

УДК 55:551.76:552.5

ЛИТОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПОДНЯТИЯ АЛЬФА-МЕНДЕЛЕЕВА

© 2024 г. М. И. Тучкова^а*, С. Г. Сколотнев^а,
С. Д. Соколов^а, С. А. Сергеев^б

^а Геологический институт РАН (ГИН РАН),

Пыжевский пер., 7, стр. 1, Москва, 119017 Россия

^б Всероссийский научно-исследовательский геологический институт
им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ),

Средний просп., В.О., 74, Санкт-Петербург, 199106 Россия

* e-mail: tuchkova@ginras.ru

Поступила в редакцию 11.10.2023 г.

После доработки 15.11.2023 г.

Принята к публикации 28.12.2023 г.

В статье представлены новые данные сравнительного анализа осадочных пород с поднятия Менделеева (гора Шамшура) предположительно триасового возраста с песчаниками аптского возраста, полученных при подводном опробовании поднятия Альфа-Менделеева в ходе экспедиций 2012, 2014 и 2016 гг. Геохимические характеристики пород очень близки, и, как правило, данные образцов различного возраста формируют общие поля на различных диаграммах. Петрографическим методом установлено, что в песчаниках предположительно поздне триасового возраста, как и в песчаниках Чукотки и о. Врангеля, преобладают обломки сланцев и кислых эффузивов. В образцах аптского возраста доминируют обломки пород основного состава. Также резкие различия наблюдаются в характере возрастных спектров популяций обломочного циркона, свидетельствующие о принципиально различных питающих провинциях для песчаников триаса и мелового возраста поднятия Альфа-Менделеева. Образцы с подводной горы Шамшура характеризуются популяциями, аналогичными со спектрами из триасовых пород Чукотки и о. Врангеля, что указывает на наличие триасовых пород в этой части поднятия Менделеева.

Ключевые слова: поднятие Альфа-Менделеева, подводное опробование, осадочные породы, песчаники, петрография, геохимия

DOI: 10.31857/S0024497X24030063, **EDN:** хвркср

Подводное опробование поднятия Альфа-Менделеева проводилось в 2012, 2014 и 2016 гг., при помощи манипуляторов научно-исследовательской подводной лодки (НИПЛ) и отбора образцов с лебедки с использованием грейфера, драги и буровой установки [Морозов и др., 2013; Сколотнев и др., 2017]. В коллекции образцов, полученных в этих экспедициях, установлено наличие осадочных и магматических пород. Осадочные породы представлены доломитами, известняками, кварцитопесчаниками и песчаниками. В некоторых образцах карбонатных пород удалось обнаружить фаунистические остатки, позволившие определить возраст вмещающих пород. По данным разных авторов осадочные породы формировались в стратиграфическом интервале от верхнего силура до перми [Kossovaya et al., 2018] или от верхнего ордовика до нижнего мела с несколькими перерывами

в осадконакоплении [Skolotnev et al., 2019; Сколотнев и др., 2022].

Из некоторых образцов обломочных пород коллекции 2012 г. были выделены детритовые цирконы и определен их изотопный U/Pb-возраст на масс-спектрометре SHRIMP в Изотопно-аналитическом центре ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург). При этом в мелкозернистых песчаниках (образцы USO-4, SS-63, SS-65, данные ВСЕГЕИ), отобранных с горы Шамшура (рис. 1), выявлена многочисленная наиболее молодая популяция цирконов возрастного интервала 206–246 млн лет, что по аналогии с региональными данными позволило относить их поздне триасовому стратиграфическому интервалу. Детальный петрографический и геохимический анализ этих образцов показал их большое сходство

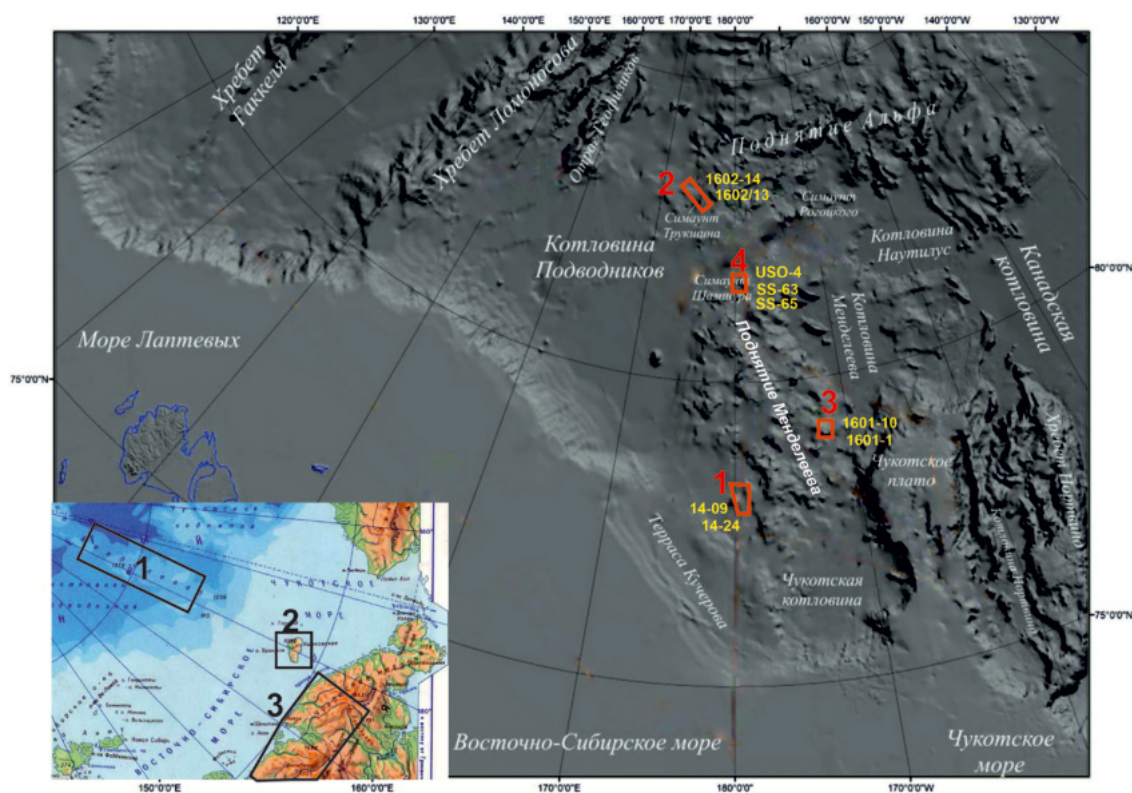


Рис. 1. Положение проанализированных образцов на географической карте Централных Арктических поднятий, использована обзорная карта IBCAO (<http://www.ngdc.noaa.gov/mgg/bathymetry/arctic/>).

