the samples after interaction with ammonium hydroxide in nitrogen flow. Fig. 7 presents images of nanostructured sample HT0903 before and after modification (annealing at 623 K).

Fig. 8 presents some blurring of the image: the electron beam is partially scattered by the surface of the sample, which is confirmed by comparing the electron diffraction patterns of the original sample HT0903 and the sample after the modification. At the electron diffraction pattern of a nanostructured sample after isomorphous substitution, the diffraction pattern is blurred. This may be related to the presence of residual ammonium hydroxide on the surface of the sample.

Wave properties of TiO_2 nanostructures, application.

TiO_2 -based nanostructures (filaments, fibers, single and multilayer tubes, layers, nanocomposites) and their electromagnetic properties (UV absorption spectra) are very interesting. The previous electron microscopic images of synthesized TiO_2 nanotubes allowed determining their dimensions: diameter 70–100 nm and length 2–5.5 μm [21]. Considering the nanotube sizes, it is possible to note that single- and multilayered TiO_2 nanotubes can be used as guide systems (waveguides) of electromagnetic waves (EMW) of UV range ($\lambda=10\div380$ nm) [2, 3]. Intervals λ for transparency bands should not include absorption bands. The observed absorption peak of UV radiation in the wavelength range

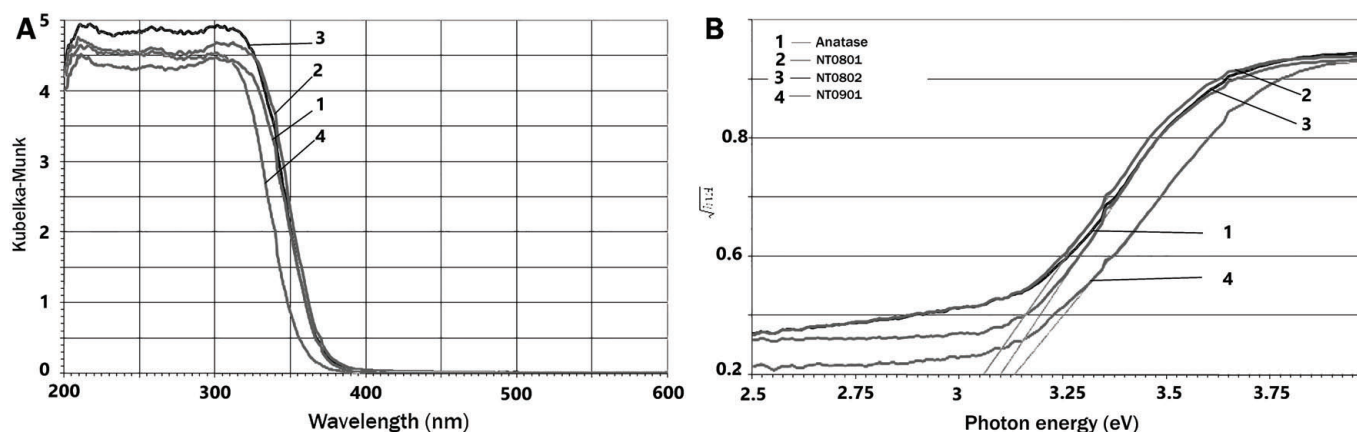


Fig. 5. UV spectrum of initial anatase and synthesized samples (A); determination of the band gap (B)

Рис. 5. Спектры поглощения ультрафиолетового излучения исходного анатаза и синтезированных образцов (А); определение ширины запрещенной зоны (В)

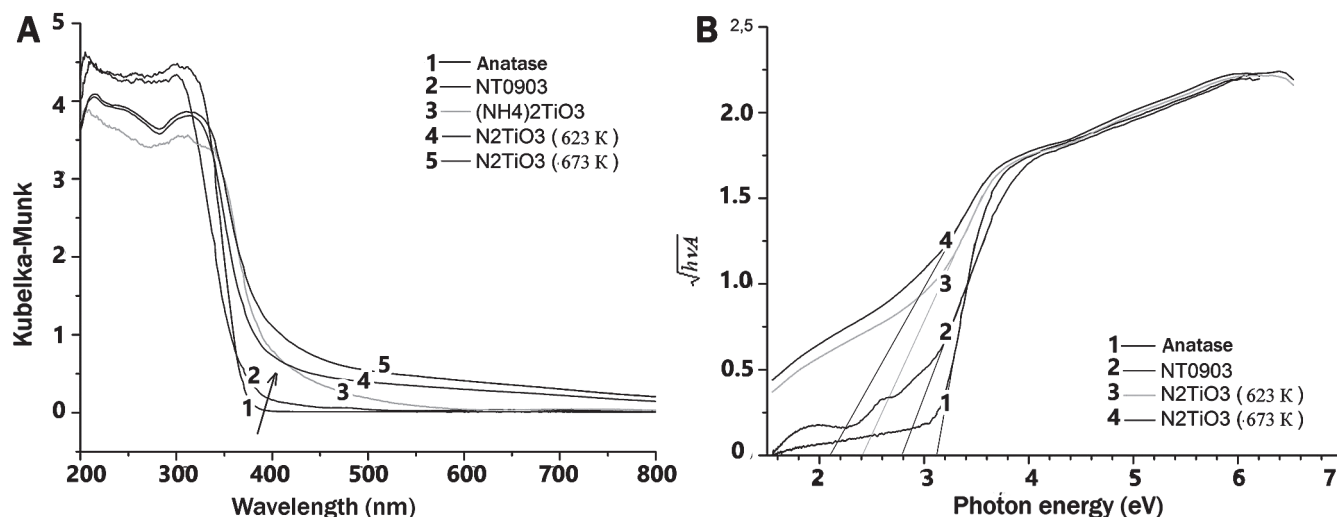


Fig. 6. UV spectra of diffuse reflection of anatase and nanostructured TiO_2 (sample HT0903) before and after nitrogen modification (A); determination of the band gap (B). Annealing temperature is given in parentheses

Рис. 6. УФ-спектры коэффициента диффузного отражения анатаза и наноструктурированного TiO_2 (образец HT0903) до и после модифицирования (A); прямые для определения ширины запрещенной зоны (B). В скобках указана температура отжига соответствующих образцов

$\lambda = 200\text{--}380$ nm shifts the maximum wavelengths allowed for waveguides, i.e. they should be less than $\lambda = 200$ nm. The refractive index n for wavelengths of the UV range is 2.6 [17, 21], the value of which determines the geometry of EMW propagation in TiO_2 nanotubes. To realize the minimum energy loss condition propagating in the wave tube, the angles of incidence of EMW on the waveguide wall must exceed the limiting angle. In this case, the condition for total internal reflection of the EMW is fulfilled. Then the value of the limiting angle of incidence of EMW on the walls of TiO_2 nanotube should be 26° . The ratio of the diameter d of the nanotube to the wavelength λ will be determined by the following conditions. For EMW wavelengths much larger than the diameter of the waveguide (for $d/\lambda \ll 1$), the presence of the waveguide walls will have a negligible effect on EMW propagation path [21]. In the other extreme, when the diameter of the waveguide is greater than the wavelength (for $d/\lambda \gg 1$), the role of nanotube walls, surrounding the wave propagation space, is also small: the wave propagates in a uniform air medium. The length of EMV λ should corresponds to the wave interval between these two extreme cases. Transparency windows should also be included in this interval λ . This wave-

length interval for synthesized TiO_2 nanotubes corresponds to ultraviolet (UV) radiation with wavelengths 10×200 nm. All the above characteristics indicate that the obtained nanotubes on the basis of titanium dioxide can be used to simulate the propagation of EMF of UV band and can support further development of fiber technology, where quartz and quartz-polymer fibers with cross dimensions $50\text{--}125$ μm are now used, in which only IR waves can propagate [3]. TiO_2 nanotubes are an alternative material for waveguides with much higher data flow rates, compared to the materials used in fiber technology.

Conclusions

Titanium minerals (rutile, anatase, ilmenite and others) are carriers of useful components (elements) and unique structures (tubes, nanocomposites and others). The nature of the phases and the degree of crystallinity of $\text{TiO}_2\text{-Ag}$ nanocomposites with controlled particle sizes and electronic characteristics were revealed. The conditions for the synthesis of nanotubes of titanium dioxide affect their morphology. It was shown that the inclusion of noble metal nanoparticles, such as Pt, Pd, Au, Ag, as well as nitrogen modifica-

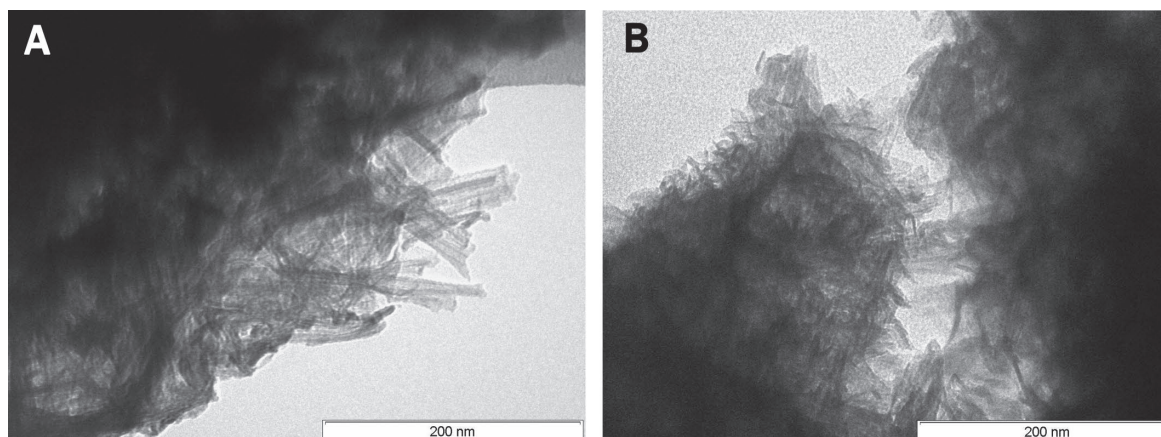


Fig. 7. TEM image of nanostructured TiO_2 (A – initial sample HT0903, B – modified by nitrogen)

Рис. 7. TEM-изображение наноструктурированного TiO_2 (A – исходный образец HT0903, B – модифицированный азотом)

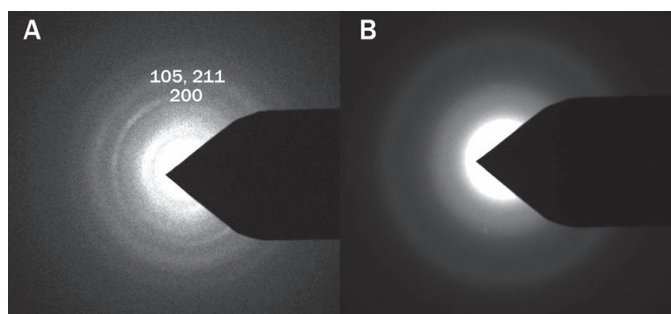


Fig. 8. Electron diffraction patterns of nanostructured TiO_2 before (A) and after nitrogen modification (B)

Рис. 8. Электронограммы наноструктурированного TiO_2 до (A) и после (B) модифицирования азотом

tion, was a convenient strategy for changing the band gap of rutile and anatase. Nanotubes, made of TiO_2 , are an alternative material for waveguides with high data flow rates, compared to the materials used in fiber technology.

