

Научная статья
УДК 551



СОПОСТАВЛЕНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛОМОЧНЫХ ПОРОД РАЗНЫХ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИХ КЛАССОВ НА ПРИМЕРЕ ЮРЫ СЕВЕРО-ПОКАЧЕВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ШИРОТНОЕ ПРИОБЬЕ)

А. В. Маслов

Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, г. Уфа, Россия, atas2004@mail.ru, ORCID 0000-0003-4902-5789

Выполнено сопоставление ряда геохимических характеристик аргиллитов, алевролитов, тонко- и тонко-мелкозернистых песчаников (содержание SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O и сумма РЗЭ, значения Th/Sc , Th/Co , La/Sc , Cr/Zr , $(\text{La}/\text{Yb})_N$ и Eu/Eu^*), позволяющих судить о составе пород-источников слагающего их материала. В основу исследования положены аналитические данные для 50 образцов, полученные при изучении различных по зернистости терригенных пород продуктивных пластов ЮВ₄, ЮВ₃, ЮВ₂ и ЮВ₁ Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье). Показано, что в исследованном примере валовый химический состав как собственно аргиллитов, так алевролитов, тонко- и тонко-мелкозернистых песчаников достаточно близок по ряду критериев к валовому химическому составу пород глинистых. Это дает основание думать, что роль глинистых минералов в составе различных по гранулометрическому составу пород нашей выборки весьма высока. Особенности локализации индивидуальных и средних фигуративных точек состава различных по гранулометрии классов пород на дискриминантных диаграммах, традиционно используемых для установления состава пород-источников алюмосиликокластики, позволяют сделать вывод, что получаемые при геохимическом исследовании широкого спектра тонкозернистых обломочных пород (от аргиллитов до тонко-мелкозернистых песчаников) данные об интегральном составе пород питающих провинций в достаточной степени сопоставимы.

Ключевые слова: Северо-Покачевское месторождение, Широтное Приобье, терригенные породы разных гранулометрических классов, сопоставление геохимических характеристик

Благодарности: При подготовке настоящей работы использован ряд аналитических данных, полученных при исследовании в середине 2000-х гг. пород и флюидов Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье) под руководством Ю. Н. Федорова («КогалымНИПИнефть»). Привлечены также материалы описания керна скважин, выполненного тогда же В. П. Алексеевым (УГГУ). Автор часто и с большой благодарностью вспоминает годы совместной работы с названными коллегами. Работа выполнена в рамках Государственной бюджетной темы ИГ УФИЦ РАН № FMRS-2025–0015.

Для цитирования: Маслов А. В. Сопоставление геохимических характеристик обломочных пород разных гранулометрических классов на примере юры Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье) // Геологический вестник. 2025. № 2. С. 73–83. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-2-5

For citation: Maslov A. V. (2025) Comparison of geochemical characteristics of clastic rocks of different grain size classes based on the example of Jurassic deposits of the North-Pokachevskoye oil field (Shirotnoye Priobie). *Geologicheskii vestnik*. 2025. No. 2. P. 73–83. DOI: 10.31084/2619-0087/2025-2-5

© А. В. Маслов, 2025

Original article
UDC 551

COMPARISON OF GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF CLASTIC ROCKS OF DIFFERENT GRAIN SIZE CLASSES BASED ON THE EXAMPLE OF JURASSIC DEPOSITS OF THE NORTH-POKACHEVSKOYE OIL FIELD (SHIROTNOYE PRIOBYE)

A. V. Maslov

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa Russia, amas2004@mail.ru, ORCID 0000-0003-4902-5789

A comparison of a number of geochemical characteristics of mudstones, siltstones, very fine- and very fine-grained sandstones (contents of SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O and REE, values of Th/Sc, Th/Co, La/Sc, Cr/Zr, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ and Eu/Eu*), allowing one to judge the composition of the parent rocks of the material composing them. The study is based on analytical data for 50 samples obtained during the study of clastic rocks of different grain sizes from productive formations YuV₄, YuV₃, YuV₂ and YuV₀ of the North-Pokachevskoye oil field (Shirotnoye Priobye). It is shown that in the example we studied, the bulk chemical composition of both the mudstones themselves, siltstones, and very fine- and very fine-grained sandstones is quite close, according to a number of criteria, to the gross chemical composition of clayey rocks. This gives reason to think that the role of clay minerals in the composition of the studied rocks, which differ in granulometric composition, is very high. Features of the localization of individual and average data points of the rock classes of different granulometry on discriminant diagrams, traditionally used to establish the composition of source rocks of aluminosiliciclastics, allow us to conclude that the results obtained from geochemical studies of a wide range of fine-grained clastic rocks (from mudstones to very fine-grained sandstones) fairly comparable.

Keywords: North-Pokachevskoye oil field, Shirotnoye Priobye, clastic rocks of different grain size classes, comparison of geochemical characteristics

Acknowledgements: In preparing this work, a number of analytical data obtained during research rocks and fluids of the North-Pokachevskoye oil field (Shirotnoye Priobye) under the leadership of Yu. N. Fedorov (“KogalymNIPIneft”) in the mid-2000s were used. Materials from the description of borehole cores, carried out at the same time by V. P. Alekseev (UrSMU), are also involved. The author often and with great gratitude recalls the years of collaboration with these colleagues. The work was carried out within the framework of the State Budget Theme of the IG UFRC RAS № FMRS-2025–0015.

Введение

В середине 1980-начале 1990-х гг. был выполнен ряд ставших классическими исследований взаимосвязи геохимических характеристик обломочных пород с аналогичными характеристиками материнских для них образований. Среди них значительна роль работ Роберта Каллерса, в которых буквально «на геологическом пяточке» получены выводы, используемые литологами и специалистами по геохимии осадочных пород до настоящего времени. Так, в публикации [Cullers et al., 1988] описаны результаты сопоставления состава ручьевых песков, почв с прилегающих к ним склонов и различных материнских пород, позволивших оценить в какой степени осадки сохраняют геохимические характеристики материнских пород. Показано, что содержание Si и Al в иссле-

дованных образцах не являются индикаторами состава материнских пород. По содержанию Ca, Mg, Fe и Ti пески, образовавшиеся из продуктов эрозии метаморфических и магматических пород, можно разграничить только в самом общем виде. Установлено, что в осадках сохраняются различия в содержании Ba и Th, а также величине La/Lu, характерные для материнских гранитов, тоналитов и амфиболитов. По содержанию Co и Sc также можно различить отложения, образовавшиеся при эрозии кислых и основных пород, но лучше всего использовать для этого значения индикаторных отношений La/Sc, Th/Sc, La/Co, Ba/Sc и Ba/Co.