Положение полигонов детальных работ на поднятии Альфа-Менделеева показано красными четырехугольниками, использован рис. 1 из работы [Сколотнев и др., 2022]. Номера образцов показаны желтым цветом и соответствует положению в разрезе [Сколотнев и др., 2022].

На врезке: фрагмент географической карты арктического региона России с выделенными участками, образцы из которых были использованы в настоящей статье: 1 — поднятие Альфа-Менделеева, 2 — остров Врангеля, 3 — Чукотка.

с одновозрастными песчаниками о. Врангеля и Чукотки [Tuchkova et al., 2020]. Более того, удалось проследить закономерное обмеление позднетриасового осадочного бассейна с юга на север, и предположить близость континентальной суши к северо-востоку от поднятия Менделеева.

Позднее в экспедициях 2014 и 2016 гг. С.Г. Сколотневым на трех различных полигонах поднятия Альфа-Менделеева с помощью НИПЛ были отобраны образцы пород палеозойского и мелового возраста [Сколотнев и др., 2022]. Меловые песчаники в течение 2014 г. и 2016 г. собраны в юго-западной (образцы 14-09 и 14-24, полигон 1) и центральной (образцы 1601-1, 1601-10, полигон 3) частях поднятия Менделеева, а также с горы Трукшина (образец 1602-14, полигон 2) из приплюсистой части хребта Альфа [Сколотнев и др., 2017, 2022]. В образце 1602-14 присутствуют палиноморфы баррем-аптского возраста [Skolotnev et al., 2019]. Для образцов 14-24 и 1602-14 меловой возраст определен на основании U–Pb-датирования

в Изотопно-аналитическом центре ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург), так как в них присутствует молодая популяция цирконов в возрастном интервале 100–126 млн лет. Возраст молодой популяции цирконов и определенный по палиноморфам совпадает, для остальных 4 образцов (14-09, 1601-1, 1601-10, 1602-13) принадлежность к меловому стратиграфическому интервалу, установлено на том основании, что они пространственно и петрографически близки к меловым песчаникам.

В связи с тем, что петрографические характеристики меловых песчаников и песчаных известняков весьма схожи с песчаниками горы Шамшур, возникло сомнение в позднетриасовом возрасте образцов (USO-4, SS-63, SS-65), датированных ранее [Tuchkova et al., 2020]. Более того, аптские песчаники обнажаются незначительно выше палеозойских отложений (через 5–20 м), практически не оставляя пространства для расположения пород промежуточного возраста. В связи с этим при дополнительных исследованиях, направленных

на детализацию состава и возраста мезозойских песчаников поднятия Альфа-Менделеева, результаты которых представлены в настоящей статье, также решалась задача подтвердить или опровергнуть триасовый возраст образцов с горы Шамшура.

ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Все проанализированные песчаники мелкозернистые, с карбонатным цементом, в минеральном составе доминируют кварцевые зерна, часть которых остроугольные (рис. 2).

Относимые к триасу мелкозернистые песчаники горы Шамшура кварц-полевошпатового состава (обр. USO-4, SS-63, SS-65, табл. 1), имеют карбонатный базальный цемент, участками кальцитового или доломитового составов. В пороодообразующих компонентах преобладает кварц (41–56%), полевой шпат (11–28%) и обломки пород (31–45%): кристаллических сланцев, гранитов и эффузивов кислого и основного состава, содержание слюд от 1 до 4%. В обломках основных эффузивов вулканическое стекло хлоритизировано. Среди зерен обломочного кварца встречается от 15 до 31% с микротрещинами, выполненными смесью глинистых минералов, полевые шпаты могут быть замещены каолинитом по периферии и в центральной части зерна [Tuchkova et al., 2020].

Меловые песчаники характеризуются кварцевым или кварц-полевошпатовым составом (см. табл. 1), среди них выделены: известковистые песчаники (обр. 14-24, 1602-13, 1602-14); глинистые песчаники (1601-1 и 1601-10); и промежуточный тип известково-глинистые песчаники (обр. 14-09) [Сколотнев и др., 2022]. В шлифах отмечен базальный карбонатный цемент, количество которого в обр. 14-24 и 1602-14, составляет 20–40% от площади шлифа. В образцах 1601-10 и 14-09 количество цемента существенно меньше и не превышает 15–20% от площади шлифа. В обр. 1602-13 в отдельных участках шлифа количество карбоната доминирует и может составлять около 90%, хотя в целом в образце соотношение терригенной и карбонатной составляющей примерно одинаково [Сколотнев и др., 2022]. В шлифах наблюдается микрослоистость, иногда градиционная (обр. 1601-10), с линзами и слоями алевритовых глин. Фрагменты алевритовых глин представлены неправильной формы агрегатами смектит-хлоритового состава, которые как бы “затекают” в промежутки между зернами, создавая эффект цемента. В этих фрагментах также содержится некоторое

количество обломочных зерен, размер которых не превышает 0.05 мм.