The work was accomplished according to the research theme «Scientific basis for effective mining, the exploration and development of mineral resources base, development and implementation of innovative technologies, economic-geological zoning of Timan-Northern Ural Region» (GR No. AAAA-A17-117121270037-4) with the partial support of RFBR project (18-29-12113)

References

- Amin A. S., Pazouki M., Hosseinnia A. *Synthesis of TiO_2 -Ag nanocomposite with sol-gel method and investigation of its antibacterial activity against E. coli*. Powder Technology, 2009, 196, pp. 241–245.
- Belokopytov G.V., Rzhavkin K.S. i (Basics of radiophysics). Moscow: URSS, 1996, 256 pp.
- Dmitriev S. A., Slepov N. N. *Volokonno-opticheskaya tekhnika: sovremennoe sostoyaniye i novyye perspektivy. 3-e izdanie*. (Fiber-optical techniques: modern state and future, 3rd edition). *Volokonno-opticheskaya tekhnika*, 2010, 607 pp.
- Duduman C., Cobos J., Caso de Los M., Harja M., Părez M., Castro C., Lutić D., Kotova O., Cretescu I. Preparation and characterisation of nanocomposite material based on TiO_2 -Ag for environmental applications. Environmental Engineering and Management Journal, 2018, 17 (4), 2813–2821.
- Goldin B. A., Grass V. E., Istomin P. V., Sekushin N. A., Ryabkov Yu. I. *Razrabotka nanostrukturnykh keramicheskikh kompozitov*. (Developing of nanostructured ceramic composites). Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN, Issue 1, 16, 2010, pp. 16–23.
- Goldin B.A., Ryabkov Yu. I., Sitnikov P.A., Nazarova L.Yu., Tsvetkova E.V. *Sintez titanatov so strukturoy sitinakit*. Synthesis of titanates with sitinakite structure. Izvestiya Komi nauchnogo tsentra UrO RAN, 2011, 4 (8), pp. 29–34.
- Huang L.H., Sun C., Liu Y.L. Pt/N-codoped TiO_2 nanotubes and its photocatalytic activity under visible light. Applied Surface Science, 2007, 253, 7029–7035.
- Jiang W., Wang X., Wu Z., Yue X., Yuan S., Lu H., Liang B. Silver oxide as superb and stable photocatalyst under visible and near-infrared light irradiation and its photocatalytic mechanism. Industrial and Engineering Chemistry Research. 2015, 54, pp.832-841.
- Kartal O. E., Turhan G. D. Determination of electrical energy cost of decolorization of C. I. Acid Orange 7 via TiO_2 -assisted photocatalysis under UV illumination in the presence of H_2O_2 . Environmental Engineering and Management Journal, 2017, 16, pp.2045–2052.
- Kotov L. N., Vlasov V. S., Turkov V. K., Kalinin, Yu.E., Sitnikov A. V. Influence of annealing on magnetic, relaxation and structural properties of composite and multilayer films. J. Nanoscience and Nanotechnology. 2012, V. 12, No.2, pp. 1696–1699.
- Kotova O., Ozhogina E., Ponaryadov A., Golubeva I. Titanium minerals for new materials. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2016, 123, 012025 (doi:10.1088/1757-899X/123/1/012025)
- Kotova O. B. *Mineralogicheskoe geomaterialovedenie v sverkhrazvitiya idey akademika N. P. Yushkina* (Mineralogical geomaterial science developed from ideas of Academician N. P. Yushkin). *Problemy i perspektivy sovremennoy mineralogii* (Problems and prospects of modern mineralogy (Yushkin Memorial Seminar – 2014). Proceedings. Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 2014, pp. 249–250.
- Kotova O. B., Ponaryadov A. V. Nanotechnological mineralogy. Journal of Mining Science. 2009, V. 45, No. 1, pp. 93–98.
- Kotova O. B., Ponaryadov A. V., Giumze L. A. Hydrothermal synthesis of TiO_2 nanotubes from concentrate of titanium ore Pizhenskoye deposit (Russia). Vestnik of Institute of geology Komi SC UB RAS. 2016a, No. 1, pp. 34–36.
- Kuzmin D. A., Bychkov I. V., Shavrov V. G., Kotov L. N. Transverse-electric plasmonic modes of cylindrical graphene based waveguide at near-infrared and visible frequencies. Scientific Reports | 6:26915 | DOI: 10.1038/srep26915.
- Ponaryadov A. V., Kotova O. B. Synthesis and properties of nanodisperse structures of titanium minerals by the example of anatase. Doklady Earth Sciences, 2009, V. 425A, No. 3, pp. 467–470.
- RefractiveIndex.INFO. Database of refraction indices.
- Sakurai K., Mizusawa M. X-ray diffraction imaging of anatase and rutile. Analytical Chemistry. 2010, 82, 3519–3522.
- Scanlon D. O., Dunnill C. W., Buckeridge J., Shevlin S. A., Logsdail A. J., Woodley S. M., Catlow C. R. A., Powell M. J., Palgrave R. G., Parkin I. P., Watson G. W., Keal T. K., Sherwood P., Walsh A., Sokol A. A. Band alignment of rutile and anatase TiO_2 . Nature Materials. 2014, 12, pp. 798–800
- Streethawong Th., Suzuki Y., Yoshikawa S. Synthesis, characterization, and photocatalytic activity for hydrogen evolution of nanocrystalline mesoporous titania prepared by surfactant-assisted templating sol-gel process. Journal of Solid State Chemistry. 2005, 329–338.
- Tablitsy fizicheskikh velichin* (c.641) (Tables of physical values). Ed. Academician I.K. Kikoin. Moscow: Atomizdat, 1976, pp. 1008.
- Tobaldi D. M., Pullar R. C., Gualtieri A. F., Seabra M. P., Labrincha J. A., Sol-gel synthesis, characterisation and photocatalytic activity of pure, W, Ag and W/Ag co-doped TiO_2 nanopowders. Chemical Engineering Journal. 2013, 214, pp. 364–375.
- Yin H., Yu K., Song C., Huang R., Zhu Z. Synthesis of Au-Decorated V_2O_5 & ZnO heteronanostructures and enhanced plasmonic photocatalytic activity. ACS Applied Materials & Interfaces, 2014, 6, 14851–14860.
- Yui H., Yu J., Cheng B., Zhou M. Effects of hydrothermal post-treatment on microstructures and morphology of titanate nanoribbons. Journal of Solid State Chemistry. 2006, 179, 349–354.
- Yushkin N. P. *Mineralogicheskie kriterii tekhnologicheskoy ozenki prirodnogo (i tekhnogennogo) syr'ya dlya polucheniya iskusstvennykh mineralov* (Mineralogical criteria of technological estimate of natural (and technogenic) raw for production of artificial minerals). *Tekhnologicheskaya mineralogiya glavneishikh tipov mestorozhdenii* (Technological mineralogy of main types of deposits). Leningrad: Nauka, 1987, pp. 9–14.



Арктический вектор геологических исследований Arctic vector of geological research

УДК 549.07: 523.681.8: 535.375.54: 539.213 (234.82)

DOI: 10.19110/2221-1381-2018-4-40-44

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФАЗОВЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ГЛИНИСТОМ ИЗВЕСТНЯКЕ ПРИ ИМПАКТНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

В. В. Уляшев, С. И. Исаенко

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар
vaskom77@mail.ru

Преобразование карбонатного вещества мишени во время импактного процесса остается слабоизученным. Фазовые изменения силикатных осадочных пород с высокой долей карбонатного вещества, а также известняков с глинистой и углеродистой компонентами остаются вообще не исследованными. Для выявления характера фазовых трансформаций подобных объектов нами впервые была выполнена экспериментальная работа по моделированию импактного процесса короткоимпульсным лазерным воздействием на битумосодержащий глинистый известняк. В процессе воздействия лазерного импульса на вещество мишени нами достигнуты температуры (~2200 K) и давления (~24 ГПа), соизмеримые с расчетными данными при образовании крупных импактных структур. Экспериментально установлено плавление и раскристаллизация карбонатного расплава с образованием промежуточных фаз и кальцита. Выявлено образование импактного стекла из глинистой составляющей протолита, а также зафиксировано преобразование углеродистого вещества.

Ключевые слова: импактный процесс, карбонатное вещество, стекло, трансформация, лазерное воздействие, КР-спектроскопия.

SIMULATION OF PHASE TRANSFORMATIONS IN CLAY-CONTAINING LIMESTONE UNDER IMPACT TREATMENT

V. V. Ulyashev, S. I. Isaenko

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

Transformation of carbonate matter of a target during impact process remains poorly studied. Phase changes in silicate sedimentary rocks with a high proportion of carbonate matter, as well as limestones with clay and carbonaceous components, are largely unexplored. For the first time an experimental work to simulate an impact process with a short-pulse laser action to bituminous clay limestone to determine the nature of phase transformations was performed. During the action of the laser pulse on the target material we reached temperatures (2200 K) and pressures (24 GPa) which were close to the calculated formation conditions data of large impact structures. Melting and recrystallization of the carbonate melt with formation of intermediate phases and calcite were experimentally established. Formation of impact glass from the clay constituent of the protolith were revealed, and transformation of the carbonaceous substance were produced.

Keywords: impact process, carbonate substance, glass, transformation, laser treatment, Raman spectroscopy.

Введение

Горные породы интенсивно преобразуются при больших ударных нагрузках. Динамические ударные волны, являющиеся причиной ультравысоких давлений и температур, приводят к деформации, трансформации, плавлению и испарению вещества мишени [5, 9]. Преобразование плотных метаморфических пород изучено весьма детально, они несут явные следы ультравысокобарических изменений, включая образование высокобарических минералов [3–5]. В тоже время остается не до конца ясной реакция карбонатных пород на высокие давления и температуры. Понимание процесса преобразования известняка и существенно карбонатных силикатных пород при импактном метаморфизме, а также выявление конечных продуктов является необходимым условием для распознавания маркера ударных структур в богатых карбонатным матриксом породах мишени.

Воспроизведение импактного процесса в лабораторных условиях дает возможность изучить механизм преобразования вещества природных объектов, под-

верженных интенсивному ударному воздействию [9]. Эксперименты по ударному сжатию в условиях лаборатории, как правило, производятся посредством ударных механизмов с использованием в качестве стартовых материалов взрывчатых веществ [1], а также путем механического импульса. В то же время аналогом природных импактных процессов на микроуровне может служить локальное лазерное воздействие на поверхность исследуемого образца. Подобное экспериментальное моделирование широко применяется в зарубежной практике [6, 7], особенно активно в последние годы.

Лазерная обработка относится к локальным методам термического воздействия с помощью высококонцентрированных источников нагрева. При воздействии миллисекундного лазерного излучения на поверхности вещества возникают сверхвысокие температуры (порядка нескольких тысяч K) за счет большой плотности энергии излучения ($6 \cdot 10^5$ Вт/см²) и скоротечности времени воздействия импульса (0.5 мс). Возникает чрезвычайно высокая концентрация энергии в микрообъеме приповерхностного слоя, что приводит к переходу



ду вещества в плазменное состояние. При расширении плазмы в приповерхностной области возникают очень большие давления — до 400 ГПа и выше, как при взрыве [2]. Условия, возникающие в ходе экспериментальной работы, близки по своим физическим параметрам к ударному метаморфизму [8].

В данной работе мы приводим результаты экспериментального моделирования импактного процесса пород карбонатного состава. Полученные данные являются необходимыми для понимания процессов импактного преобразования известняков подложки с незначительной силикатной составляющей.

Материалы и методы

В качестве материала для экспериментального моделирования был использован углеродсодержащий глинистый известняк из пород мишени Карской астроблемы (Пай-Хой). Для исследований изготавливались пластины размером около $1.5 \times 1.5 \text{ см}^2$. Во избежание процессов окисления во время воздействия лазерного излучения на вещество образец помещали в заполненный инертной средой аргона сосуд, который устанавливали на кронштейн на расстоянии 0.5 м от рубинового лазера ГОР-100М, и производили облучение образца (рис. 1). Зона воздействия имела размеры около $3 \times 2 \text{ мм}^2$ (рис. 2).

Изучение продуктов преобразования проводилось в ЦКП «Геонаука» локальными методами исследования — рамановской спектроскопией (LabRam HR800,

Horiba Jobin Yvon) и сканирующей электронной микроскопией (СЭМ) в совокупности с микрозондовым анализом (Tescan Vega LMN (Чехия) с энергодисперсионным детектором X-MAX, Oxford Instruments, аналитик С. С. Шевчук). Условия регистрации спектров комбинационного рассеяния: He-Ne-лазер ($\lambda = 488 \text{ нм}$, мощность — 1.2 мВт), решетка спектрографа — 600 ш/мм, конфокальное отверстие — 300 мкм, щель спектрометра — 100 мкм, время экспозиции спектра комбинационного рассеяния — 10 с, количество циклов накопления сигнала в участке спектра — 3, диапазон регистрации спектров — $100\text{--}4000 \text{ см}^{-1}$. Спектры регистрировались при комнатной температуре.

Результаты и обсуждение

Интенсивное преобразование поверхности хорошо выявляется как оптическими методами (рис. 2), так и с помощью сканирующей электронной микроскопии. Последняя позволила зафиксировать существенные морфологические изменения в области лазерного воздействия (рис. 3, а). Условно выделяются три зоны — неизменная, слабоизмененная и интенсивно преобразованная.