В работе [Cullers, 1994a] проанализирован состав и геохимические особенности осадков ряда ручьев, дренирующих метаморфические породы, богатые и бедные SiO_2 . Первые, как правило, содержат более высокие концентрации редкоземель-

ных элементов (PЗЭ), Th, Hf и Ba и более низкие Fe, Sc и др. Для них также свойственны более высокие отношения La/Sc и Th/Sc и более выраженные аномалии Eu, чем вторым. Установлено, что отношения La/Sc, Th/Sc, La/Co, Th/Co и Ba/Co, а также соотношение между Th, La и Sc позволяют различать осадки, образовавшиеся из наиболее кислых и наиболее основных материнских пород. Кроме того, ряд геохимических особенностей тонкозернистых обломочных пород (глин, илов, алевролитов) вблизи источника кластики также могут способствовать разграничению кислых (более высокие суммы PЗЭ и более отрицательные Eu/Eu*) и основных материнских пород.

Для публикации [Cullers, 1994б] объектами исследования явились глинистые сланцы, алевролиты и песчаники каменноугольно-пермского возраста, расположенные как вблизи источника кластики, так и на существенном удалении от него. Показано, что вблизи источника песчаники обогащены SiO₂ и Na₂O и обеднены Al₂O₃, Fe₂O₃* (суммарное железо в виде Fe₂O₃), TiO₂, Th, Hf, Sc, Cr, Cs, PЗЭ, Y и Ni, а также имеют более низкие отношения La/Co и La/Ni, чем глинистые сланцы и алевролиты. Существенных различий в содержании K₂O и Sr и величинах Eu/Eu*, La/Lu, La/Sc, Th/Sc, Th/Co и Cr/Th между песчаниками, с одной стороны, и глинистыми сланцами и алевролитами, с другой, вблизи источника кластики не обнаружено. Нет также какой-либо разницы вблизи источника кластики в величинах Eu/Eu*, La/Lu, La/Sc, Th/Sc, Th/Co и Cr/Th в осадках разных обстановок, поэтому в формировании их геохимических характеристик решающая роль принадлежит породам-источникам кластики, а не среде осадконакопления. Глинистые сланцы и алевролиты, расположенные вблизи источника кластики, содержат значительно более высокие и более разнообразные концентрации большинства компонентов (Al₂O₃, Fe₂O₃*, MnO, TiO₂, Ba, Th, Hf, Ta, Co, Sc, PЗЭ, Nb, Y), но отличаются более низким содержанием Na₂O и величиной Eu/Eu*, чем удаленные от источника тонкозернистые породы (например, Eu/Eu* = 0.55 ± 0.07 в первых и 0.64 ± 0.08 во вторых). Основной причиной сказанного могут быть меньшие концентрации большинства элементов в глинистых минералах платформенных тонкозернистых обломочных пород по сравнению с такими же породами вблизи источника кластики. Выяснено также, что усреднение состава тонкой алюмосиликокластики по мере удаления ее от источника является и причиной того,

что для платформенных глинистых пород и алевролитов характерна большая однородность концентраций многих редких и рассеянных элементов по сравнению с аналогичными по гранулометрическому составу породами вблизи источника.

В это же время исследовано распределение основных породообразующих оксидов и редких и рассеянных элементов в глинистых сланцах, алевролитах и песчаниках осадочных последовательностей Колорадо, возраст которых варьировал от ордовика до эоцена [Cullers, 1995]. В результате установлено, что богатые кварцем песчаники содержат значительно меньшие концентрации большинства элементов по сравнению с ассоциирующими с ними глинистыми породами и алевролитами. Напротив, аркозовые песчаники обладают сопоставимыми или несколько меньшими концентрациями большинства элементов по сравнению с переслаивающимися с ними тонкозернистыми обломочными породами. Средние концентрации Al₂O₃, Fe₂O₃*, MgO, TiO₂, Rb, Th, Co, Sc, Cr, Cs, Nb, Y и PЗЭ в песчаниках значительно ниже, чем в глинистых породах и алевролитах. Только содержание SiO₂, Na₂O и Ba, а также величины Eu/Eu*, La/Sc и Th/Sc в песчаниках выше. Нет существенной разницы между песчаниками и тонкозернистыми обломочными породами в концентрациях MnO, CaO, K₂O и Sr и величинах La/Co, Th/Co, La/Ni, Cr/Th и (La/Lu)_N. Высказано предположение, что многие из указанных различий могут быть связаны с более высоким содержанием кварца и полевого шпата и меньшим количеством глинистых минералов в песчаниках. Кроме того, содержание и отношения большинства элементов в песчаниках более изменчивы, чем в глинистых сланцах и алевролитах. Это предполагает, что геохимические характеристики глинистых сланцев быстро усредняются уже вблизи источника кластики. Таким образом, более однородное распределение элементов в глинистых сланцах и алевролитах позволяет считать, что они могут быть лучшими индикаторами состава пород на палеоводосборах, чем песчаники.

Цель данной работы — сопоставить ряд геохимических характеристик аргиллитов, алевролитов, тонко- и тонко-мелкозернистых песчаников, позволяющих судить о составе пород-источников слагающего их материала, и оценить, насколько они схожи или различны в породах различных гранулометрических классов. В основу работы положены данные, полученные ранее при изучении терригенных пород продуктивных пластов

ЮВ₄, ЮВ₃, ЮВ₂ и ЮВ₀ Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье).