В составе песчаников доминирует кварц, часто остроугольный (см. рис. 2а, 2б), с размером зерен 0.05–0.15 мм, редко встречаются более крупные (0.2–0.22 мм) полуокатанные зерна, с реликтами регенерационной каймы. Кварцевые зерна с микротрещинами, характерные для песчаников горы Шамшура (USO-4 и SS-65), в образцах мелового возраста практически не встречаются, хотя несколько подобных зерен отмечены в обр. 1601-10. Помимо кварца, в песчаниках отмечаются плагиоклазы среднего состава, микроклин и сростки микроклин-плагиоклаз. Также установлены дегидратированный биотит (обр. 1601-10, 1602-14), или биотит и мусковит (обр. 14-24), редко встречаются зерна пироксена (обр. 1601-10), сростки полевой шпат–пироксен, обломки вулканического стекла, замещенного хлоритом, и обломки с микролитовой структурой (обр. 1602-14). В обр. 14-09 отмечено высокое содержание обломков пород, основная масса которых замещена хлоритом, что затрудняет их диагностику. Однако реликты первичной структуры позволяет отнести их к разряду вулканитов (см. табл. 1), хотя определить их типовую принадлежность затруднительно из-за небольшого размера обломков. В шлифах отмечено высокое содержание минералов тяжелой фракции и изотропных агрегатов гидроокислов железа разнообразной формы, вероятно, замещающих слабо литифицированные фрагменты глин (размером около 0.1 мм), образовавшихся вместе с осадком, о чем свидетельствует их структурное положение в породе. Также наблюдаются достаточно крупные агрегаты (размером 0.3–1 мм) органического вещества округлой или неправильной формы, хаотично распределенные в породе.

Образец 1602-13 (полигон 2) представлен известковистым песчаником со следами биотурбации (см. рис. 2г) и терригенной примесью в количестве 10–15%, размер зерен составляет 0.03–0.05 мм. В шлифе наблюдается тонкая микрослоистость, с чередованием более темных и более светлых полос. К светлым полосам приурочены угловатые обломки кварца, таблитчатые плагиоклазы среднего состава, мусковитоподобные слюды и агрегаты гидроокислов железа. Для темных полос характерно повышенное содержание органического вещества разного размера и формы и комковатые мелкие агрегаты карбоната размером 0.01–0.03 мм.

На классификационной диаграмме состава пороодообразующих компонентов Ф. Петтиджона [Pettijohn, 1975] (рис. 3а) проанализированные образцы располагаются в полях субаркозовых

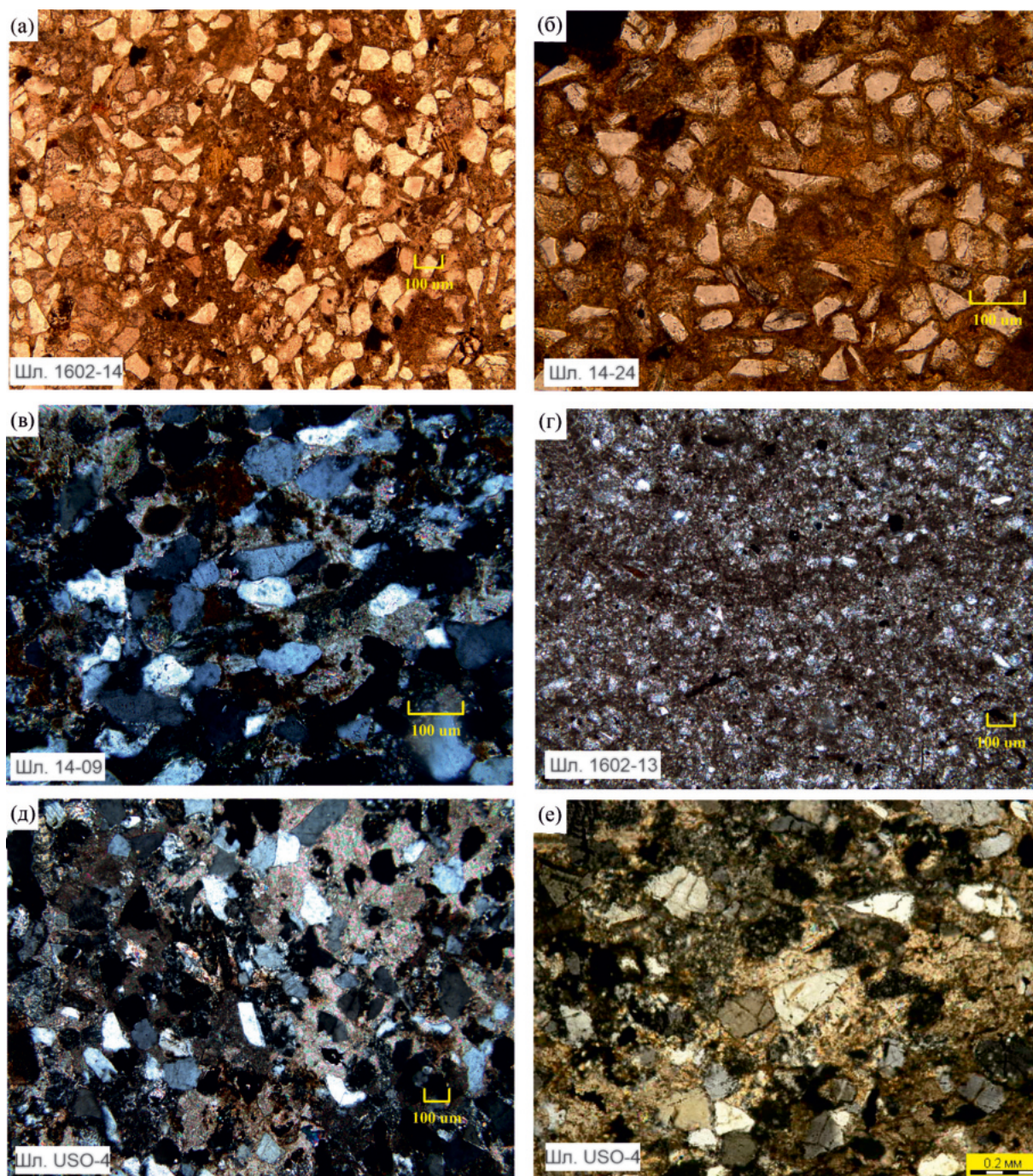


Рис. 2. Микрофотографии песчаников поднятия Альфа-Менделеева.