Неизменная область представлена плотно срастающимися кристаллами кальцита ромбоэдрической и неправильной формы размером от 10 до 100 мкм (рис. 3, б). В зоне слабого преобразования наблюдаются округлые очертания и нечеткую морфологию зерна кальцита. В наиболее преобразованной зоне вещество

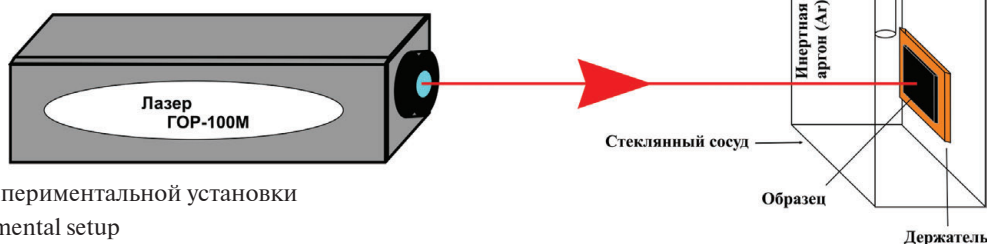


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Fig. 1. The experimental setup

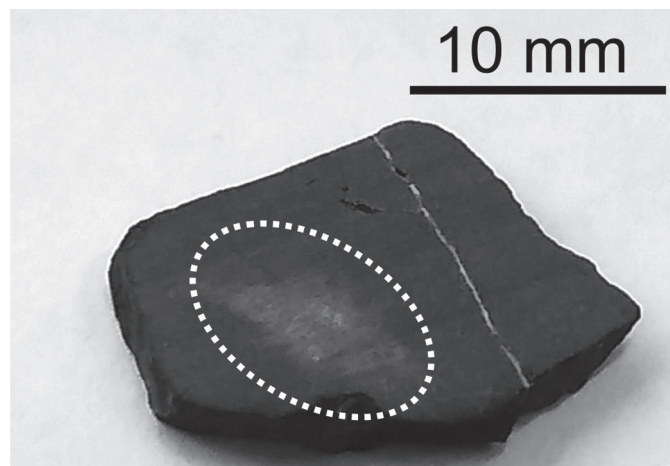


Рис. 2. Углеродсодержащий известняк после лазерного воздействия (выделенная область)

Fig. 2. The carbonaceous limestone after laser treatment (marked area)

имеет кораллоподобную морфологию, которая хорошо выделяется на фоне неизменной области (рис. 3, с). По данным энергодисперсионного анализа преобразованное вещество имеет нестехиометрический состав: Ca — 11 %, C — 35 %, O — 54 %.

В ходе спектроскопических исследований нами установлено, что исходный кальцит (неизменная зона) и продукты шокового воздействия имеют разные спектроскопические характеристики. Спектр исходного вещества характеризуется набором типичных полос кальцита $280, 714, 1087 \text{ см}^{-1}$ (рис. 4, а), а для зоны слабого преобразования наблюдается увеличение ширины полос и смещение рамановского сдвига полос кальцита в сторону меньших значений (таб. 1), что свидетельствует об уменьшении степени структурного упорядочения вещества (рис. 4, б) [11].

В наиболее интенсивно преобразованной области вещества его спектры характеризуются сильной люминесценцией, для них характерны полосы 252, 364, 3620

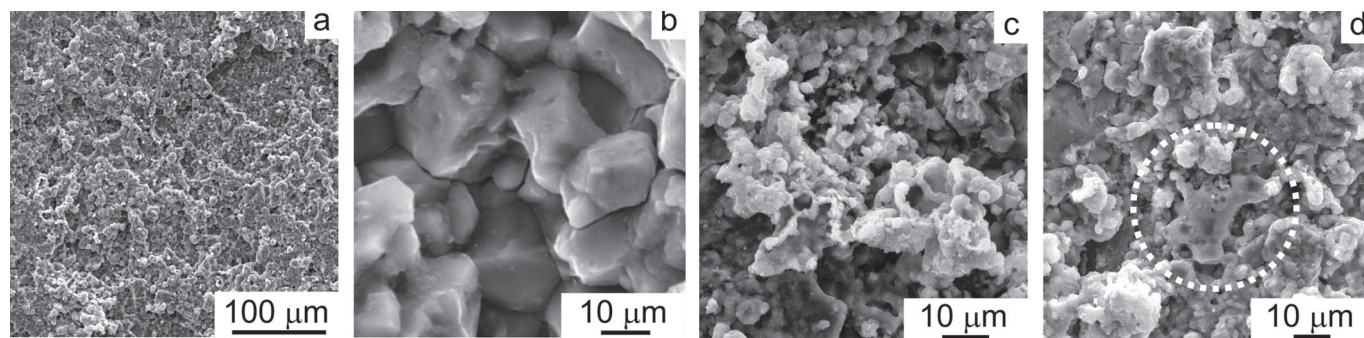


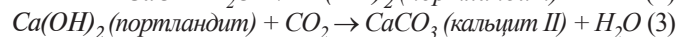
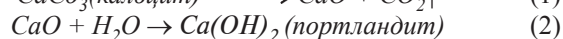
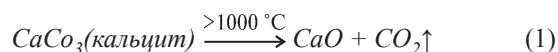
Рис. 3. Морфологические особенности поверхности образца по данным СЭМ: а — общий вид преобразованной области; б — неизменная область карбоната, представленная кристаллами кальцита; с — интенсивно преобразованное вещество карбоната с кораллоподобной морфологией; д — общий вид застывшего импактного расплава анортитового состава

Fig. 3. Morphological features of the sample surface, SEM data: a — overview of the transformed region; b — unchanged region of carbonate, represented by calcite crystals; c — intensely transformed carbonate substance with coral-like morphology; d — overview of the solidified impact melt of anorthite composition

см⁻¹, которые идентифицируются по базе данных RUFF как минерал портландит (Ca(OH)₂) (рис. 4, с). Следует отметить, что в исходной породе данный минерал не был обнаружен ранее. Выявление данной фазы может быть объяснено тем, что при термическом воздействии более 1000 °С на карбонат кальция (кальцит) происходит его разложение на компоненты: оксид кальция (CaO) и газообразный диоксид углерода (CO₂) (реакция 1). При этом следует отметить, что оксид кальция не был зафиксирован в продуктах преобразования микронзондовым анализом. Это можно объяснить тем, что CaO имеет высокую реакционную способность и уже в момент извлечения образца из инертной среды он вступает в реакцию с парами воды, содержащимися в атмосфере воздуха (реакция 2). При взаимодействии оксида кальция и атмосферной воды образуется гидроксид кальция (портландит), что и было зафиксировано спектроскопией комбинационного рассеяния света.

В ходе дальнейших спектроскопических исследований нами было обнаружено, что при высоких мощностях возбуждающего лазерного излучения происходит нагрев портландита. Под нагревом Ca(OH)₂ вступает в

реакцию с углекислым газом воздуха с последующим образованием кальцита (реакция 3), т. е. происходит формирование новообразованного кальцита (рис. 5). Последовательность фазовых трансформаций преобразования кальцита при импактном воздействии можно представить следующим образом:



Таким образом, наблюдая изменения и теоретически рассматривая возможные реакции с карбонатом кальция при экспериментальном импактном воздействии, приходим к тому, что в астроблемах имеется низкая вероятность обнаружить CaO, учитывая сильную обводненность импактитов астроблем и высокие остаточные температуры. При этом все условия для его образования при импактном метаморфизме как промежуточного продукта существуют, но из-за высокой реакционной способности оксид кальция переходит в портландит. За счет высоких остаточных постимпак-

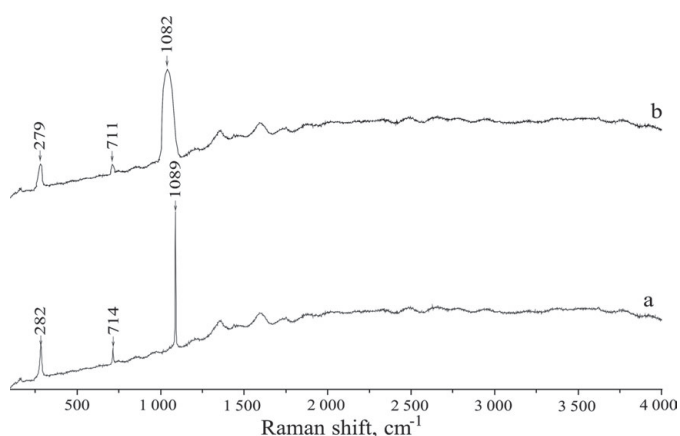


Рис. 4. КР-спектры различных областей воздействия: а — исходной (кальцит высококристаллический), б — частично преобразованной (слабоупорядоченный кальцит), с — интенсивно преобразованной (портландит)

Fig. 4. Raman spectra of different regions of exposure: a — initial (calcite highly crystalline), b — partially transformed (weakly ordered calcite), c — intensely transformed (portlandite)

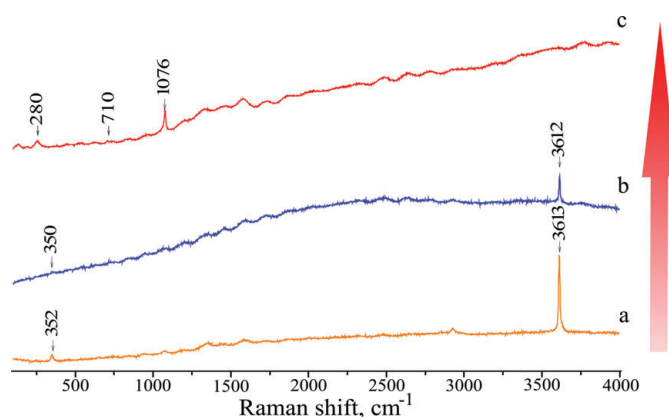


Рис. 5. Рамановские спектры: а — портландита исходного; б — портландита измененного; с — кальцита новообразованного. Стрелкой указана последовательность изменений «in situ» с ростом энергии возбуждающего излучения от 1.2 до 60 мВт соответственно

Fig. 5. Raman spectra: a — portlandite (initial); b — portlandite (altered); c — calcite (newly formed). The arrow indicates the sequence of changes «in situ» with an increase in the energy of the exciting radiation from 1.2 to 60 mW, respectively



Таблица 1. Характеристики КР-спектров для исходного, измененного и новообразованного кальцита (FWHM — ширина полосы на полувысоте)

Table 1. Characteristics of Raman spectra for the initial, altered and newly formed calcite (FWHM — full width at half maximum)

	$\Delta\nu, \text{cm}^{-1}$	FWHM, cm^{-1}	$\Delta\nu, \text{cm}^{-1}$	FWHM, cm^{-1}	$\Delta\nu, \text{cm}^{-1}$	FWHM, cm^{-1}
Исходный \ Initial CaCO_3	282	12	714	5	1089	5
Измененный \ Altered CaCO_3	279	20	711	14	1082	38
Новообразованный \ Newly formed CaCO_3	280	30	710	10	1076	15

Таблица 2. Данные КР-спектров УВ до и после лазерного воздействия (FWHM — ширина полосы на полувысоте)

Table 2. Data of Raman spectra for carbon before and after exposure (FWHM — full width at half maximum)

	D полоса D band		G полоса G band		I_{D1}/I_G
	$\Delta\nu, \text{cm}^{-1}$	FWHM, cm^{-1}	$\Delta\nu, \text{cm}^{-1}$	FWHM, cm^{-1}	
УВ исходное \ Initial carbon	1350	47	1588	48	2.4
УВ в зоне воздействия \ Carbon in exposure zone	1350	52	1583	43	1.1

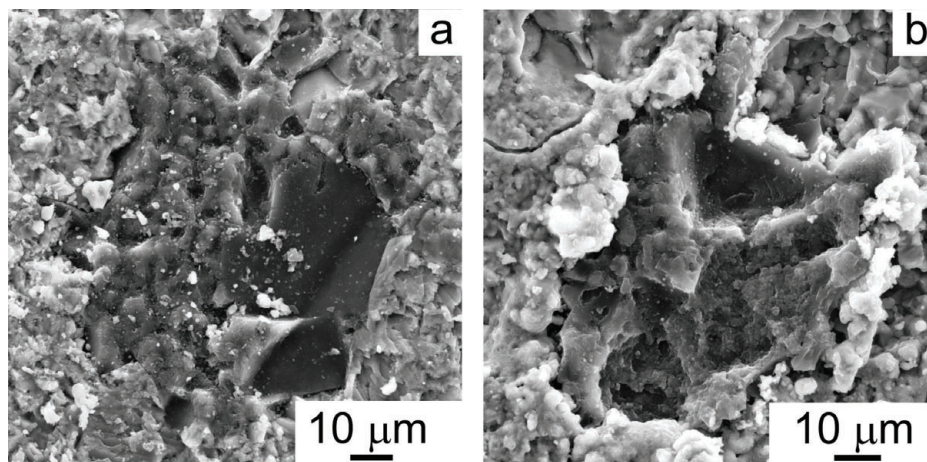


Рис. 6. Углеродное вещество: а — в области без воздействия, б — в преобразованной области
Fig. 6. Carbon: a — in the area without exposure, b — in the transformed area

тных температур происходит формирование новообразованного карбоната кальция из промежуточного продукта — гидроксида кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$).

При дальнейшем детальном исследовании зоны воздействия в известняке с помощью сканирующей электронной микроскопии нами были обнаружены редкие выделения стекла неправильной формы, размером около 40×25 мкм (рис. 3, d), которые образовались за счет содержания силикатных компонент в матрице известняка. Стекло имеет плавные очертания, его поверхность характеризуется изометричными порами разного размера — от 1 мкм до 5 мкм, что свидетельствует о полном плавлении исходного вещества с выделением газовой фазы. Химический состав расплава нестехиометричный, достаточно однородный, имеющий преимущественно анортитовый состав (CaO — 58.2, SiO_2 — 20.6, Al_2O_3 — 11.7, MgO — 2.2, K_2O — 0.69 %). При этом, по данным микрозондового анализа, наблюдается завышение компоненты CaO относительно анортита. Вероятнее всего, это связано с синхронным плавлением глинистой компоненты и разложением карбоната кальция на CaO и CO_2 с последующим частичным захватом CaO алюмосиликатным расплавом.