Фактический материал

Проведенное в середине 2000-х гг. под руководством Ю. Н. Федорова («КогалымНИПИнефть») геохимическое изучение пород и флюидов Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье, рис. 1) позволило получить обширный фактический материал [Федоров и др., 2007], на примере которого можно проанализировать вариации основных геохимических характеристик различных по гранулометрическому составу/классу пород (аргиллиты (АРГ), мелко- (МА), мелко-крупно- (МКА) и крупнозернистые (КА) алевролиты, тонкозернистые (ТЗ), тонко-мелко- (ТМЗ) и мелкозернистые (МЗ) песчаники)¹, сформированных за счет одного источника кластики. Для этого использованы сведения о гранулометрическом составе пород продуктивных пластов ЮВ₄, ЮВ₃, ЮВ₂ и ЮВ₀ (описание керн выполнено В. П. Алексеевым, УГГУ) и данные о содержании в них основных породообразующих оксидов и редких и рассеянных элементов, полученные в химлаборатории УГГУ (г. Екатеринбург) и в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) методом ICP-MS под руководством Ю. Л. Ронкина. Среднее, минимальное и максимальное содержание основных компонентов состава пород и значения ряда индикаторных отношений для разных гранулометрических их классов (всего 50 образцов) приведены в табл. 1.

Сравнение минимального и максимального содержания SiO₂ в исследованной нами выборке (рис. 2) показывает, что аргиллиты и алевролиты обладают довольно сопоставимым количеством кремнезема (АРГ — 56–63, МА — 57–73, МКА — 53–65, КА — 58–63 мас. %). В тонко- и тонко-мелкозернистых песчаниках разброс указанных параметров примерно в 1.5–2 раза больше (45–72 и 54–78 мас. %). В целом же и аргиллиты и тонко-мелкозернистые песчаники характеризуются почти полным перекрытием содержания SiO₂. Очень хорошо этот факт виден при сопоставлении свойственных разным гранулометрическим классам исследуемых нами образований средних величин SiO₂ и с учетом стандартных отклонений ($\pm 1\sigma$). Иначе, и ожидаемо, ведет себя Al₂O₃. В раз-

личных по гранулометрическому составу алевролитах вариации минимального и максимального его содержания довольно заметны (МА — 10.5–21.7, КА — 11.2–20.2 мас. %), тогда как в песчаниках они примерно в 2 раза меньше (ТЗ — 11.7–17.0, ТМЗ — 8.2–14.1 мас. %). Аргиллиты обладают несколько более высоким содержанием Al₂O₃, чем песчаники. Минимальный разброс содержания K₂O характерен для аргиллитов (1.8–2.2 мас. %), максимальный — для мелкозернистых алевролитов (1.3–2.8 мас. %). Породы остальных гранулометрических классов, за исключением мелко-крупнозернистых алевролитов, имеют близкие величины указанных параметров. Интервал максимального и минимального содержания K₂O в аргиллитах укладывается в такие же интервалы, характерные для остальных пород нашей выборки.

Интересно отметить, что среднее содержание оксида кремния в аргиллитах, алевролитах и тонкозернистых песчаниках в нашем примере не превышает 63 мас. %. Даже в мелкозернистых песчаниках величина SiO₂среднее равна 66.5 мас. %. Среднее содержание Al₂O₃ в аргиллитах, алевролитах, а также тонко- и мелкозернистых песчаниках находится в интервале ~14.0...17.7 мас. %. Таким образом, два из трех критериев, определяющих по валовому химическому составу принадлежность пород к категории глинистых [Юдович и др., 2020], в данном примере почти выполняются. Это дает основание думать, что роль глинистых минералов в составе пород нашей выборки весьма высока.

Обсуждение фактического материала

Свойственный для аргиллитов интервал между максимальным и минимальным значением Th/Sc (0.68–1.04) сохраняется примерно таким же и в тонко-мелкозернистых песчаниках (0.64–1.13) (рис. 3). Минимальная его величина присуща мелко-крупнозернистым алевролитам (0.64–0.95), а максимальная (0.36–1.11) — тонкозернистым песчаникам. В целом же для исследуемой нами выборки величина данного параметра может быть признана статистически достаточно сопоставимой. Аргиллиты, мелко-крупнозернистые и крупнозернистые алевролиты, а также песчаники обладают достаточно близкими разбросами минималь-

¹ При выделении различных гранулометрических классов терригенных пород В. П. Алексеев использовал следующие линейные размеры частиц (мм): аргиллиты <0.0039, тонкозернистые алевролиты <0.0078, мелкозернистые алевролиты <0.0156, среднезернистые алевролиты <0.0312, крупнозернистые алевролиты <0.0625, тонкозернистые песчаники <0.125, мелкозернистые песчаники <0.250 и т. д. [Алексеев и др., 2011].