а — кварц-полевошпатовый хорошо сортированный песчаник с базальным цементом смектит-хлоритового состава, замещенным кальцитом. Много угловатых кварцевых зерен с острыми краями, обр. 1602-14, без анализатора; б — мелкозернистый кварц-полевошпатовый алевропесчаник, сцементированный смектит-хлоритовой массой, замещенной кальцитом. Кварцевые зерна преимущественно остроугольные, обр. 14-24, без анализатора; в — мелкозернистый кварц-полевошпатовый песчаник, сцементированный агрегатами гидроокислов железа и железистым карбонатом, кварцевые зерна преимущественно округлые и остроугольные со сглаженными краями, корродированные железистым карбонатом, обр. 14-09, с анализатором; г — известняк микритовый с терригенной примесью в количестве 10–15%, наблюдается микрослоистость и следы биотурбаций, обр. 1602-13, без анализатора; д — кварц-полевошпатовый алевропесчаник с базальным кальцитовым и доломитовым цементом, участками корродирующим зерна. Кварцевые зерна округлые, редко угловатые корродированные, редко встречаются зерна кварца с микротрещинами обр. USO-4; е — кварц-полевошпатовый алевропесчаник с остроугольными кварцевыми зернами с микротрещинами, обр. USO-4.

Таблица 1. Минеральный состав песчаников поднятия Альфа-Менделеева

Породообразующие компоненты	Номера образцов				
	USO-4	SS-65	1602-14	1601-10	14-09
Кварц	56 (55.8%)	52 (41.3%)	148 (53.6%)	186 (79.8%)	92 (39.5%)
Полевые шпаты	14 (10.9%)	35 (27.8%)	68 (24.6%)	22 (9.44%)	11 (4.7%)
Сланцы слюдистые и хлоритовые	20	6	2	—	21
Обломки с хлоритом в массе	—	—	—	—	0
Эффузивы кислые	11	2	5		10
Эффузивы основные	8		29	2	58
Гранитоиды	11	20	15	1	24
Кремни	3	—	2	—	3
Слюда	5 (3.9%)	1 (0.8%)	7 (2.5%)	5 (2.14%)	12 (5%)
Акцессорные минералы	3	—	4	—	—
Фрагменты алевро-аргиллита синседиментационные	—	10	—	17	2
Всего обломков пород	58 (45.3%)	39 (30.9%)	60 (21.7%)	25 (10.7%)	130 (55.8%)
Сумма подсчитанных зерен	131	126	280	233	233

песчаников (обр. 1601-10), аркозовых (обр. 1602-14) и лититовых аренитов (обр. 14-09, USO-4 и SS-65).

На диаграмме, в вершинах которой обозначены обломки эффузивов, метаморфических пород и гранитоидов, проанализированные образцы формируют разные группы (см. рис. 3б): одна с минимальным содержанием обломков вулканитов, другая характеризуется их высоким содержанием. К первой группе относятся

образцы триасовых пород Чукотки и о. Врангеля. К этой же группе относится и образец USO-4, при этом особняком расположен обр. SS-65, который характеризуется высоким содержанием обломков гранитоидов. Образцы второй группы, с высоким содержанием обломков вулканитов, сформировали отдельный кластер песчаников мелового возраста поднятия Альфа-Менделеева.

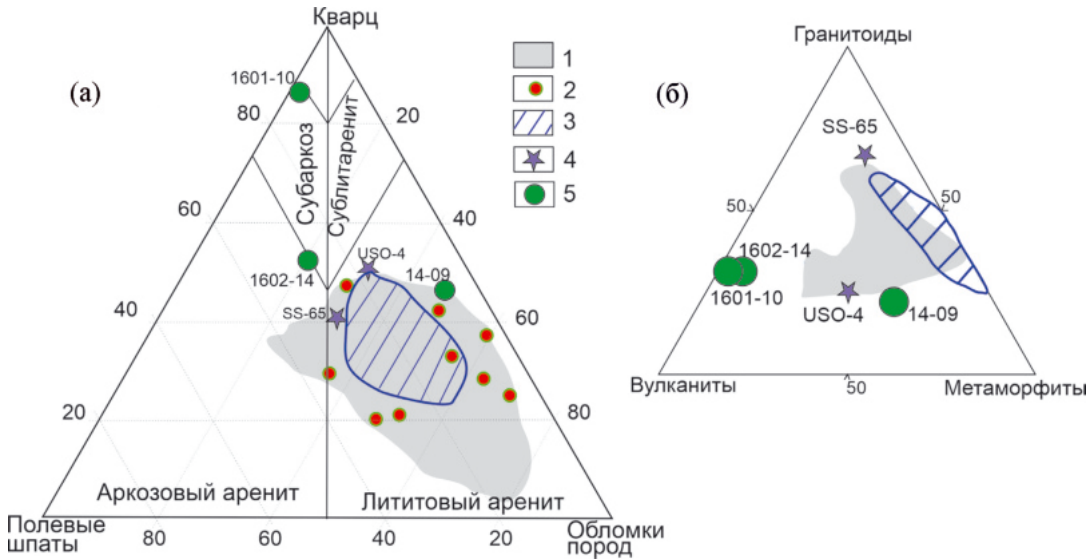


Рис. 3. Диаграммы состава песчаников. а – классификационная диаграмма песчаников (Кварц–Полевые шпаты–Обломки пород), поля проведены по классификационной диаграмме [Pettijohn, 1975]; б – соотношение обломков пород в составе песчаников. 1 – поле состава верхнетриасовых песчаников Чукотки (по [Тучкова и др., 2023]); 2 – песчаники нижнего-среднего триаса Чукотки (по [Тучкова и др., 2023]); 3 – поле состава верхнетриасовых песчаников о. Врангеля (по [Тучкова и др., 2023]); 4 – состав условно триасовых песчаников поднятия Альфа-Менделеева (г. Шамшур); 5 – состав меловых песчаников поднятия Альфа-Менделеева.

ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОД

Концентрации редкоземельных элементов в составе меловых песчаников определены методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS) с использованием масс спектрометра “Element2” в ГИН РАН. Редкоземельные элементы в песчаниках триаса и острова Врангеля определены тем же методом в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН (АСИЦ ИПТМ РАН) в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа под руководством В.К. Карандашева.