В матрице карбоната встречаются также обломки углеродного вещества с содержанием углерода 98.8 %

(рис. 6). В ходе спектроскопических исследований нами установлено, что исходное и преобразованное углеродное вещество имеет различные спектроскопические характеристики (табл. 2). В случае исходного вещества наблюдается спектр шунгитоподобного углерода, а спектр из зоны воздействия свидетельствует о произошедшем процессе упорядочения структуры углеродного вещества, что привело к графитизации.

Разложение КР-спектров на составляющие с использованием свертки функций Лоренца и Гаусса, а также ее подробный анализ позволяет сделать следующие выводы. Сдвиг G-полосы в сторону уменьшения волнового числа от 1589 до 1582 cm^{-1} и уменьшение ее полуширины от 48 до 43 cm^{-1} , а также уменьшение значения I_{D1}/I_G от 2.4 до 1.1 свидетельствуют о том, что в ходе термобарического воздействия происходит трансформация исходного углеродистого вещества в поликристаллический графит.

По КР-спектрам оценены размеры кристаллитов новообразованного поликристаллического графита по формуле [7]:

$$L_a(\text{nm}) = (2.4 \times 10^{-10}) \lambda_i^4 \left(\frac{I_{D1}}{I_G} \right)^{-1},$$

где L_a — размер кристаллитов в плоскости (002).



В целом размер кристаллитов La в углеродном веществе заметно увеличивается — от 4 нм в исходной области до 12 нм в области воздействия лазерного излучения.

Заключение

В результате детального анализа продуктов, образованных при проведённом экспериментальном моделировании импактного воздействия по глинистому известняку посредством импульсного лазерного воздействия, нами установлено плавление и раскристаллизация карбонатного расплава с образованием промежуточных фаз и кальцита. Глинистая же компонента в данных условиях претерпевает плавление и стеклование. Проведенные эксперименты показали, что кальцитовый расплав в отличие от силикатного кристаллизуется исключительно быстро, при этом финальным продуктом является новообразованный кальцит, что затрудняет выявление стадии плавления карбоната в природных импактных объектах. При отсутствии примеси силикатов и алюмосиликатов в карбонатных породах мишени признаки импактного преобразования весьма затухают и могут проявляться только в виде реликтовых промежуточных продуктов преобразования карбоната. Хотя в случае мощного перекрытия вышележащими толщами могут сохраняться и явные признаки плавления карбонатов [10].

Результаты исследований имеют важное значение для изучения астроблем, поскольку породы осадочного чехла чаще всего подвергаются импактному воздействию. Полученные стекла могут быть своеобразным эталоном для сравнения с продуктами импактного преобразования при реконструкции природных процессов.

Авторы выражают благодарность Т. Г. Шумиловой за научные консультации. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РНФ № 17-17-01080.

Литература

1. Боримчук Н. И., Зелявский В. Б., Курдюмов А. В., Островская Н. Ф., Трефилов В. И., Ярош В. В. Механизм прямых фазовых превращений сажи и угля в алмаз при ударном сжатии // ДАН СССР. 1991. Т. 321. №1. С. 95–98.
2. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Лазерная техника и технология. М.: Высшая школа, 1987. 191 с.
3. Лютов В. П., Юшкин Н. П., Тихомирова Н. С. Минералогические свидетельства карского импактного процесса // Минеральный мир: структура, разнообразие, конституция минералов, кристаллогенезис и минералообразование, биоминеральные взаимодействия, эволюция минералообразующих процессов / Под ред. Н. П. Юшкина, С. К. Кузнецова. Сыктывкар: Геопринт, 2012. С. 354.
4. Масайтис В. Л., Машчак М. С., Райхлин А. И., Селивановская Т. В., Шафрановский Г. И. Алмазональные импактиты Попигайской астроблемы. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. 179 с.
5. Масайтис В. Л., Гневусhev М. А., Шафрановский Г. И. Минеральные ассоциации и минералогические критерии генезиса астроблем // Записки Всесоюзного минералогического общества. 1979. 4. 108. Вып. 3. С. 257–253.
6. Boustie M., Berthe L., T. de Resseguier, Arrigoni M. Laser shock waves: fundamentals and applications. 1st International Symposium on Laser Ultrasonics: Science, Technology and Applications. 2008. Montreal, Canada.
7. Langenhorst F. Shock metamorphism of some minerals: Basic introduction and microstructural observations. Bulletin of the Czech Geological Survey. Vol. 77. No. 4. 265–282, 2002.
8. Langenhorst F., Stöffler D. Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observations and theory // Meteoritics. 1994. V. 29. P. 155–181.
9. Melosh H. J. Impact cratering, a geological process. Oxford University Press. New York. 1989. 245 p.
10. Osinski G. R. Impact glasses in fallout suevites from the Ries impact structure, Germany: An analytical SEM study. Meteoritics & Planetary Science 38. 2003. No. 11. 1641–1667.
11. Schmid T., and Dariz P. Shedding light onto the spectra of lime: Raman and luminescence bands of CaO, Ca(OH)₂ and CaCO₃. J. Raman Spectroscopy. 2014. V. 46. P. 141–146. DOI: 10.1002/jrs.4622.

References

1. Borimchuk N. I., Zelyavskiy V. B., Kurdyumov A. V., Ostrovskaya N. F., Trefilov V. I., Yarosh V. V. *Mekhanizm pryamykh fazovykh prevrashcheniy sazhi i uglya valmaz pri udarnom szhatii* (The mechanism of direct phase transformations of soot and coal into diamond under shock compression). DAN USSR, 1991, V. 321, No. 1, pp. 95–98.
2. Grigor'yants A. G., Safonov A. N. *Lazernaya tekhnika i tekhnologiya* (Laser technique and technology). Moscow: Vysshaya shkola, 1987, 191 pp.
3. Lyutovoy V. P., Yushkin N. P., Tikhomirova N. S. *Mineralogicheskiye svidetelstva karskogo impaktnogo protsesssa* (Mineral features of the Kara's impact process). *Mineralnyy mir: struktura, raznoobrazie, konstitutsiya mineralov, kristallogenezis i mineraloobrazovaniye, biomineral'nyye vzaimodeystviya, evolyutsiya mineraloobrazuyushchikh protsessov*. Eds. N. P. Yushkin, S. K. Kuznetsov. Syktivkar: Geoprint, 2012, pp. 354.
4. Masaytis V. L., Mashchak M. S., Raykhlin A. I. Selivanovskaya T. V., Shafranovskichy G. I. *Almazonostnyye impaktity Popigayskoy astroyblemy* (Diamond-containing impactites of the Popigai astrobleme). St. Petersburg: VSEGEI, 1998, 179 pp.
5. Masaytis V. L., Gnevushev M. A., Shafranovskiy G. I. *Mineralnyye assotsiatsii mineralogicheskiye kriterii genezisa astroyblem* (Mineral associations and mineralogical criteria of astroblems genesis). *Zapiski vsesoyuznogo mineralogicheskogo obshchestva*. 1979, 108, No.3, pp. 257–253.
6. Boustie M., Berthe L., T. de Resseguier, Arrigoni M. Laser shock waves: fundamentals and applications. 1st International Symposium on Laser Ultrasonics: Science, Technology and Applications, 2008, Montreal, Canada.
7. Langenhorst F. Shock metamorphism of some minerals: Basic introduction and microstructural observations. Bulletin of the Czech Geological Survey, 2002, V. 77, No. 4, pp. 265–282.
8. Langenhorst F., Stöffler D. Shock metamorphism of quartz in nature and experiment: I. Basic observations and theory. Meteoritics, 1994, V. 29, pp. 155–181.
9. Melosh H. J., Impact cratering, a geological process. Oxford University Press, New York, 1989, 245 p.
10. Osinski G. R. Impact glasses in fallout suevites from the Ries impact structure, Germany: An analytical SEM study. Meteoritics & Planetary Science 38, 2003, No. 11, pp. 1641–1667.
11. Schmid T. & Dariz P. Shedding light onto the spectra of lime: Raman and luminescence bands of CaO, Ca(OH)₂ and CaCO₃. J. Raman Spectroscopy. 2014, V.46, pp. 141–146. DOI: 10.1002/jrs.4622.

БИОМАРКЕРЫ НЕФТЕЙ НИЖНЕГО ПАЛЕОЗОЯ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ТИМАНО-ПЕЧОРСКОГО БАСЕЙНА

Д. А. Бушнев, О. В. Валяева, Н. С. Бурдельная

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар

boushnev@geo.komisc.ru

Углеводородный состав ряда образцов нефти из отложений силура, нижнего девона и нижнего карбона северной части Тимано-Печорского бассейна был исследован методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии. Особенностью распределения *n*-алканов в данных нефтях является наличие максимумов, приходящихся на углеводороды состава C₁₇ и C₁₉. Это является одним из характерных признаков нефтей, образованных из органического вещества, сложенного остатками проблематичного организма *G. Prisca*, характерного для отложений ордовикского возраста (кукерсит). Экспериментальное моделирование катагенеза прибалтийского кукерсита дало результаты, не противоречащие данному выводу.

Ключевые слова: Тимано-Печорский бассейн, нефть, биомаркеры, *G. Prisca*, ордовик.

BIOMARKERS OF LOWER PALEOZOIC OILS IN THE NORTHERN PART OF THE TIMAN-PECHORA BASIN

D. A. Bushnev, O. V. Valyaeva, N. S. Burdelnaya

Institute of Geology Komi SC UB RAS, Syktyvkar

The hydrocarbon composition of a number of oil samples from Silurian and Lower Devonian and Lower Carboniferous deposits in the northern part of the Timan-Pechora Basin was investigated by gas chromatography and chromatography-mass spectrometry. A feature of the distribution of *n*-alkanes in these oils is the presence of maximums in C₁₇ and C₁₉ hydrocarbons. This is one of the characteristic features of the oils formed from organic matter by the remains of the problematic organism *G. Prisca*, characteristic of Ordovician sediments of the Ordovician age (Kukersite). Experimental modeling of the thermal maturation of the Baltic Kukersite confirmed the obtained results.

Keywords: Timan-Pechora basin, oil, biomarkers, *G. Prisca*, Ordovician.

Выяснение генетической природы нефтей является одной из важнейших задач, стоящих перед нефтяной геохимией. Одним из аспектов, важных для решения данной задачи, является корреляция между нефтью и нефтематеринской породой. Задача такой корреляции традиционно решается при сопоставлении состава углеводородных биомаркеров, содержащихся в нефти и в органическом веществе нефтематеринских пород [4]. Подбор корреляционных пар естественно затруднён в нефтегазоносных бассейнах, имеющих широкий стратиграфический интервал нефтегазоносности и многочисленные уровни присутствия нефтепроизводящих отложений. К таким бассейнам относится и Тимано-Печорский [1]. Выделение генетических типов нефти, присутствующих в разных нефтегазоносных комплексах, является важным этапом изучения региональных проявлений нефтегазоносности. Особенностью состава нефтей, встречающихся в отложениях силура, нижнего девона и карбона в северной части Тимано-Печорского бассейна, является распределение *n*-алканов с максимумами на нечётных гомологах в низкомолекулярной области [3]. Эта особенность значительной группы нефтей позволила в своё время выделить их в генетически самостоятельную группу [3].

Исследование углеводородного состава нефтей из отложений силура и нижнего девона севера Тимано-Печорского бассейна было выполнено во фракции, содержащей смесь алифатических и ароматических углеводородов, методами ГЖХ и ХМС (таблица). Отличительной характеристикой исследованной группы нефтей является то, что среди *n*-алканов наблюдается характерное доминирование углеводородов состава C₁₇, C₁₉ над соседними чётными гомологами и значительное снижение концентраций углеводородов C₂₀⁺. Для всех этих нефтей характерен в общем невысокий

уровень концентраций изопреноидных алканов (рис. 1, таблица).