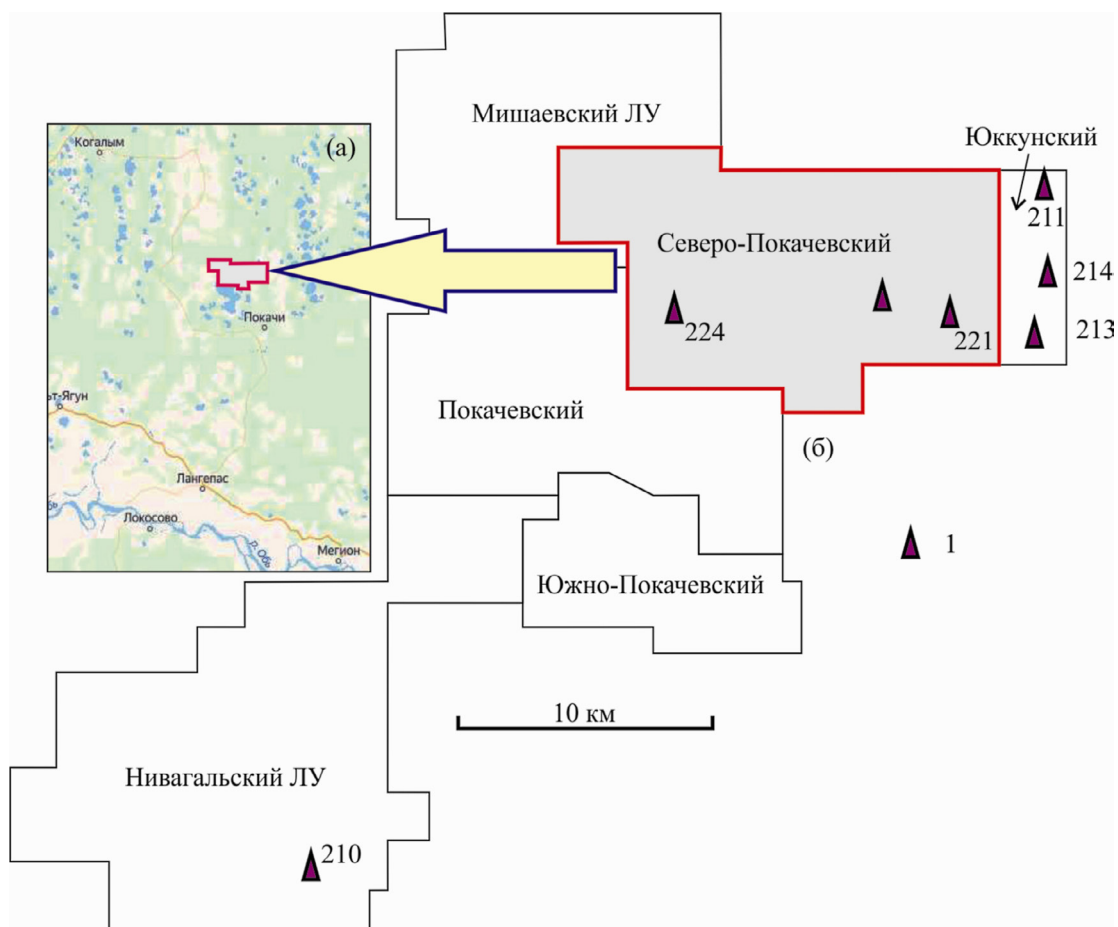


Рис. 1. Обзорная схема (а) и схема лицензионных участков (ЛУ) в районе Северо-Покачевского месторождения (б), по [Федоров и др., 2007] с некоторыми изменениями

Условные обозначения: 1 — скважины, данные по валовому химическому составу образцов керна которых использованы в настоящей заметке.

Fig. 1. Overview scheme (а) and scheme of licensed areas (ЛУ) in the vicinity of the North-Pokachevskoye oil field (б), according to [Fedorov et al., 2007] with some modifications

Legend: 1 — boreholes, data on the bulk chemical composition of core samples of which are used in this note.

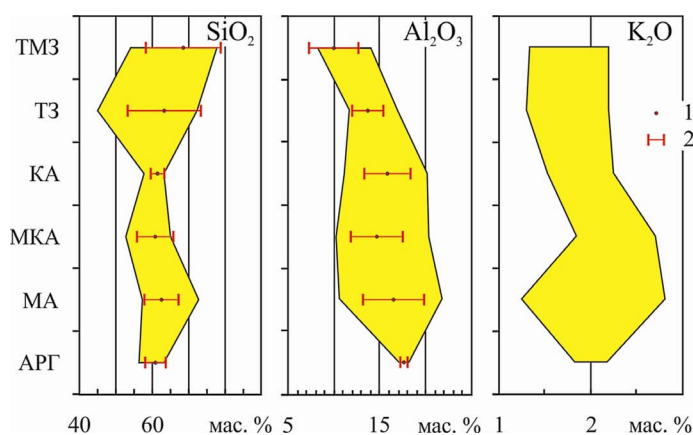


Рис. 2. Среднее, минимальное и максимальное содержание SiO_2 , Al_2O_3 и K_2O в породах различных гранулометрических классов

Условные обозначения: АРГ — аргиллиты; МА — мелкозернистые алеволиты; МКА — мелко-крупнозернистые алеволиты; КА — крупнозернистые алеволиты; ТЗ — тонкозернистые песчаники; ТМЗ — тонко-мелкозернистые песчаники. 1 — среднее арифметическое, 2 — стандартное отклонение ($\pm 1\sigma$).

Fig. 2. Average, minimum and maximum contents of SiO_2 , Al_2O_3 and K_2O in rocks of various grain size classes

Legend: АРГ — mudstones, МА — fine-grained siltstones, МКА — fine-to-coarse-grained siltstones, КА — coarse-grained siltstones, ТЗ — very fine-grained sandstones, ТМЗ — very fine-fine-grained sandstones. 1 — arithmetic average; 2 — standard deviation ($\pm 1\sigma$).

Таблица 1. Среднее арифметическое, минимальное и максимальное содержание основных породообразующих оксидов (мас. %), некоторых редких и рассеянных элементов (г/т) и их индикаторных отношений в породах различных гранулометрических классов (Северо-Покачевское месторождение, Широтное Приобье)

Table 1. Arithmetic average, minimum and maximum contents of the main rock-forming oxides (wt. %), some trace elements (ppm) and their indicator ratios in rocks of various grain size classes (North-Pokachevskoe oil field, Shirotnoye Priobye)