На диаграмме Th/Sc–Zr/Sc [McLennan et al., 1993] образцы располагаются в поле, отражающем рециклинг осадочных пород, за исключением образца 14-09, который находится в поле состава источников сноса, что позволяет предполагать в нем более высокое содержание обломков вулканических пород. На основании высокого/низкого соотношения Zr/Sc, высокое значение которого отражает размыв зрелой континентальной коры, в проанализированных образцах выделяется две группы (рис. 4а): группа с более высоким содержанием Zr/Sc, расположенных в поле рециклинга (образцы полигона 3, 1601-1, 1601-10) и группа с вариациями составов, которые очень близки между собой и практически совпадают с полем образцов верхнего триаса Чукотки и о. Врангеля (образцы USO-4, 14-24, 1602-14 и 14-09). При этом необходимо отметить, что в образцах 14-24 и 1602-14 обнаружены популяции цирконов, позволяющие отнести эти образцы к меловому стратиграфическому интервалу.

Влияние континентальной коры на осадконакопление отражает соотношение Th/U [McLennan et al., 1993], а соотношения Th–Th/U на диаграмме (см. рис. 4б) позволяет проследить тренд выветривания в питающей провинции. На диаграмме Th–Th/U в образцах USO-4, 1601-1, 1602-14 и 14-24 отношение Th/U выше 3.8, что характерно для размыва верхней континентальной коры (UCC), и они располагаются в поле верхнетриасовых пород Чукотки и о. Врангеля. Положение образца 1601-1, смещенное в сторону более высокой концентрации Th, указывает на более интенсивное выветривание в питающей провинции или размыв рециклированных пород. Вероятнее предполагать второе, так как на графике Th/Sc–Zr/Sc этот образец занимает положение, соответствующее максимальному уровню переотложения обломочного материала среди проанализированных образцов. Два образца 14-09

и 1601-10 располагаются ниже линии 3.8, что, скорее всего, указывает на размыв преимущественно вулканогенных пород, но с разным уровнем выветривания в питающей провинции (повышенным в обр. 1601-10 и пониженным в обр. 14-09).

Для анализа состава размываемых пород были использованы диаграммы, отражающие тип источников сноса по соотношению различных элементов. На диаграмме La/Th–Hf (см. рис. 4в), проанализированные образцы занимают разные позиции — 4 образца (образцы USO-4, 1602-14, 14-24 и 14-09) расположены в поле источника смешанного основного — кислого состава, 2 образца (образцы 1601-1, 1601-10) относятся к полю влияния источника пассивной континентальной окраины. Образцы USO-4 и 14-09 расположены рядом в поле смешанных пород основного–кислого состава и почти совпадают с полями верхнетриасовых песчаников Чукотки и о. Врангеля.

На диаграмме Co/Th–La/Sc, отражающей соотношение источников гранодиоритового, основного и кислого состава [Gu et al., 2002], проанализированные образцы нижнего мела поднятия Альфа–Менделеева совпадают с полями триасовых отложений о. Врангеля и Чукотки и располагаются в поле влияния гранодиоритовых пород (см. рис. 4г).

На диаграмме TiO₂–Zr [Hayashi et al., 1997] образцы разделились на две группы, в одной, представленной продуктами размыва пород среднего состава, расположились фигуративные точки образцов триасового возраста Чукотки и о. Врангеля (см. рис. 4д). В другом поле, представленным продуктами размыва пород фельзитового состава — находятся образцы мелового возраста. Данное распределение фигуративных точек меловых пород поднятия Альфа–Менделеева выглядит немного странно, так как в этих образцах присутствуют продукты разрушения вулканитов основного состава [Сколотнев и др., 2022]. По-видимому, данный факт объясняется преимущественно кварц-полевошпатовым составом терригенной составляющей песчаников, сформированных в результате влияния речного стока [Сколотнев и др., 2022]. Отметим, что на этой диаграмме образцы 14–09 и USO-4 оказались рядом и тяготеют к полю триасовых пород.

Распределение редкоземельных элементов (РЗЭ) во всех изученных образцах имеет схожую картину — как на графике, где образцы нормированы на PAAS, так и на графике с нормированием на хондрит (рис. 5а, 5б). Образцы незначительно отличаются по уровню концентраций РЗЭ, при этом кривая спектра образца USO-4 занимает

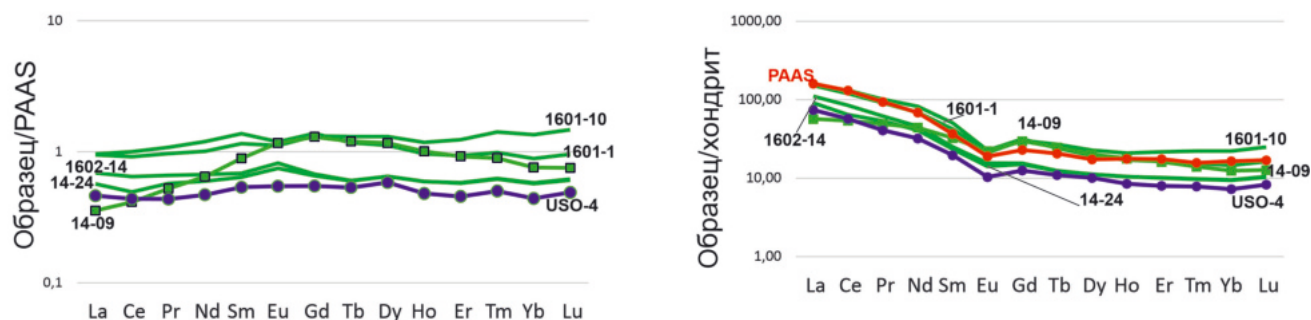


Рис. 5. Распределение редкоземельных элементов в проанализированных образцах, нормированных на постархейский австралийский сланец (PAAS) [Тейлор, Мак-Леннан, 1988] и на хондрит [Sun, McDonough, 1989].