Фракция нефти, содержащая насыщенные углеводороды, была исследована методом хромато-масс-спектрометрии для выяснения особенностей распределения полициклических биомаркеров (рис. 2, таблица). Судя по коэффициентам, отвечающим за определение термической зрелости, катагенез органического вещества, продуцирующего данные нефти, не превышает стадии МК₂ [8]. В пользу этого вывода свидетельствуют значения коэффициентов 20S/S+R и соотноше-

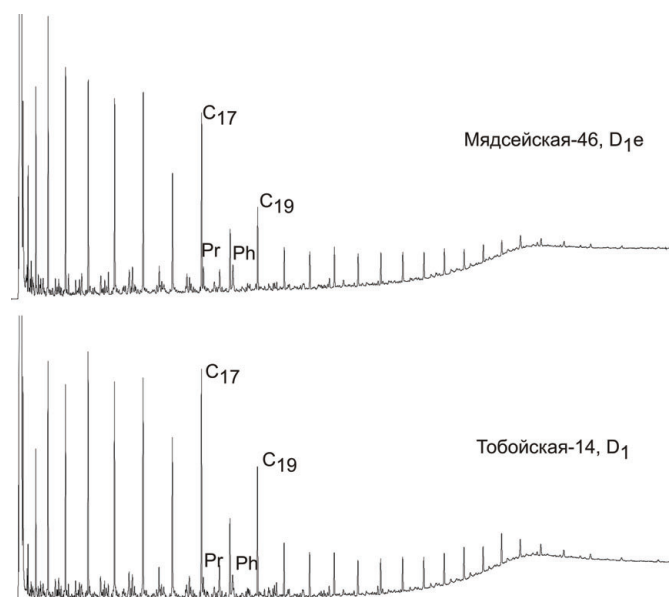


Рис. 1. Хроматограммы углеводородных фракций нефтей. С (число) — *n*-алканы, Pr — пристан, Ph — фитан

Fig. 1. Chromatograms of hydrocarbon fractions of oils. C (number) — *n*-alkanes, Pr — prystone, Ph — phytane

Геохимические показатели исследованных нефтей
Geochemical indices of studied oils

№	Скважина, возраст коллектора Well, Reservoir age	Pr/Ph	Pr+Ph/ n-C ₁₇ +n-C ₁₈	2*H-C ₁₇ / n-C ₁₆ +n-C ₁₈	2*H-C ₁₉ / n-C ₁₈ +n-C ₂₀	αββ-стераны (steranes) C ₂₇ :C ₂₈ :C ₂₉	αββ/αββ+ααα C ₂₉ -стераны (steranes)	22S/S+R C ₃₁ -αβ-гопаны (hopanes)	20S/S+R C ₂₉ -ααα-стераны (steranes)
1	Лабоганская-71 (Laboganskaya-71), C _{1t}	0.96	0.25	1.69	1.38	32:26:42	0.56	0.59	0.41
2	Мядсейская-46 (Myadseyskaya-46), D _{1e}	0.93	0.23	1.96	1.58	25:27:48	0.63	0.60	0.39
3	Тобойская-14 (Toboyskaya-14), D ₁	0.74	0.23	1.58	1.52	33:28:39	0.62	0.57	0.40
4	Тобойская-14 (Toboyskaya-14), D ₁ (обр. 2 Sample 2)	1.07	0.19	1.89	1.93	29:31:39	0.60	0.58	0.43
5	Наульская-40 (Naulskaya-40), D ₁	1.06	0.17	1.71	1.33	29:28:43	0.62	0.59	0.39
6	Варандейская-7 (Varandeyskaya-7), S+D ₁	1.24	0.17	1.93	1.59	33:25:42	0.63	0.59	0.43

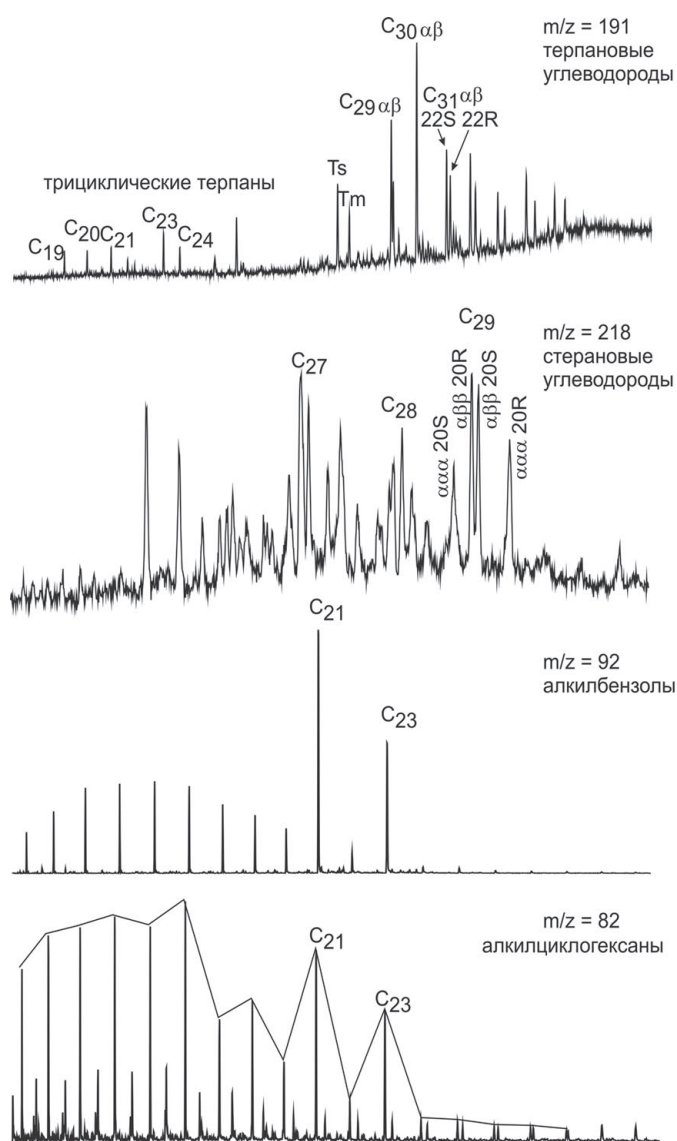


Рис. 2. Масс-хроматограммы углеводородной фракции нефти из скважины Тобойская-14

Fig. 2. Mass-chromatograms of hydrocarbon fraction of oil from Toboyskaya-14 well

ние $\alpha\beta\beta/\alpha\alpha\alpha+\alpha\beta\beta$, рассчитанные по соотношению стерановых углеводородов состава C₂₉. При этом величина отношения 22S/S+R для гомогопанов C₃₁ и C₃₂ достигла равновесной величины (0.6), а содержание моретанов, понижающееся при катагенезе, ещё не снизилось до минимального уровня. Распределение регулярных $\alpha\beta\beta$ -стеранов в изученных нефтях (см. таблицу) не имеет каких-то характерных, уникальных признаков. Напротив, оно вполне обычно для широко распространённого органического вещества, типичного для морских карбонатных осадков, и продуцируемых этим органическим веществом нефтей [8].

Представленные ранее по нефтям из отложений верхнего девона Тимано-Печорского бассейна данные [2] свидетельствуют о том, что нефти с характерно повышенными концентрациями алкилбензолов состава C₂₁ и C₂₃ распространены в северной части Тимано-Печорского бассейна. Распределение алкилциклогексанов в нефтях из отложений верхнего девона в ряде случаев также повторяет распределение алкилбензолов, как и в нефтях из отложений нижнего палеозоя. Поэтому данные о распределении алкилбензолов с максимумами на C₂₁- и C₂₃-гомологах и распределение алкилциклогексанов с максимумами на нечётных УВ до C₂₃ включительно не являются уникальной характеристикой нефтей из нижнепалеозойских отложений.

Преобладание среди нормальных алканов нечетных гомологов состава C₁₅–C₁₉ (иногда C₂₁), сочетающееся с низкими концентрациями более высокомолекулярных n-алканов и низкими концентрациями изопреноидов, широко распространено в органическом веществе ордовикских нефтематеринских пород и продуцируемых ими нефтях [9, 10].

Остатки проблематичного организма *Gloeocapsomorpha prisca* Zalesky 1917 составляют основную часть ископаемого органического вещества широко известного горючего сланца Прибалтики — эстонского кукурсита [6]. Согласно исследованиям [7], *G. prisca* была широко распространена в тёплых низкоширотных эпиконтинентальных морях ордовикского периода. Органическое вещество ордовикского кукурсита было изучено нами на материале образца из разреза Кохтла (Kohla) кукурзерского горизонта среднего ордовика в

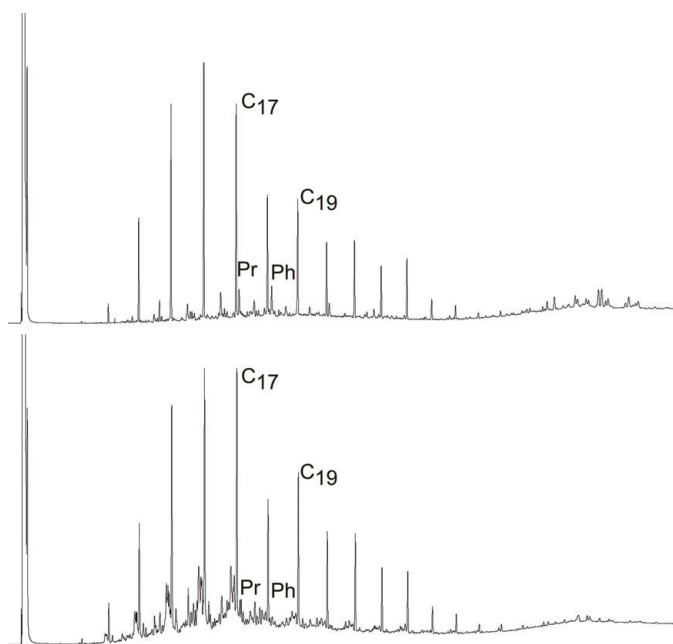


Рис. 3. Хроматограммы алифатической фракции битумоида (верх) и термобитума (низ) кукурсита из разреза Кохтла

Fig. 3. Chromatograms of aliphatic fraction of bitumen (top) and thermobitumen (bottom) of kukersite from Kohtla section

Эстонии [11]. Результаты пиролиза Rock-Eval образца ордовикского сланца свидетельствуют о низкой степени катагенетической изменённости ($T_{\max}$ 423 °C) и высоком углеводородном потенциале (HI 783 мг УВ/г С) [5]. С целью повышения уровня термической зрелости органического вещества кукурсита нами был осуществлён эксперимент по гидротермальной обработке эстонского сланца [5]. Распределение *n*-алканов битумоида кукурсита и термобитума, полученного при гидротермальном воздействии на породу при 300 °C, отличается незначительно. Его особенностями является доминирование нечётных углеводородов состава C_{17} , C_{19} , C_{21} и C_{23} и резкое снижение концентраций *n*-алканов более высоких молекулярных масс (рис. 3). Стерановые углеводороды битумоида и термобитума (300 °C) представлены преимущественно $\alpha\alpha\alpha$ -20R-диастереомерами, а в распределении стеранов C_{27} – C_{29} доминирует C_{29} . Соотношение данных углеводородов составляет 35 : 9 : 56 в исходном битумоиде 32 : 11 : 57 — в термобитуме (300 °C). Таким образом, данные по распределению стерановых углеводородов в изученных нефтях и кукурсите не позволяют использовать их как корреляционный признак.

Заключение

Ряд образцов нефти из силурийских, нижнедевонских и нижнекаменноугольных резервуаров северной части Тимано-Печорского бассейна демонстрируют геохимические признаки, позволяющие предполагать возможность генерации данных нефтей отложениями, содержащими характерные для ордовикских пород остатки проблематичной микроводоросли *G. Prisca*. Корреляционными признаками, позволяющими делать такие выводы, являются прежде всего распределение *n*-алканов с характерным доминированием углеводородов состава C_{17} и C_{19} , а также низкие концентрации изопреноидных алканов и *n*-алканов состава C_{20+} . Экспериментальное моделирование термического созревания органического вещества прибалтийского кукурсита подтверждает полученные данные. Генетические показатели, определяемые по распределению полициклических биомаркеров, например соотношение $\alpha\beta\beta$ -стеранов состава $C_{27} : C_{28} : C_{29}$, не позволяют осуществлять надёжную корреляцию между нефтями нижнего палеозоя ТПП и органическим веществом среднеордовикского возраста.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП «Геонаука» по теме НИР «Геология, условия формирования и нефтегазоносность осадочных комплексов северо-востока европейской части России, органическая геохимия нефтей и доманикитов» ГР № АААА-А17-117121270033-6.

Литература

1. Баженова Т. К., Шиманский В. К., Васильева В. Ф., Шапиро А. И. Яковлева (Гембицкая) Л. А., Климова Л. И. Органическая геохимия Тимано-Печорского бассейна. СПб.: ВНИГРИ, 2008. 164 с.
2. Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Валяева О. В., Деревесникова А. А. Геохимия нефтей позднего девона Тимано-Печорского бассейна // Геология и геофизика. 2017. Т. 58. № 3–4. С. 410–422.
3. Бушнев Д. А. Генетические особенности нефтей Варандей-Адзвинской зоны Печорского бассейна. Сыктывкар, 1998. 24 с. (Научные доклады / Коми научный центр УрО Российской академии наук; вып. 401).
4. Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С. Нефти и органическое вещество позднедевонских отложений Тимано-Печорского бассейна, сопоставление по молекулярным и изотопным данным // Нефтехимия. 2015. Т. 55. № 5. С. 375–382.
5. Бушнев Д. А., Бурдельная Н. С., Мокеев М. В. Изменения состава битумоида и химической структуры керогена при гидротермальном воздействии на породу // Геохимия. 2013. № 9. С. 819–833.
6. C. B. Foster, J. D. Reed., R. Wicander. Gloeocapsomorpha Prisca Zalesky, 1917: A New Study. Part I: Taxonomy, Geochemistry, and Paleocology. // Geobios, № 22, fasc. 6, 1989.
7. M. G. Fowler. The influence of Gloeocapsomorpha Prisca on the Organic Geochemistry of Oils and Organic-Rich Rocks of Late Ordovician Age from Canada. // Early Organic Evolution: Implication for Mineral and Energy Reservoirs, 1992.
8. Peters, K. E., Walters, C. W., Moldowan, J. M. The Biomarker Guide. Cambridge University Press, Cambridge, 2005, 706 p.
9. Reed J. D., Illich H. A., Horsfield B. Biochemical evolutionary significance of Ordovician oils and their sources. // Org. Geochem., 1986, Vol. 10, pp. 347–358.
10. S. P. Jacobson., J. R. Hatch., S. C. Teerman., R. A. Askin. Middle ordovician organic matter assemblages and their effect on ordovician-derived oils // The AAPG Bulletin. V. 72, N. 9, 1988, PP. 1090–1100.
11. Saadre T. Stop 9. Kohtla quarry and Estonian oil shale // 8th Meeting of the Working Group on the Ordovician Geology of Baltoscandia, 2004. Conference materials (Abstracts and Guidebook). Tallinn and Tartu, Estonia. Pp. 135–136.