Компонент, индикаторное от- ношение	Гранулометрические классы						
	АПГ	МА	МКА	КА	ТЗ	ТМЗ	МЗ [#]
SiO ₂	60.77 ± 2.59 56.50–63.00	62.43 ± 4.47 57.37–72.51	60.34 ± 5.00 52.84–64.99	61.21 ± 1.64 57.90–63.20	63.03 ± 10.23 45.18–72.20	68.53 ± 10.47 54.19–77.60	66.54
TiO ₂	1.15 ± 0.13 1.08–1.38	1.00 ± 0.17 0.62–1.25	1.07 ± 0.13 0.98–1.31	0.91 ± 0.11 0.73–1.12	0.72 ± 0.17 0.42–0.94	0.54 ± 0.07 0.44–0.59	0.67
Al ₂ O ₃	17.68 ± 0.39 17.16–18.14	16.45 ± 3.39 10.50–21.72	14.92 ± 2.90 10.22–20.36	15.91 ± 2.53 11.19–20.19	13.75 ± 1.75 11.65–16.98	9.99 ± 2.74 8.16–14.06	15.57
Fe ₂ O ₃	0.65 ± 0.34 0.24–1.14	1.17 ± 1.23 0.11–4.40	3.29 ± 2.08 0.87–8.01	1.93 ± 1.34 0.09–4.33	1.02 ± 0.59 0.39–1.87	1.19 ± 1.57 0.09–3.42	0.09
FeO	3.30 ± 0.76 2.59–4.17	3.02 ± 1.22 1.15–4.89	2.83 ± 1.23 1.15–4.82	4.19 ± 0.96 1.80–5.35	3.57 ± 2.46 1.44–8.20	2.48 ± 1.70 1.22–4.96	2.20
MnO	0.05 ± 0.03 0.03–0.09	0.06 ± 0.03 0.02–0.11	0.07 ± 0.04 0.02–0.14	0.07 ± 0.03 0.03–0.14	0.09 ± 0.05 0.04–0.17	0.06 ± 0.04 0.02–0.12	0.05
MgO	2.65 ± 0.20 2.46–2.95	2.43 ± 0.49 1.55–3.07	2.26 ± 0.51 1.51–2.76	2.52 ± 0.21 2.04–2.85	2.46 ± 0.83 1.62–3.81	1.99 ± 1.11 1.03–3.59	1.51
CaO	0.94 ± 0.28 0.57–1.29	1.65 ± 0.88 0.54–4.00	1.87 ± 0.50 1.43–3.00	1.48 ± 0.46 0.86–2.32	3.83 ± 3.07 1.29–8.69	4.17 ± 3.12 0.57–8.11	1.43
Na ₂ O	2.17 ± 0.14 2.03–2.40	2.29 ± 0.36 1.85–2.94	2.57 ± 0.25 2.12–2.89	2.22 ± 0.15 1.89–2.36	2.53 ± 0.42 1.73–2.87	2.67 ± 0.53 1.94–3.20	3.25
K ₂ O	1.96 ± 0.13 1.82–2.18	2.17 ± 0.43 1.25–2.80	2.22 ± 0.28 1.85–2.70	1.86 ± 0.20 1.53–2.24	1.63 ± 0.33 1.30–2.19	1.69 ± 0.36 1.34–2.19	1.99
P ₂ O ₅	0.16 ± 0.04 0.10–0.20	0.15 ± 0.05 0.05–0.23	0.20 ± 0.06 0.09–0.27	0.22 ± 0.08 0.11–0.37	0.22 ± 0.15 0.11–0.51	0.19 ± 0.13 0.11–0.38	0.14
п. п. п.	8.20 ± 2.69 6.54–12.97	6.40 ± 1.12 4.94–8.33	7.42 ± 2.14 5.82–12.37	7.29 ± 0.58 6.46–8.48	6.57 ± 4.37 3.01–14.50	5.84 ± 3.99 3.03–11.64	5.95
<i>n</i>	5	11	8	12	6	4	2
Sc	14.61 ± 3.37 8.87–18.30	14.26 ± 3.16 7.96–19.90	14.86 ± 2.50 11.68–18.88	12.97 ± 2.31 9.74–15.94	10.93 ± 5.29 7.25–20.89	6.45 ± 3.59 3.50–11.65	6.40
Cr	137.10 ± 15.94 119.00–164.56	146.23 ± 41.78 87.73–240.39	135.88 ± 29.93 109.42–202.42	169.78 ± 48.22 98.11–252.96	131.36 ± 35.54 92.58–188.50	99.06 ± 52.91 42.04–169.17	166.89
Co	22.90 ± 23.70 10.51–76.22	14.45 ± 7.74 3.75–30.88	15.89 ± 3.79 10.00–20.92	16.89 ± 6.70 7.90–36.61	11.26 ± 3.44 8.00–17.56	6.36 ± 4.21 3.93–12.64	7.10
Zr	178.94 ± 27.88 125.89–214.22	155.29 ± 30.68 119.24–226.20	172.18 ± 23.88 140.21–217.26	169.09 ± 17.88 140.33–191.70	125.02 ± 20.33 85.84–142.58	82.36 ± 24.10 62.95–113.92	114.21
La	40.30 ± 14.17 20.33–64.48	30.24 ± 10.00 15.47–47.30	35.67 ± 6.48 21.01–42.86	27.21 ± 8.24 14.15–42.90	25.08 ± 4.59 19.88–30.89	19.00 ± 7.52 13.64–30.13	20.45
Th	12.94 ± 3.35 8.17–15.91	10.21 ± 2.39 6.53–16.29	11.78 ± 1.40 10.01–14.05	8.58 ± 2.23 4.14–11.38	7.41 ± 1.51 4.90–9.50	5.43 ± 1.97 3.05–7.45	6.97
Th/Sc	0.89 ± 0.12 0.68–1.04	0.73 ± 0.17 0.53–1.18	0.80 ± 0.10 0.64–0.95	0.66 ± 0.15 0.42–0.97	0.76 ± 0.26 0.36–1.11	0.90 ± 0.21 0.64–1.13	1.07
Th/Cr	0.09 ± 0.02 0.07–0.11	0.07 ± 0.02 0.04–0.11	0.09 ± 0.01 0.06–0.10	0.06 ± 0.03 0.02–0.10	0.06 ± 0.02 0.03–0.09	0.07 ± 0.04 0.02–0.11	0.04
Th/Co	0.80 ± 0.30 0.20–1.19	0.95 ± 0.62 0.29–2.52	0.77 ± 0.15 0.57–1.00	0.56 ± 0.21 0.17–0.89	0.71 ± 0.26 0.41–1.10	0.99 ± 0.46 0.59–1.64	1.04
La/Sc	2.74 ± 0.68 1.99–4.10	2.14 ± 0.60 1.18–3.20	2.41 ± 0.40 1.80–3.09	2.14 ± 0.73 1.29–4.04	2.68 ± 1.12 1.18–4.13	3.15 ± 0.58 2.59–3.90	3.21
Cr/Zr	0.78 ± 0.13 0.64–1.04	0.97 ± 0.35 0.68–2.02	0.78 ± 0.07 0.70–0.93	1.00 ± 0.25 0.56–1.35	1.12 ± 0.56 0.69–2.20	1.31 ± 0.95 0.66–2.69	1.47
Сумма РЗЭ	192.29 ± 60.56 99.99–289.14	152.60 ± 39.52 92.10–224.42	174.38 ± 26.42 116.45–205.98	137.84 ± 37.23 73.28–199.02	125.59 ± 17.54 100.63–147.00	98.54 ± 42.47 63.49–158.84	102.66
(La/Yb) _N	8.82 ± 1.51 7.27–11.79	7.17 ± 1.88 4.14–9.33	8.19 ± 1.32 5.57–9.70	7.62 ± 1.77 4.61–11.42	8.04 ± 1.92 5.24–9.93	8.57 ± 1.56 6.42–10.11	6.75
Eu/Eu*	1.18 ± 0.38 0.77–1.97	1.06 ± 0.24 0.64–1.60	1.05 ± 0.10 0.88–1.17	1.08 ± 0.15 0.87–1.41	1.06 ± 0.20 0.82–1.34	1.19 ± 0.40 0.79–1.57	0.96
<i>n</i>	7	13	8	12	6	4	2