самую нижнюю позицию, отражая наиболее низкие содержания этих элементов в нем; а наиболее высокие концентрации РЗЭ наблюдаются в образцах 1601-1, 1601-10. Заметим, что график образца 14-09 на диаграмме с нормированием на PAAS отличается от других образцов (см. рис. 5а). Линия спектра данного образца постепенно поднимается от тяжелых к средним землям и затем последовательно и быстро снижается в области легких земель, что указывает на мафитовый компонент, представленный высоким содержанием обломков эффузивов в обр. 14-09 (см. табл. 1).

Другой важной характеристикой РЗЭ является европиевая аномалия, которая рассчитывается, как $Eu/Eu^* = Eu_n / (Sm_n \cdot Gd_n)^{1/2}$ и показывает разницу между фактическим содержанием европия (Eu) и расчетным при распределении РЗЭ. Для верхней континентальной коры распределение Eu/Eu^* обычно составляет 0.6–0.7 [Condie, 1993; McLennan et al., 1993, Geochemistry ..., 2003]. Во всех проанализированных образцах величина Eu/Eu^* меняется незначительно и составляет 0.62–0.68 (табл. 2), при этом минимальное (0.62), установлено в образцах о. Врангеля, а максимальное (0.69) в образцах Чукотки, в обр. USO-4 это соотношение 0.66, а в меловых образцах поднятия Менделеева среднее соотношение $Eu/Eu^* = 0.68$.

U–Pb-датирование. В обр. USO-4 наиболее многочисленная популяция обломочных цирконов охватывает интервал 206–424 млн лет с пиками 206, 234, 253, 301, 404 млн лет. Более древние цирконы представлены единичными зернами в интервале от 548 до 2500 млн лет. Охарактеризованный возрастной спектр очень близок возрастным спектрам из поздне триасовых песчаников Чукотки, о. Врангеля и Западной Аляски [Miller et al., 2010]. В двух других образцах (SS-63 и SS-65) было выделено очень небольшое количество зерен (14 и 20 соответственно), которые объединились в популяции

следующих возрастов 244 ± 5 , 300–350, 400, 440–500, 700, 1804 ± 20 – обр. SS-63 и $220-240 \pm 4$, 314 ± 7 , 405–415 ± 8 , 550, 1843 ± 19 , при этом древний возраст представлен 1–2 зернами.

В меловых песчаниках (образцы 14-24 и 1602-14) проанализировано не менее 200 зерен циркона в каждом. Возрастные спектры циркона принципиально отличаются от спектров образца USO-4. В образцах 14-24 и 1602-14 в популяции самых молодых зерен встречены раннемеловые цирконы в возрастном интервале 100–126 млн лет, однако количество таких зерен составляет не более 4–6 зерен на образец. Также в единичных количествах встречены зерна широкого возрастного интервала с пиком на 150 млн лет. В более древних популяциях присутствуют: кластер с герцинским пиком 270–300 млн лет, иногда осложненным более слабым пиком 250 млн лет; кластер с раннекаледонским пиком 500 млн лет, кластер с пиком 1900 млн лет и кластер с пиком 2670 млн лет. Отметим, что диаграммы популяций циркона у всех меловых песчаников заметно разнятся – соотношения между популяциями в разных образцах разные: могут доминировать и герцинский, и протерозойский и архейский кластеры. Тем не менее, явное преобладание древних зерен над позднепалеозойско-раннемезозойскими в образцах 14-24 и 1602-14 свидетельствует о принципиально различных структурно-тектонических источниках сноса между этими образцами с одной стороны и образца USO-4, в котором этот возрастной интервал практически отсутствует, с другой стороны, что является веским доводом в пользу утверждения об их различном возрасте.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

На диаграмме состава порообразующих компонентов (см. рис. 3а) меловые песчаники (обр. 1602-14 и 1601-10) занимают пограничные

Таблица 2. Содержание РЗЭ и элементов-примесей в исследуемых образцах

Шифр пробы	1601-1	1601-10	1602-14	14-24	14-09	USO-4
Sc	6.8	7.9	6.9	6.1	6.3	4.6
Cr	32	44	43	35	26	107.0
Co	7.4	14.4	7.3	24	11.0	8.6
Ni	17.2	75.1	17.6	25	26	15.7
Sr	48	63	528	365	108	116.0
Y	27	34	17.1	17.2	31	13.1
Zr	496	460	240	251	96	153.0
La	36	36	26	22	13.5	17.5
Ce	80	73	52	39	33	34.9
Pr	9.6	8.6	5.9	5.1	4.7	3.9
Nd	38	32	21	19.1	21	15.0
Sm	7.7	6.5	3.8	3.6	5.0	3.0
Eu	1.31	1.23	0.90	0.82	1.28	0.6
Gd	6.5	62	3.2	3.1	6.1	2.6
Tb	0.90	1.01	0.46	0.46	0.92	0.4
Dy	4.9	5.8	2.8	2.8	5.1	2.6
Ho	0.96	1.18	0.59	0.59	1.01	0.5
Er	2.7	3.6	1.69	1.66	2.7	1.3
Tm	0.39	0.56	0.25	0.25	0.36	0.2
Yb	2.5	3.8	1.62	1.60	2.1	1.2
Lu	0.41	0.63	0.27	0.26	0.32	0.2
Hf	11.6	10.8	5.5	5.8	2.4	4.1
Th	8.9	8.7	5.6	4.6	4.1	5.0
U	2.2	3.2	1.28	1.08	1.17	1.3

участки поля субаркоз, при этом обр. 1601-10 характеризуется более высоким содержанием кварцевой составляющей. Образец 14-09 из полигона 2, располагается на границе поля триасовых пород Чукотки. Также как и обр. 14-09, песчаники с горы Шамшура (обр. SS-65, USO-4), располагаются на краю выделенного поля триасовых образцов Чукотки — о. Врангеля, но наиболее близки к полю составов триасовых песчаников о. Врангеля. На дочерней диаграмме обломков пород, в вершинах которой находятся содержания вулканических, метаморфических и гранитоидных пород, образцы SS-85 и USO-4, располагаются на границе полей триасовых образцов (см. рис. 3б). Тогда как образцы мелового возраста формируют отдельный кластер, отличный от поля триасовых пород (см. рис. 3б), и характеризуются высоким содержанием обломков вулканитов. Необходимо отметить, что

в образцах песчаников мелового возраста зерна кварца с микротрещинами практически не обнаружены, тогда как для песчаников горы Шамшура количество таких зерен значительно и составляет около одной трети от общего количества кварцевых зерен [Tuchkova et al., 2020].