References

1. Bazhenova T. K., Shimanskii V. K., Vasileva V. F., Shapiro A. I. Yakovleva (Gembitskaya) L. A., Klimova L. I. *Organicheskaya geokhimiya Timano-Pechorskogo basseina* (Organic geochemistry of Timan-Pechora basin). St. Petersburg: VNIIGRI, 2008, 164 pp.
2. Bushnev D. A., Burdel'naya N. S., Valyaeva O. V., Derevesnikova A. A. *Geokhimiya neftei pozdnego devona Timano-Pechorskogo basseina* (Oil geochemistry of Late Devonian Timan-Pechora basin). *Geologiya i geofizika*, 2017, V. 58, No. 3–4, pp. 410–422.



3. Bushnev D. A. *Geneticheskie osobennosti neftei Varandei-Adz'vinskoi zony Pechorskogo basseina* (Genetic features of oils of Varandey-Adzva zone of Pechora basin. Syktyvkar, 1998, 24 pp. (Proceedings of Komi Science Center UB RAS, 401).
4. Bushnev D. A., Burdelnaya N. S. *Nefiti i organicheskoe veshchestvo pozdnedevonskih otlozhenii Timano-Pechorskogo basseina, sopostavlenie po molekulyarnym i izotopnym dannym* (Oils and organic matter of Late Devonian deposits of Timan-Pechora basin, comparison by molecular and isotope data). *Neftehimiya*, 2015, V.55, No. 5, pp. 375–382.
5. Bushnev D. A., Burdelnaya N. S., Mokeev M. V. *Izmeneniya sostava bitumoida i himicheskoi struktury kerogena pri gidrotermal'nom vozdeistvii na porodu* (Changes of composition of bitumoid and chemical structure of kerogen at hydrothermal influence on rocks). *Geohimiya*, 2013, No. 9, pp. 819–833.
6. C. B. Foster., J. D. Reed., R. Wicander. *Gloeocapsomorpha prisca* Zalesky, 1917: A New Study. Part I: Taxonomy, Geochemistry, and Paleoecology. *Geobios*, No. 22, fasc. 6, 1989.
7. M. G. Fowler. The influence of *Gloeocapsomorpha prisca* on the Organic Geochemistry of Oils and Organic-Rich Rocks of Late Ordovician Age from Canada. *Early Organic Evolution: Implication for Mineral and Energy Reservoirs*, 1992.
8. Peters, K. E., Walters, C. W., Moldowan, J. M., *The Biomarker Guide*. Cambridge University Press, Cambridge, 2005, 706 p.
9. Reed J. D., Illich H. A., Horsfield B. Biochemical evolutionary significance of Ordovician oils and their sources. *Org. Geochem.*, 1986, V. 10, pp. 347–358.
10. S. P. Jacobson., J. R. Hatch., S. C. Teerman., R. A. Askin. Middle ordovician organic matter assemblages and their effect on ordovician-derived oils. *The AAPG Bulletin*. V. 72, No. 9, 1988, pp. 1090–1100.
11. Saadre T. Stop 9. Kohtla quarry and Estonian oil shale. 8th Meeting of the Working Group on the Ordovician Geology of Baltoscandia, 2004. Conference materials (Abstracts and Guildbook). Tallinn and Tartu, Estonia, pp.135–136.



Хроника, события, факты • Chronicle, events, facts

ПАМЯТИ КРИСТАЛЛОГРАФА • IN MEMORY OF CRYSTALLOGRAPHER

April 7, 2018, Galina Nikolaevna Lysyuk left us after a heavy disease. She was the Head of Laboratory of Structural and Morphological Crystallography of the Institute of Geology, a recognized specialist in mineralogy, crystallography and crystal chemistry and simply a good person.

7 апреля 2018 г. после тяжелой болезни ушла от нас Галина Николаевна Лысюк, руководитель лаборатории структурной и морфологической кристаллографии Института геологии, признанный специалист в области минералогии, кристаллографии и кристаллохимии и просто хороший человек.

Галина Николаевна (17.08.1957–07.04.2018) работала в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН с 1982 г. В 1989 году в Львовском университете успешно защитила кандидатскую диссертацию на тему «Эволюция фазового состава железомарганцевых конкреций», за время своей работы стала признанным специалистом-исследователем процессов марганцеобразования и минералогии марганцевых месторождений, пользовалась авторитетом среди коллег как в России, так и за рубежом. В 1996 г. Галина Николаевна стала заведующей лабораторией структурной и морфологической кристаллографии и с тех пор успешно возглавляла её.

Научную и руководящую работу она плодотворно совмещала с педагогической деятельностью по подготовке молодых специалистов и научных кадров. Для многих выпускников кафедры геологии СГУ, где



Галина Николаевна читала курсы лекций и проводила занятия, она была и осталась любимым преподавателем.

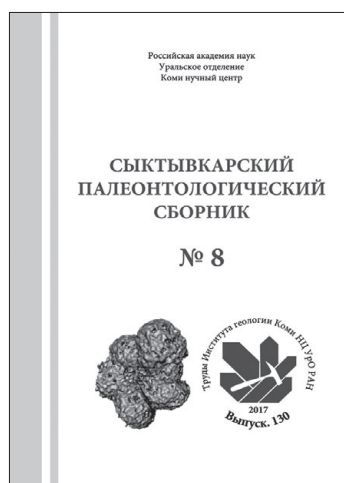
Г. Н. Лысюк являлась членом Комиссии по кристаллохимии и рентгенографии минералов РМО, секретарем Комиссии по истории РМО и экспертной комиссии Института геологии.

Результаты её исследований были опубликованы более чем в ста изданиях, а вклад в науку неоднократно отмечался благодарностями и почетными грамотами.

Память о Галине Николаевне навсегда останется с нами.

Редакция *Вестника*

НОВЫЕ ИЗДАНИЯ • NEW PUBLICATIONS



УДК 56:551

Сыктывкарский палеонтологический сборник № 8. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2017. 56 с. (Труды Института геологии Коми научного центра УрО РАН, Вып. 130).

ISBN 978-5-98491-071-2

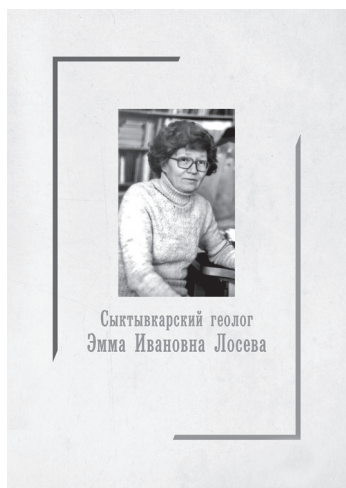
Обсуждаются вопросы палеонтологии и биостратиграфии девона и карбона Европейского Северо-Востока России. Приводятся описания новых таксонов ископаемых организмов, рассматриваются вопросы расчленения осадочных образований биостратиграфическим методом. Помещены материалы по морфологии и палеоэкологии.

Книга адресована специалистам по палеонтологии и стратиграфии палеозоя.

Syktyvkar paleontological collection No. 8. Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 2017. 56 p. (Proceedings of the Institute of geology of Komi science center UB RAS, V. 130).

The problems of Devonian and Carboniferous paleontology and biostratigraphy in the European North-East of Russia are discussed. The descriptions of new taxa of fossil organisms are given, the questions of division of sedimentary formations by a biostratigraphic method are considered. Materials on morphology and paleoecology were placed.

The book is addressed to specialists in Paleozoic paleontology and stratigraphy.



Сыктывкарский геолог Эмма Ивановна Лосева. Редакторы-составители: Э. А. Савельева, Е. С. Холопова, Я. Э. Юдович. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2018. 164 с.

ISBN 987-5-98491-072-9

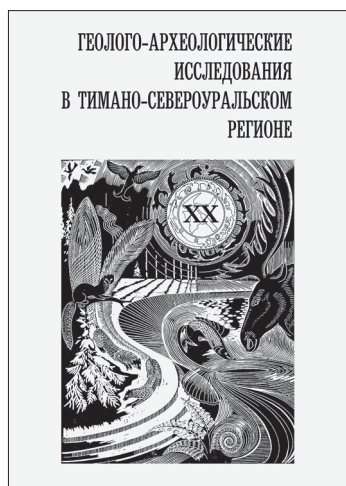
Книга посвящена памяти сыктывкарского геолога-четвертичника, специалиста-диатомолога с мировым именем, доктора геолого-минералогических наук Э. И. Лосевой. Здесь собраны тексты Э. И. Лосевой, отчасти опубликованные, но в основном представляющие дневниковые записи, переданные ею составителям незадолго до кончины. Книга содержит также воспоминания об Э. И. Лосевой, написанные ее друзьями и коллегами, и некоторые отзывы о ее научных публикациях. В приложениях приведен полный список всех публикаций Э. И. Лосевой — как научных, так и мемориальных или научно-популярных.

Книга представляет несомненный интерес для широкого круга читателей — как геологов, так и людей, далеких от геологии.

Syktyvkar geologist Emma Ivanovna Loseva. Editors-compilers: E. A. Saveleva, E. S. Kholopova, Ya. E. Yudovich. Syktyvkar: Institute of geology Komi SC UB RAS, 2018. 164 p.

The book is devoted to the memory of Syktyvkar Quaternary geologist, diatomologist with a world name, doctor of geological and mineralogical sciences E. I. Loseva. The book includes E. I. Loseva's texts, partly published, but mainly representing her diary handed to the compilers before her death. The book also contains memories about E. I. Loseva, written by her friends and colleagues, and some reviews of her scientific publications. The Appendix contains a complete list of all her publications — both scientific and memorial or popular science.

The book is of great interest for a wide range of readers — both geologists and people far from geology.



УДК [55+551.4+930.26+39] (470.13)

Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе. Доклады 20-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2017. Т. XX. 172 с.

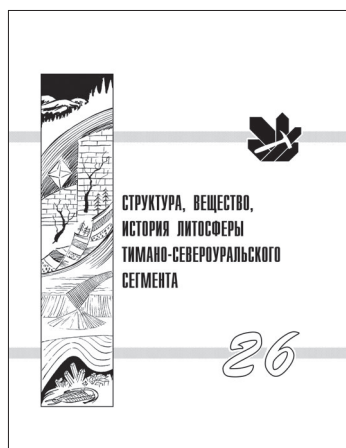
Сборник содержит доклады 20-й научной конференции «Геолого-археологические исследования в Тимано-Североуральском регионе». В нем представлены исторические очерки, результаты экспедиционных исследований прошедшего полевого сезона и статьи по геологии, археологии, археоминералогии и этнографии Тимано-Североуральского региона, других районов Урала, Приуралья и Зауралья, сопредельных территорий.

Сборник представляет интерес для широкого круга специалистов в области региональных и междисциплинарных исследований, студентов и аспирантов.

Geological and archaeological researches in the Timan-Northern Ural region. Reports of the 20th scientific conference. Syktyvkar: Geoprint, 2017. V. XX. 172 p.

The collection contains reports of the 20th scientific conference «Geological and archaeological researches in the Timan-Northern Ural region». It presents historical essays, results of field trips of the last season and articles on geology, archaeology, archaeomineralogy and ethnography of the Timan-Northern Ural region, other regions of the Urals, Ural regions and adjacent territories.

The collection is of interest for a wide range of specialists in regional and interdisciplinary researches, students and postgraduates.



УДК 5±549 (470.1)

Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Материалы 26-й научной конференции. Сыктывкар: Геопринт, 2017. 304 с.

В сборнике представлены материалы 26-й научной конференции «Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента». Обсуждаются вопросы общей геологии, геологии нефти и газа, стратиграфии, палеонтологии, минералогии, петрологии, технологии минерального сырья, геофизики.