Примечание. п. п. п. — потери при прокаливании. # — среднее арифметическое, *n* — число исследованных образцов. Расшифровку аббревиатур см. в тексте.

Note. п. п. п. — loss on ignition. # is the arithmetic mean, *n* is the number of samples studied. АПГ — mudstones, МА — fine-grained siltstones, МКА — fine-to-coarse-grained siltstones, КА — coarse-grained siltstones, ТЗ — very fine-grained sandstones, ТМЗ — very fine-fine-grained sandstones, МЗ — fine-grained sandstones.

ной и максимальной величин отношения Th/Co (АРГ — 0.20–1.19, МКА — 0.57–1.00, КА — 0.17–0.89, ТЗ — 0.41–1.10, ТМЗ — 0.59–1.64), и только для мелкозернистых алевролитов этот параметр примерно в 2–4 раза больше (0.29–2.52). Несмотря на заметные вариации La/Sc в различных по гранулометрическому составу породах, очевидно также, что для всех из них свойственно перекрытие значений данного параметра (АРГ — 1.99–4.10, МКА — 1.80–3.09, ТЗ — 1.18–4.13). Это же можно видеть и для отношения Cr/Zr . Последнее обладает минимальным разбросом максимального и минимального значений в мелко-крупнозернистых алевролитах (0.70–0.93), но такой же интервал значений мы можем найти и в аргиллитах (0.64–1.04) и в породах других рассматриваемых нами гранулометрических классов (например, для крупнозернистых алевролитов он равен 0.56–1.35).

Сумма РЗЭ в аргиллитах варьирует от ~100 до ~298 г/т. В мелкозернистых алевролитах она составляет от ~92 до ~224 г/т, а в тонко-мелкозернистых песчаниках — заметно меньше (~63...~159 г/т) (рис. 4). Таким образом, в рассматриваемом нами случае налицо давно и хорошо известный факт — постепенное снижение суммы лантаноидов от собственно глинистых пород к породам песчаным. При обращении к средним величинам сумма РЗЭ и соответствующим им стандартным отклонениям можно видеть, что практически для всех гранулометрических классов пород характерно значительное перекрытие величин данного параметра выражено весьма отчетливо. Значения $(\text{La}/\text{Yb})_N$ (тут для нормирования использован хондрит из монографии [Taylor, McLennan, 1985]) для аргиллитов составляют от 7.27 до 11.79. В мелко-крупнозернистых алевролитах они варьируют от 5.57 до 9.70, а в тонко-мелкозернистых песчаниках — от 6.42 до 10.11. В итоге можно сделать вывод, что значения $(\text{La}/\text{Yb})_N$ в широком спектре различных гранулометрических классов — от аргиллитов до тонко-мелкозернистых песчаников существенным образом не меняются. Это же свойственно и величине Eu/Eu^* (ее значение в аргиллитах равно 0.77–1.97², в мелко-крупнозернистых алевролитах — 0.88–1.17, а в тонкозернистых песчаниках — 0.82–1.34).

Суммируя все сказанное выше, можно сделать вывод о том, что валовый химический состав аргиллитов и, по крайней мере, алевролитов принципиально не отличается, как в том, что ка-

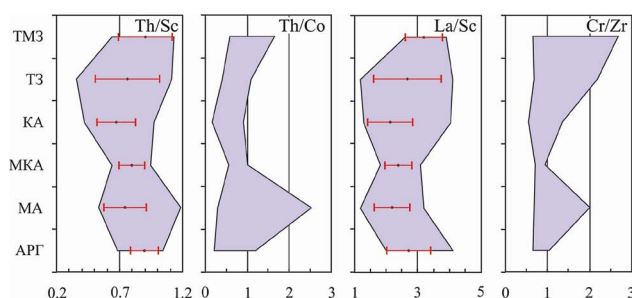


Рис. 3. Среднее, минимальное и максимальное значение Th/Sc , Th/Co , La/Sc и Cr/Zr в породах различных гранулометрических классов

Условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 3. Average, minimum and maximum values of Th/Sc , Th/Co , La/Sc and Cr/Zr in rocks of various grain size classes

Legend see fig. 2.

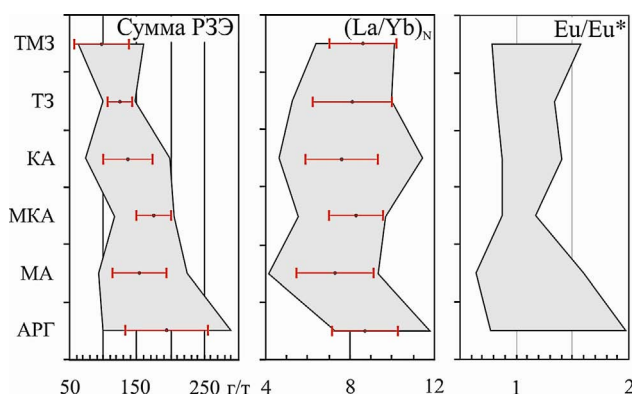


Рис. 4. Среднее, минимальное и максимальное значение суммы РЗЭ, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ и Eu/Eu^* в породах различных гранулометрических классов

Условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 4. Average, minimum and maximum values of the sum of REE, $(\text{La}/\text{Yb})_N$ and Eu/Eu^* in rocks of different grain size classes

Legend see fig. 2.