По геохимическим данным образцы мелового возраста, как и образцы горы Шамшура (обр. SS-65, USO-4), различаются несущественно, располагаясь внутри или близко к полям триасовых пород Чукотки и о. Врангеля, что хорошо видно на рис. 4а–4г. При этом образцы полигона 3 (обр. 1601-10 и 1601-1) характеризуются как повышенным содержанием Zr/Sc, так и повышенным содержанием Hf (см. рис. 4в), свидетельствующих о высоком содержании рециклированных пород в питающей провинции для образцов восточного полигона 3. Интенсивность выветривания в области размываемых источников сноса различна, от умеренной до низкой, что указывает на дифференцированные обстановки в области питающих провинций. Для обр. USO-4 в питающей провинции предполагаются породы среднего и кислого состава, аналогичные по составу верхней континентальной коре и низкое содержание пород мафитового ряда. Все образцы мелового возраста характеризуются существенно более высоким содержанием вулканогенного материала, что подтверждается петрографическими данными.

Для меловых образцов поднятия Альфа-Менделеева предполагаются весьма мелководные обстановки осадконакопления [Сколотнев и др., 2022], что подтверждается микротекстурой биотурбации, отмеченной в известняке обр. 1602-13, слоистостью в образцах 14-09, 14-24, наличием брекчиевой текстуры (обр. 1602-14) [Сколотнев и др., 2022]. Обстановки условно триасовых образцов горы Шамшура (образцы USO-4, SS-63, SS-65) также предполагаются мелководные [Tuchkova et al., 2020].

Согласно диаграмме кварц — полевые шпаты — обломки пород (см. рис. 3а) отмечается некоторая близость образцов USO-4 и SS-65 с образцами мелового возраста (образцы 1602-14 и 14-09), но по содержанию обломков вулканитов (см. рис. 3б) отмечается их существенное различие. Однако отличия в составе породообразующих компонентов не отражаются кардинально в геохимических показателях. Величина Eu/Eu^* в меловых и триасовых образцах отличается незначительно. На большинстве геохимических диаграмм обр. USO-4 объединяется в одну группу вместе с меловыми песчаниками 14-24 и 1602-14. Спектры РЗЭ всех проанализированных образцов представляют единую группу

за исключением образца 14-09, который отличается от них по типу распределения РЗЭ, отражающим повышенное содержание в нем мафитового компонента. Распределение фигуративных точек песчаников поднятия Альфа-Менделеева мелового возраста на разных геохимических диаграммах совпадают с полями триасовых песчаников о. Врангеля и Чукотки (см. рис. 4а–4г). Исключением является диаграмма соотношений TiO_2-Zr (см. рис. 4д), где они формируют отдельный кластер, отличающийся от полей триасовых пород и обр. USO-4. Все перечисленное может указывать на частичный размыв триасовых пород при осадконакоплении меловых песчаников, однако для подобного утверждения требуются дополнительные исследования.

Веским доводом в пользу утверждения, что образцы USO-4, SS-63 и SS-65 имеют возраст, отличный от возраста меловых песчаников, являются резкие различия в характере возрастных спектров детритовых зерен циркона, выделенных из этих образцов, и свидетельствующих о принципиально разных типах питающих провинций. Близость возрастных спектров цирконов из образцов USO-4, SS-63 и SS-65 таковым из триасовых песчаников Чукотки, о. Врангеля и Западной Аляски позволяет сделать заключение о поздне триасовом возрасте образцов USO-4, SS-63 и SS-65.

Поздне триасовые песчаники найдены на горе Шамшура и не обнаружены на трех других полигонах, опробованных в 2014 и 2016 гг. [Сколотнев и др., 2017, 2022; Skolotnev et al., 2019], при этом в разрезе опробованного склона в юго-западной части поднятия Менделеева меловые песчаники залегают на среднепалеозойских породах, не оставляя места для триасовых отложений. Это может объясняться или тем, что триасовые песчаники имеют локальное распространение только в окрестностях горы Шамшура, или же недостаточным опробованием, при котором породы данного возрастного интервала не были отобраны.

ВЫВОДЫ

Проанализированные песчаные породы поднятия Альфа-Менделеева триасового и мелового возраста достаточно близки между собой по геохимическим характеристикам. Триасовые и меловые песчаники различаются по петрографическим данным, формируя два различных поля на диаграмме состава обломков пород. Еще одним из важных различий является почти полное отсутствие кварцевых зерен с микротрещинами в песчаниках апта, при этом в песчаниках с горы Шамшура количество таких кварцевых зерен может превышать

30%. Также установлено различие в составах питающих провинций по результатам изотопного U–Pb датирования детритовых цирконов, выделенных из песчаников. Для меловых характерно преобладание древних популяций над позднепалеозойско-раннемезозойскими и наличие популяции в интервале 100–126 млн лет. Для триасовых песчаников перечисленные популяции отсутствуют.