Structure, substance, history of lithosphere of the Timan-Northern Ural segment: Proceedings of the 26th scientific conference. Syktyvkar: Geoprint, 2017. 304 p.

The collection presents proceedings of the 26th scientific conference «Structure, substance, history of lithosphere of the Timan-Northern Ural segment». The problems of general geology, geology of oil and gas, stratigraphy, paleontology, mineralogy, petrology, technology of mineral raw, geophysics are discussed.



ПРИКЛАДНАЯ МИНЕРАЛОГИЯ: ИЗ БАРИ В БЕЛГОРОД

APPLIED MINERALOGY: FROM BARI TO BELGOROD

14-й Международный конгресс по прикладной минералогии,
23–27 сентября 2019 г., Белгород, Россия



Комиссия по прикладной минералогии при Международной минералогической ассоциации (ИМА-САМ) приняла в июне 2017 года решение провести 14-й Конгресс ICAM 23–27 сентября 2019 года, в Белгороде, на базе Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова.

Основное направление международного конгресса в Белгороде — традиционное для ICAM, но с учетом мирового тренда — процессы минералообразования как основа для разработок природоподобных технологий и минералы как прототипы перспективных материалов.

Научная программа ICAM-2019 по направлениям:

1. Геометаллургия, технологическая минералогия и процессы переработки минерального сырья.
2. Индустриальные минералы, драгоценные камни, руды и добыча полезных ископаемых.
3. Нефтяные и газовые коллекторы, в том числе газовые гидраты.
4. Аналитические методы, приборы и автоматизация.
5. Перспективные материалы с улучшенными характеристиками, в том числе техническая керамика и стекло.
6. Строительное материаловедение.
7. Биомиметические материалы на минеральной основе, биоминералогия.
8. Окружающая среда и энергетические ресурсы.
9. Культурное наследие, артефакты и их сохранность.

Подробная информация — на сайте конгресса www.geo.komisc.ru/icam2019

Регистрационный взнос предусматривает издание трудов (доклады участников конгресса, издательство Springer), участие во всех мероприятиях конгресса (заседания, выставки), кофе-брейки, обеды, экскурсию на Лебединский ГОК и составляет до 1 декабря 2018 года 300 евро (для российских участников в рублёвом эквиваленте). Для студентов, аспирантов, докторантов и неработающих пенсионеров оргвзнос составит 150 евро при предоставлении документа, подтверждающего указанный статус.

Представление докладов

Участники представляют доклад с оригинальными научными результатами на русском и английском языках (иностранцы — только на английском) в рамках тем научной программы ICAM-2019. Будут рассмотрены только доклады, поданные через систему OCS Springer. Объём доклада для публикации не должен превышать 4 стр. (см. требования к оформлению на сайте Springer).

При оплате регистрационного взноса доклады будут опубликованы издательством Springer отдельным сборником, который войдет в международную библиографическую базу данных Scopus.

The 14th ICAM will be held in 2019, September 23–27 in Russia, Belgorod City, on the basis of Belgorod State Technological University named after V. G. Shukhov.

The main direction of the International Congress in Belgorod is traditional for ICAM, but taking into account the world trend, — mineral formation for the development of nature-like technologies and minerals as prototypes of promising materials.

Topics of ICAM-2019:

1. Geometallurgy and process mineralogy.
2. Industrial minerals including gems, ore minerals, and mineral exploration.
3. Oil and gas reservoirs, including gas hydrates.
4. Analytical techniques, instrumentation and automation.
5. Advanced materials including high-performance technical ceramics and glasses.
6. Construction materials including cement/SCMs, concrete, bricks, tiles.
7. Bio-mimetic mineral materials and biomineralogy.
8. Environment and energy mineralogy.
9. Cultural heritage, stone artifacts and preservation.

The complete information — on the website of the Congress www.geo.komisc.ru/icam2019

The Congress registration fee includes Congress Proceedings (to be published by Springer Science), access to all Congress events (meetings, exhibitions), coffee and tea breaks, lunches, technical visit to the Lebedinsky Processing Plant and until December 1, 2018, it is 300 EUR. A reduced registration fee of 150 EUR applies for students, postgraduates and doctoral students.

The Organizing Committee provides a discussion club for young scientists.

Paper Submission

Participants submit an original paper in Russian and English (foreign participants only in English) according to the themes of the scientific program of ICAM-2019. Only reports submitted through OCS Springer will be considered. The volume of the report for publication should not exceed 4 pages (see the requirements for registration on Springer website).

DEADLINES

- The official website of the Congress starts: May 2018.
- The beginning of paper submission: June 1, 2018.
- Deadline for paper submission: November 1, 2018.
- Review of reports: before December 1, 2018.

CONTACT INFORMATION

With any questions please contact the Organizational Committee: icam2019@gmail.com or ICAM 2019 Congress secretary Mrs. Prof. Dr. Olga Kotova kotova@geo.komisc.ru

КВАРЦ РАСКРЫВАЕТ СВОИ ТАЙНЫ

(Памяти В. В. Буканова)

QUARTZ UNLOCKS ITS SECRETS

(In memory of V. V. Bukanov)

Значительный период моей работы в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН связан с исследованиями хрусталеносных месторождений Приполярного Урала. В 1963 г. лабораторию минералогии и шлихового анализа нашего института возглавил Владимир Валентинович Буканов, представитель прославленной минералогической школы профессора Ленинградского горного института им. Г. В. Плеханова Дмитрия Павловича Григорьева. В. В. Буканов уже имел практический опыт работы на хрусталеносных месторождениях Приполярного Урала, Забайкалья, в частности, его кандидатская диссертация была посвящена минералогии месторождений Неройской хрусталеносной полосы на Приполярном Урале. Наша лаборатория из аналитической преобразовалась в тематическую по изучению месторождений кварца в регионе и приступила к исследованиям по теме «Минералогия и генезис месторождений горного хрусталя на Приполярном Урале».

В. В. Буканов привёз с собой большую коллекцию кристаллов кварца, так что ещё до первого экспедиционного сезона в наших руках оказался необходимый материал для постановки исследований и разработки методических подходов. Лаборатория начала оснащаться необходимым оборудованием — спектрофотометрами для видимой, УФ- и ИК-областей спектра СФ-4, ИКС-14, UR-20, SPECORD UV-VIS. В соответствии с принципами григорьевского онтогенетического подхода к изучению минералов кристаллы кварца подвергались самому детальному, «анатомическому» исследованию. Оно проводилось на препарированных образцах — на полированных плоскопараллельных пластинках, вырезанных из кристалла в определённых кристаллографических направлениях. Такой углублённый подход к изучению внутреннего строения кристаллов, их габитусных форм, морфологии позволял восстановить во всех подробностях историю формирования кристаллов от ранних к поздним стадиям хрусталеобразования, особенности их роста в различных условиях минералообразующей среды, установить генетические типы кварца. Забегая несколько вперёд, сразу отмечу, что В. Буканов главным результатом наших исследований определил «вывод об образовании на Приполярном Урале двух промышленных типов многополостных хрусталеносных жил»: 1) с пьезооптическим кварцем и 2) более чистым горным хрусталём и жильным кварцем, пригодным для плавки оптического стекла.

Мы работали в тесном контакте с геологами-производственниками. Решались не только чисто научные, но и практические задачи. Уже в 1963 г. был заключён договор с экспедицией № 105 Мингео СССР, проводившей поисково-разведочные и добычные работы, на период 1964—1968 гг. Мы участвовали в совместных научных конференциях, рабочих совещаниях, в обсуждении и защите отчётов. В соответствии с договором систематически передавались заказчику докладные записки и заключения о качестве кристаллосырья. Частыми

гостями в нашем институте были не только геологи-кварцевики (А. Кораго, Ю. Самарин, С. Букатич), но и ведущие научные специалисты — доктора наук: профессор А. Е. Карякин, В. А. Смирнова, В. С. Балицкий. Исклчительно большую помощь оказывал профессор Д. П. Григорьев, практически ежегодно приезжая для проведения консультаций и совместных исследований. Здесь работали его единомышленники, его последователи.

В тематических и экспедиционных работах участвовали минералоги нашего института — В. Буканов, Е. Мельникова, Р. Тимонина, Т. Поганкина. Как физик, я занималась спектроскопией, изучением оптических характеристик кристаллов, люминесцентными методами, Г. Юшкова — спектральным анализом. В. В. Буканов, обладая широкой научной эрудицией, умело направлял наши исследования в нужное русло. Его отличали высокая организованность, чёткость в поста-



Слева направо: И. В. Швецова, В. В. Буканов, Г. А. Маркова, Д. П. Григорьев, Н. П. Юшкин (вторая половина 70-х гг.)

From L to R: I. V. Shvetsova, V. V. Bukanov, G. A. Markova, D. P. Grigoryev, N. P. Yushkin (the latter half of 1970s)

новке задач, корректность во взаимоотношениях с коллегами. По работам на месторождениях Сураизского, Верхнекожимского районов в 1964—1968 гг. были подготовлены 4 научных отчёта, а в 1971 г. сдан окончательный научный отчёт. Результаты этих исследований были учтены при подсчёте запасов кварцевого сырья на основных объектах Приполярноуральской провинции с утверждением в ГКЗ СССР.

Важной задачей исследований являлась оценка качества кристаллосырья, его дифференциация по возможности использования: или как пьезооптический материал, или для плавки специального, особо чистого оптического стекла. Большое влияние на оптические характеристики кварца имеют примеси, особенно структурные, которые невозможно удалять даже при химической очистке сырья в процессе подготовки шихты перед плавкой. Весьма информативным методом, позволяющим установить наличие таких структурных примесей, оказалась ИК-спектроскопия. По интен-



сивности соответствующих полос поглощения в спектрах у кристаллов с цитриновой окраской были выявлены более высокие концентрации примесей алюминия и лития по сравнению с дымчатыми (что подтверждалось данными спектрального анализа). Также было установлено, что даже бесцветные кристаллы некоторых месторождений значительно загрязнены примесями. Как оказалось, такие кристаллы имели потенциальную скрытую цитриновую окраску, что удалось показать при их радиационном облучении. Этот метод мы с В. В. Букановым начали применять с 1966 г. на базе филиала Института физической химии им. Карпова (г. Обнинск). Эксперименты на ядерном реакторе проводили в течение нескольких лет. В результате были получены новые данные о природе центров дымчатой и цитриновой окраски кварца [1–3].

Методы радиационной физики позволили выявить «скрытые картины» в кристаллах, открыть чудесный мир, можно сказать душу кристаллов. Кварц посвятил нас в свои тайны: зональное и секториальное строение, характер и тонкости распределения окраски, чёткую привязку свойств к условиям формирования тех или иных месторождений кварца, связь особенностей кристаллов с геохимией месторождений, с примесным составом питающих гидротермальных растворов, возможность синхронизации процессов кристаллизации на территориально удалённых участках (по фотометрическим записям зональности) [4]. На основании исследований природы центров дымчатой и цитриновой окраски кварца удалось сказать новое слово о концентрационном эффекте, с которым связаны те или иные центры окраски, порог насыщения интенсивности радиационной окраски в кристаллах различного генетического типа, а также радиационная устойчивость кварца. Эти данные были опубликованы в центральных академических изданиях, в серии «Научные доклады» [5], а также обобщены в научном отчёте Г. А. Марковой «Оценка плавочного сырья объектов западного склона Приполярного Урала методом гамма-облучения» (1974 г.).

В результате детальных исследований было показано, что даже в пределах одного месторождения, и более того — в объёме одного кристалла, имеются резкие различия как по оптическим характеристикам, так и содержанию элементов-примесей, что обусловлено изменчивостью параметров кристаллизации, стадийным характером процесса хрусталеобразования. Ярким примером этого может служить месторождение Хасаварка (Верхнекожимский район). Бесцветные и дымчатые кристаллы ранней генерации отличаются высокой химической чистотой, хорошими оптическими показателями и относятся к радиационно-устойчивой группе марки КВ-Р. Кристаллы с дымчато-цитриновой окраской (вторая генерация) имеют на порядок более высокое содержание алюминия и лития, что ограничивает возможность их использования для плавки высших сортов кварцевого стекла. На месторождении прослеживается и аметистовая минерализация (поздняя, низкотемпературная генерация).

Для наглядности приведём данные количественного спектрального анализа кристалла кварца с полихромной зональной окраской. Для светло-дымчатого участка из <r,z> содержание Al_2O_3 составляет 0,0057 %, а Li_2O — 0,00071 %; для участка с цитриновой окраской также из <r,z> — соответственно 0,0342 и 0,0107 %, что

заметно выше. Проба со светло-дымчатой окраской из пирамиды нарастания граней призмы <m> имеет минимальное содержание примесей: Al_2O_3 — 0,00513 %, Li_2O — 0,00038 %¹. Наблюдаемая анизотропия в характере распределения примесей по пирамидам нарастания различных граней в кристаллах позволила предложить методику наиболее целесообразной сортировки и обогащения кристаллосырья, а именно — максимального сохранения материала, примыкающего к граням гексагональной призмы, для получения любых видов кварцевого стекла (марки КУ, КВ, КИ, КВ-Р).