сается содержания ряда основных породообразующих оксидов, так и индикаторных отношений некоторых редких и рассеянных элементов. Это же характерно и для суммарного содержания РЗЭ, а также значений таких важных параметров нормированных на хондрит спектров лантаноидов, как $(\text{La}/\text{Yb})_N$ и Eu/Eu^* .

Обратимся теперь к анализу распределения точек состава аргиллитов, алевролитов и песчаников на дискриминантных диаграммах, тради-

² Значения $\text{Eu}/\text{Eu}^* > 1$ вызваны в данном случае, скорее всего, систематической ошибкой измерений, так как подавляющее большинство геохимических параметров пород не предполагает присутствия в них львиной доли тонкой алюмосиликокластики основного состава. Однако на общие выводы это не влияет.

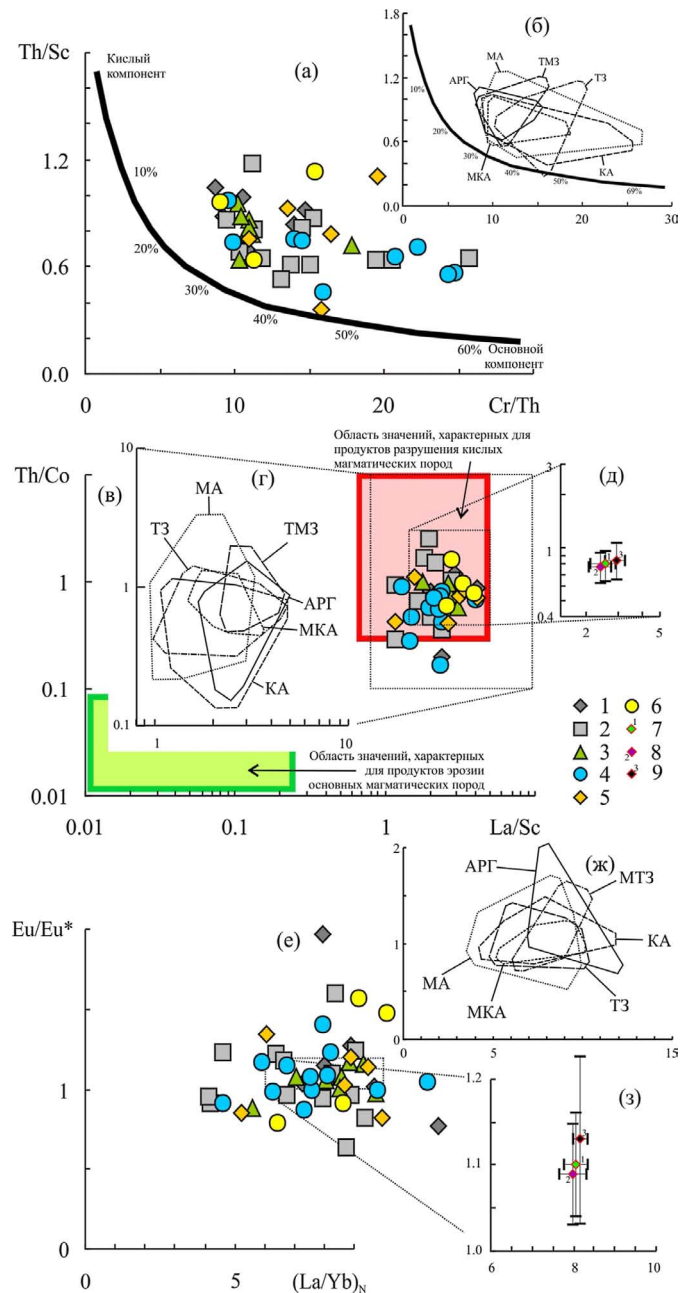


Рис. 5. Распределение индивидуальных фигуративных точек пород различных гранулометрических классов (а, в, е), контуры образуемых ими областей (б, г, ж) на диаграммах Cr/Th — Th/Sc, La/Sc — Th/Co и $(La/Yd)_N$ — Eu/Eu*, а также положение средних точек для выборок «все гранулометрические классы» (1), «аргиллиты и алевролиты» (2) и «тонко- и тонко-мелкозернистые песчаники» (3)

Условные обозначения: 1 — аргиллиты; 2 — мелкозернистые алевролиты; 3 — мелко-крупнозернистые алевролиты; 4 — крупнозернистые алевролиты; 5 — тонкозернистые песчаники; 6 — тонко-мелкозернистые песчаники; 7 — среднее арифметическое для всей выборки образцов (n = 50); 8 — среднее для аргиллитов и алевролитов (n = 40); 9 — среднее для тонко- и тонко-мелкозернистых песчаников (n = 10). Остальные условные обозначения см. рис. 2.

Fig. 5. Distribution of individual data points of rocks of different grain size classes (a, в, е), the contours of the areas they form (б, г, ж) on the diagrams Cr/Th — Th/Sc, La/Sc — Th/Co and $(La/Yd)_N$ — Eu/Eu*, as well as the position of the average data points for the samples “all grain size classes” (1), “mudstones and siltstones” (2) and “very fine- and very fine-fine-grained sandstones” (3)

Legend: 1 — mudstones; 2 — fine-grained siltstones; 3 — fine-to-coarse-grained siltstones; 4 — coarse-grained siltstones; 5 — very fine-grained sandstones; 6 — very fine-fine-grained sandstones; 7 — arithmetic mean for the all samples (n = 50); 8 — average for mudstones and siltstones (n = 40); 9 — average for very fine- and very fine-fine-grained sandstones (n = 10). Other symbols see fig. 2.

ционно используемых для расшифровки состава пород-источников алюмосиликокластики (рис. 5).