В связи с перечисленным можно считать доказанным триасовый возраст песчаников горы Шамшура в приполюсной части поднятия Менделеева; отметить существенные различия в литологических характеристиках меловых и триасовых песчаниках поднятия Альфа-Менделеева; и предположить, что триасовые отложения в этой части Арктики не имеют широкого распространения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы статьи искренне благодарят сотрудников Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ) за предоставленные материалы. Также авторы чрезвычайно признательны анонимным рецензентам, замечания которых помогли улучшить текст и формулировки статьи.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Данное исследование выполнено при финансовой поддержке: отбор образцов осуществлялся при финансовой поддержке ЗАО “Геослужба ГИН РАН” (обр. 14-09, 1601-10, 12-14 и 2-13) и в рамках экспедиции “Арктика-2012” ВСЕГЕИ (обр. USO-4, SS-63, SS-65), гранта РНФ № 20-17-000197-П.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Морозов А.Ф., Петров О.В., Шокальский С.П., Кашубин С.Н., Кременецкий А.А., Шкатов М.Ю., Каминский В.Д., Гусев Е.А., Грикуров Г.Э., Рекант П.В., Шевченко С.С., Сергеев С.А., Шатов В.В. Новые геологические данные, обосновывающие континентальную природу области центрально-арктических поднятий // Региональная геология и металлогения. 2013. № 53. С. 34–55.
- Сколотнев С.Г., Федонкин М.А., Корнийчук А.В. Новые данные о геологическом строении юго-западной части поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) // ДАН. 2017. Т. 476. № 2. С. 190–196.
- Сколотнев С.Г., Фрейман С.И., Хисамутдинова А.И., Ермолаев Б.В., Окина О.И., Сколотнева Т.С. Осадочные породы фундамента поднятия Альфа-Менделеева в Се-

верном Ледовитом океане // Литология и полез. ископаемые. 2022. № 2. С. 136–160.

Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 384 с.

Тучкова М.И., Соколов С.Д., Моисеев А.В., Вержбицкий В.Е., Костылева В.В., Ватрушкина Е.В. Литологические характеристики верхнетриасовых осадочных пород Чукотки и о. Врангеля и взаимосвязи с одновозрастными образованиями Восточной Арктики // Геология и геофизика. 2023. № 3. С. 327–351.

Condie K.C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chem. Geol. 1993. V. 104. P. 1–37.

Floyd P.A., Leveridge B.E. Tectonic environment of the Devonian mode and geochemical evidence from turbiditic sandstones // J. Geol. Soc. London. 1987. V. 144. P. 531–542.

Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks: Evolutionary Considerations to Mineral Deposit-Forming Environments / Ed. D.R. Lenz // Geotext 4. 2003. 184 p.

Gu X.X., Liu J.M., Zheng M.H., Tang J.X., Qi L. Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan South China: geochemical evidence // J. of Sediment. Res. 2002. V. 72. P. 393–407.

Hayashi K., Fujisawa H., Holland H.D., Ohmoto H. Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary Rocks from Northeastern Labrador, Canada // Geochim. Cosmochim. Acta. 1997. V. 61. P. 4115–4137.

[http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037\(97\)00214-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0016-7037(97)00214-7)

Kossovaya O.L., Tolmacheva T. Yu., Petrov O.V., Isakova T.N., Ivanova R.M., Mirolubova E.S., Rekant P.V., Gusev E.A. Paleozoic carbonates and fossils of the Mendeleev

Rise (eastern Arctic): A study of dredged seafloor material // J. of Geodynamics. 2018. V. 120. P. 23–44.

<https://doi.org/10.1016/j.jog.2018.05.001>

McLennan S.M., Hemming S., McDaniel D.K., Hanson G.N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance, and tectonics // Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 1993. V. 284. P. 21–40.

Miller E.L., Gehrels G.E., Pease V., Sokolov S. Stratigraphy and U–Pb detrital zircon geochronology of Wrangel Island, Russia: implications for Arctic paleogeography // American Association of Petroleum Geologists Bulletin 94. 2010. P. 665–692.

Pettijohn F.J. Sedimentary Rocks. N. Y.: Harper & Row., 1975. 628 p.

Skolotnev S., Aleksandrova G., Isakova T., Tolmacheva T., Kurilenko A., Raevskaya E., Rozhnov S., Petrov E., Korniy-chuk A. Fossils from seabed bedrocks: Implications for the nature of the acoustic basement of the Mendeleev Rise (Arctic Ocean) // Marine Geology. 2019. V. 407. P. 148–163.

Sun S.-s., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Geological Society. Spec. Publ. London. 1989. V. 42. P. 313–345.

<https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1989.042.01.19>

Taylor S.R., McLennan S.M. The geochemical evolution of continental crust // Reviews of Geophysics. 1995. V. 33. P. 241–265.

Tuchkova M.I., Shokalsky S.P., Petrov O.V., Sokolov S.D., Sergeev S.A., Moiseev A.V. Triassic deposits of Chukotka, Wrangel Island and Mendeleev Rise, Arctic Sea: sedimentology and geodynamic implications // GFF. 2020.

<https://doi.org/10.1080/11035897.2020.1724668>

ANALYSIS OF SEDIMENTARY AND GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF SEDIMENTARY CLASTIC ROCK SAMPLES FROM ALPHA-MENDELEEV RISE (UNDERWATER SAMPLING)

M. I. Tuchkova¹*, S. G. Skolotnev¹, S. D. Sokolov¹, S. A. Sergeev²

¹ Geological Institute of the Russian Academy of Sciences (GIN RAS),

Pyzhevsky lane, 7, bld. 1, Moscow, 119017 Russia

² All Russian Scientific Research Geological Institute named after A.P. Karpinsky (VSEGEI),

Sredniy ave., V.O., 74, St. Petersburg, 199106 Russia

* e-mail: tuchkova@ginras.ru

The paper presents new data from a comparative analysis of sedimentary rocks from the Mendeleev Rise (seamount Shamshura), presumably of Triassic age, with sandstones of Aptian age, obtained during underwater sampling of the Alpha-Mendeleev Rise during expeditions in 2012, 2014 and 2016. The geochemical characteristics of the rocks are very similar, and, as a rule, data from samples of different ages form common fields on different diagrams. The petrographic investigations have established that the sandstones of presumably Late Triassic age, as well as the sandstones of Chukotka and Wrangel Island, are dominated by fragments of shale and acid effusives. The Aptian samples are dominated by fragments of mafic rocks. Also, sharp differences are observed in the nature of the age spectra of detrital zircon populations, indicating fundamentally different feeding provinces for the Triassic and Cretaceous sandstones of the Alpha-Mendeleev Rise. Samples from the Shamshura seamount are characterized by populations similar to populations from Triassic rocks of Chukotka and Wrangel Island, indicating the presence of Triassic rocks in this part of the Mendeleev Rise.

Keywords: Alpha-Mendeleev rise, underwater sampling, sedimentary rocks, sandstones, petrography, geochemistry, U–Pb dating