В. В. Буканов на месторождении Хасаварка (фото В. Г. Жекова, 1972 г.)

V. V. Bukanov at the Khasavarka deposit (photo by V. G. Zhekov, 1972)

Состав и содержание элементов-примесей в кристаллах является важным индикатором условий кристаллизации, который прослеживается не только на кварце, но и на сопутствующих минералах (шеелит, кальцит и др.). Так, в образцах шеелита (месторождение Пелингичей-3) по спектрам катодолюминесценции при температуре жидкого азота было установлено присутствие редкоземельных элементов — самария, европия, празеодима, диспрозия, тербия [6]. Это связано со спецификой формирования месторождения, термобарическими условиями позднехрусталеной стадии, способствовавшими активному захвату примесей (что отмечается также и для кварца).

В 1973 г. В. В. Буканов покинул Сыктывкар. Но наши деловые контакты не прервались. Я подключилась к исследованиям оптического флюорита Уральско-Новоземельской провинции, которыми руководил д. г.-м. н.

¹Данные анализа пересчитаны на окислы, как это диктуется техническими условиями. Согласно требованиям ГОСТ 15130-69 «Стекло кварцевое оптическое», содержание Al_2O_3 в кристаллосырье для спецплавки не должно превышать 0,007 %.



Н. П. Юшкин. В. Буканов на посту главного геолога СПО «Северкварцсамоцветы» курировал геолого-разведочные работы по кварцу, а потом и по флюориту. Наша общая работа совместно с другими институтами и ведомствами по открытию, исследованию и освоению уникальных разновидностей флюорита, производству на их основе новых видов оптических изделий гражданского и оборонного назначения в 1982 г. была отмечена премией Совета Министров СССР.

Параллельно с работами по изучению месторождений горного хрусталя всё настойчивее стала пробиваться идея использования жильного кварца как сырья для кварцевой промышленности. Исследования Г. Н. Вертушкова с сотрудниками показали, что одна из разновидностей жильного кварца — гранулированный кварц — может служить заменителем горного хрусталя для получения прозрачного кварцевого стекла. Эти работы послужили толчком для широкого изучения разных типов кварца в различных регионах страны. Проведённые работы позволили решить важную в практическом отношении задачу обеспечения отечественной стекольной промышленности высококачественным кварцевым сырьём.

В 1977 г. между нашим Институтом геологии и комплексной разведочно-добычной экспедицией КРДЭ № 121 (преобразованной впоследствии в СПО «Северкварцсамоцветы») был заключён хозяйственный договор на проведение исследований жильного кварца Приполярного Урала. В процессе работы эти исследования были расширены и распространены на Кольско-Карельский регион. На основе изучения оптических и ИК-спектров был проведён сравнительный анализ жильного кварца, дана оценка его качества. Выяснилось, что жильный кварц, структурно более чистый по сравнению с монокристаллическим кварцем, обеспечивает более высокое качество наплавленного кварцевого стекла. Были выявлены участки с радиационно-устойчивым сырьём, необходимым для специальных целей. За 1977—1981 гг. передано 4 текущих отчёта о выполненных исследованиях, разработаны экспрессные методы бестехнологической оценки качества кристаллосырья, отмеченные в 1975 и 1981 гг. медалями ВДНХ СССР — серебряной и бронзовой. Достоинство использованной методики заключалось в том, что уже на стадии разведки месторождений, до производства заводских технологических испытаний, на малых пробах определялась возможность промышленного использования кварцевого сырья. В результате внедрения этой методики получен экономический эффект в 250 тыс. руб. (Г. А. Маркова, П. П. Юханов. Экспрессные методы бестехнологической оценки качества жильного кварца для плавки специальных стёкол: Проспект на ВДНХ СССР / Коми филиал АН СССР, 1981).

Мне повезло работать в эти годы в контакте с к. г.-м. н. А. А. Кораго, серьёзным, талантливым сотрудником Экспедиции № 121. Следует специально подчеркнуть тот вклад, который он внёс в понимание термина «жильный кварц», расширив его: «Жильный кварц — это совокупность кварцевых индивидов и агрегатов, слагающих кварцевое тело». Незабываемая страница в наших совместных работах с А. Кораго была посвящена исследованию люминесценции пресновод-

ного жемчуга из водоёмов Северо-Запада России (опубликованы в «Записках ВМО»).

Лично для меня период работы по хрусталено-вой тематике был чрезвычайно интересным и плодотворным. Были озарения, открытия. А кварц благодаря природной красоте, совершенству своих форм навсегда остался в памяти как вершина природного творения.

Литература

1. Буканов В. В., Маркова Г. А. К вопросу о дымчатой и цитриновой окраске природного кварца // Доклады АН СССР. 1969. Т. 187. № 3. С. 645—647.
2. Буканов В. В., Маркова Г. А. О дымчатой и цитриновой окраске природного оптического кварца // Радиационная физика неметаллических кристаллов: Тр. совещания по радиационной физике неметаллических кристаллов. Минск: Наука и техника, 1970. С. 220—226.
3. Буканов В. В., Маркова Г. А., Крейскоп В. Н., Цинобер Л. И., Юшкова Г. А. Особенности инфракрасных спектров пропускания кристаллов природного кварца с различным содержанием лития // Минералогич. сб. Львовского гос. университета им. Ив. Франко. 1969. № 23. Вып. 3. С. 261—269.
4. Григорьев Д. П., Буканов В. В., Маркова Г. А. Синхронизация процессов кристаллизации по зональности кристаллов // Доклады АН СССР. 1969. Т. 185. № 5. С. 1129—1132.
5. Маркова Г. А. Новые методы оценки плавочного сырья хрусталеносных месторождений. Сыктывкар: Коми филиал АН СССР, 1975. 50 с. (Научные рекомендации — народному хозяйству.)
6. Маркова Г. А., Щанов М. Ф. Определение некоторых редкоземельных элементов в природном шеелите люминесцентным методом // Тр. Института геологии Коми филиала АН СССР. 1968. Вып. 9. С. 163—169.

References

1. Bukanov V. V., Markova G. A. *K voprosu o dymchatoi i tsitri-novoi okraske prirodnogo kvartsa* (Smoky and citrine color of natural quartz). Doklady Earth Sciences, 1969, V. 187, No. 3, pp. 645—647.
2. Bukanov V. V., Markova G. A. *O dymchatoi i tsitrinovoi okraske prirodnogo opticheskogo kvartsa* (Smoky and citrine color of natural optical quartz). *Radiatsionnaya fizika nemetallicheskih kristallov: Tr. soveschaniya po radiatsionnoi fizike nemetallicheskih kristallov* (Radiation physics of non-metallic crystals: Proceedings of conference). Minsk: Nauka i tehnika, 1970, pp. 220 — 226.
3. Bukanov V. V., Markova G. A., Kreiskop V. N., Tsinober L. I., Yushkova G. A. *Osobennosti infrakrasnykh spektrov propuskaniya kristallov prirodnogo kvartsa s razlichnym soderzhaniem litiya* (Features of IR transition spectra of natural quartz crystals with different content of lithium). Mineralogical collection of articles of Lvov university, 1969, No. 23, 3, pp. 261 — 269.
4. Grigorev D. P., Bukanov V. V., Markova G. A. *Sinhronizatsiya protsessov kristallizatsii po zonalnosti kristallov* (Synchronisation of processes of crystallization by crystal zoning). Doklady Earth Sciences, 1969, V. 185, No. 5, pp. 1129 — 1132.
5. Markova G. A. *Novye metody otsenki plavochного syr'ya hrustalenosnykh mestorozhdenii* (New methods of estimation of crystal raw). Syktyvkar: Komi branch of AS USSR, 1975, 50 p.
6. Markova G. A., Schanov M. F. *Opredelenie nekotorykh redkozemel'nykh elementov v prirodnom sheelite lyuminestsentnym metodom* (Determination of some rare earth elements in natural sheelite by luminescent method). Proceedings of Institute of geology of Kmi branch AS USSR, 1968, 9, pp. 163—169.

Г. А. Маркова — ветеран Института геологии



ТИМАНО-ПЕЧОРСКАЯ НЕФТЕГАЗОНОСНАЯ ПРОВИНЦИЯ. СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ

TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE. STRATEGY OF THE DEVELOPMENT

April 5, 2018, experts held a meeting on the basis of the Institute of Subsoil Use together with the Institute of Geology named after Academician N. P. Yushkin, the Ministry of Investments, Industry and Transport of Komi Republic and the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of Komi Republic. They discuss the results of oil and gas exploration in the Timan-Pechora oil and gas province in 2017 and directions of further work.

5 апреля 2018 года в Институте геологии имени академика Н. П. Юшкина состоялось совещание, на котором рассматривались результаты геолого-разведочных работ на нефть и газ в Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (ТП НГП) в 2017 году и обсуждались направления дальнейших работ.



Совещание организовано Севзапнедра совместно с Институтом геологии имени академика Н. П. Юшкина, Министерством инвестиций, промышленности и транспорта РК и Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды РК. В работе совещания принимали участие представители различных научно-исследовательских и производственных организаций: ИГ Коми НЦ УрО РАН, ВНИГРИ, ВНИГНИ, ООО «ТП НИЦ», ИПНГ РАН, Севзапнедра, Коминедра, Минпром РК, Минприроды РК, Департамента природных ресурсов НАО, Управления Росприроднадзора по РК, ГБУ РК «ТФИ РК», УГТУ, ООО «Лукойл-Коми», НК «Нобель Ойл», ООО «НК «Роснефть»-НТЦ», ООО «РН-Северная Нефть», ООО «Восток НАО», ЗАРУБЕЖНЕФТЬ-добыча Харьяга, ООО «НК Союз», ОАО «Севергеофизика», ООО «Геотехнология», ООО «Газпром добыча Краснодар», ООО «Енисей», ООО «Северо-Уральская нефтегазовая компания», ООО «ТПГК», ПАО «Геотек Сейсморазведка»,

ООО «Помор ГЕРС», ООО «Шелл НефтеГаз Девелопмент (П)», ООО «НК Заполярье».

В качестве основных результатов геолого-разведочных работ отмечено, что в ТП НГП в 2017 г. открыто 4 новых месторождения: 2 нефтяных (Восточно-Адзьюинское, Восточно-Перевозное) и 2 газовых (Северо-Кожимское, Левогрубеюское). Прирост запасов углеводородов получен и на известных месторождениях. На Интинско-Кожимской группе месторождений в поднадвиговом комплексе открыты 2 нефтяные залежи и 1 газовая залежь в аллохтоне.

По итогам совещания были определены приоритетные направления проведения дальнейших геолого-разведочных работ на углеводородное сырье на территориях Верхнепечорской, Большесынинской, Косью-Роговской и Коротаихинской впадин, складчато-надвиговой зоны западного склона Урала, Ижма-Печорской впадины и Малоземельско-Колгуевской моноклинали. В южной части ТП НГП (Ухта-Ижемский вал, Омра-Сойвинская, Джебольская и Велью-Тэбукская ступени) предлагается провести как переинтерпретацию накопленного геолого-геофизического материала, так и выполнение новых сейсморазведочных работ МОГТ-2D с целью создания уточненной модели строения и повышения инвестиционной привлекательности этих территорий. Одним из важных направлений исследований обозначено изучение доманиковых «сланценосных» отложений как источника нетрадиционных скоплений углеводородов. В этом направлении ведутся исследования во ВНИГРИ, ИГ Коми НЦ УрО РАН, МГУ им. М. В. Ломоносова, ВНИГНИ. Предложено создать в Республике Коми постоянно действующую информационную площадку для обмена опытом и полученными результатами по изучению доманиковых отложений.

Было отмечено, что низкий объем региональных сейсморазведочных работ за счет средств федерального бюджета не позволяет определить достоверные перспективы нефтегазоносности малоизученных периферийных областей ТП НГП и, как следствие, сдерживает вовлечение этих территорий в лицензирование. Активное участие государства и недропользователей будет способствовать вовлечению в геолого-разведочный процесс новых районов и открытию новых месторождений углеводородов, что позволит сохранить существующий уровень добычи углеводородного сырья в ТП НГП.

К. г.-м. н. И. Котик

Хроника

25 апреля — 50-летний юбилей инженера-химика Елены Витальевны Сусол.

27 апреля — 50-летний юбилей инженера по научно-технической информации Татьяны Вениаминовны Хазовой.

11 апреля 1958 года — постановление об организации Института геологии в Коми филиале АН СССР на базе Отдела геологии.

Chronicle

April 25 — the 50th Anniversary of Elena Susol, Chemical Engineer.

April 27 — the 50th Anniversary of Tatyana Khazova, Engineer for scientific and technical information.

April 11, 1958 — Resolution on the organization of the Institute of geology in the Komi branch of the USSR Academy of Sciences on the basis of the Department of geology.



Тел.: (8212) 24-51-60
Эл. почта: vestnik@geo.komisc.ru