На диаграмме Cr/Th — Th/Sc [Bracciali et al., 2007] фигуративные точки аргиллитов, алевролитов и песчаников расположены в области значений, характерных для присутствия в их составе от 20 до 60% продуктов размыва основных магматических пород (см. рис. 5а). Свойственные всем им значительные перекрытия и Cr/Th и Th/Sc группируют точки состава за некоторыми исключениями практически в одну область. Исключениями, как это хорошо видно на рис. 5б, можно считать мелко- и крупнозернистые алевролиты, разброс Cr/Th в которых больше, чем в породах других гранулометрических классов.

На диаграмме La/Sc — Th/Co [Cullers, 2002] все фигуративные точки также образуют весьма компактное поле и локализованы в области составов, сложенных продуктами эрозии кислых магматических и метаморфических пород (см. рис. 5в). Какой-либо дифференциации областей отдельных гранулометрических классов на указанном графике не просматривается. Если же анализировать только контуры таких областей (см. рис. 5 г), то видно, что и здесь области мелко- и крупнозернистых алевролитов, а также тонкозернистых песчаников обладают большим разбросом минимальных и максимальных величин La/Sc, однако перекрытие всех областей (в диапазоне от аргиллитов до тонко-мелкозернистых песчаников) значительное. Это позволяет считать, что при расшифровке с помощью геохимических характеристик тонкозернистых обломочных пород, к категории последних могут быть отнесены, по всей видимости, не только аргиллиты и мелкозернистые алевролиты, но и породы других гранулометрических классов, в рассматриваемом нами примере — вплоть до тонко-мелкозернистых песчаников. Особенно наглядно сказанное видно на врезке (см. рис. 5д), где показаны средние точки и свойственные им значения $\pm 1\sigma$ для выборок «все гранулометрические классы», «аргиллиты + алевролиты» и «тонко- и тонко-мелкозернистые песчаники».

Сходное распределение имеют точки состава пород различных гранулометрических классов и на диаграмме $(La/Yb)_N$ — Eu/Eu* (см. рис. 5е). В то же время, рассматривая их контуры (см. рис. 5ж) можно отметить, что область точек аргиллитов несколько сдвинута по сравнению с областями точек пород других классов в сторону больших величин и $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu*. Контуры областей фигуративных точек других грануломе-

трических классов обладают существенным перекрытием. В целом, локализация точек состава пород различных классов на данной диаграмме позволяет считать, что достаточно корректную информацию о составе пород-источников алюмосиликокластики можно получить по геохимическим характеристикам как аргиллитов и алевролитов, так и тонко- и тонко-мелкозернистых песчаников. Распределение средних величин $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu* с учетом значений $\pm 1\sigma$ для выборок «все гранулометрические классы», «аргиллиты + алевролиты» и «тонко- и тонко-мелкозернистые песчаники» (см. рис. 5з) также наглядно показывает статистическое сходство информации о геохимических характеристиках пород-источников алюмосиликокластики для разных гранулометрических классов пород в интервале от аргиллитов до тонко-мелкозернистых песчаников.

Заключение

Сопоставление ряда геохимических характеристик (содержание SiO_2 , Al_2O_3 , K_2O и сумма РЗЭ, значения Th/Sc, Th/Co, La/Sc, Cr/Zr, $(La/Yb)_N$ и Eu/Eu*) аргиллитов, различных по зернистости алевролитов, тонко- и тонко-мелкозернистых песчаников, позволяющих судить о составе пород-источников слагающей их алюмосиликокластики, показало, что в рассматриваемом нами примере (терригенные породы пластов ЮВ₄, ЮВ₃, ЮВ₂ и ЮВ₂⁰ Северо-Покачевского месторождения, Широтное Приобье) валовый химический состав перечисленных пород достаточно близок по ряду критериев к валовому химическому составу собственно глинистых пород.

Особенности локализации индивидуальных и средних фигуративных точек различных по гранулометрии классов пород с учетом свойственных им величин стандартных отклонений ($\pm 1\sigma$) на дискриминантных диаграммах, традиционно используемых для установления состава пород-источников алюмосиликокластики (Cr/Th — Th/Sc, La/Sc — Th/Co и $(La/Yd)_N$ — Eu/Eu*), дают основание сделать вывод, что получаемые при геохимическом исследовании широкого спектра тонкозернистых обломочных пород (от аргиллитов до тонко-мелкозернистых песчаников) данные об интегральном составе пород питающих провинций в достаточной степени сопоставимы.

Таким образом, все сказанное выше позволяет считать, что при расшифровке состава пород питающих провинций с помощью геохимических

характеристик тонкозернистых обломочных пород, к категории последних могут быть отнесены не только аргиллиты и богатые глинистым материалом мелкозернистые алевролиты, но и породы других гранулометрических классов. В рассмотренном нами примере — вплоть до тонко-мелкозернистых песчаников. Особенно наглядно сказанное видно при сравнении положения средних точек и свойственных им значений $\pm 1\sigma$ для выборок «все исследованные гранулометрические классы», «аргиллиты + алевролиты» и «тонко- и тонко-мелкозернистые песчаники» на диаграммах La/Sc — Th/Co и $(La/Yb)_N$ — Eu/Eu*.

Список литературы

- Алексеев В. П., Амон Э. О., Федоров Ю. Н., Глебов А. Ф., Залевский О. А., Качкин А. А., Лебедев А. И., Чернова О. С. Состав, строение и условия формирования коллекторов группы ВК восточной части Красноленинского нефтяного месторождения (Западная Сибирь). Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2011. 325 с.
- Федоров Ю. Н., Маслов А. В., Алексеев В. П., Ронкин Ю. Л., Гроцкова Т. П., Сметанин А. Б. Систематика редкоземельных и ряда элементов-примесей в породах юры Северо-Покачевского месторождения (Широтное Приобье) // Горные ведомости. 2007. № 12. С. 24–37.
- Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Рыбина Н. В. Геохимия фосфора. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. 512 с.
- Braccialli L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins // Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry/Eds Arribas J., Critelli S., Johnsson M. J. Geol. Soc. Am. Spec. Pap., 2007. No. 420. P. 73–93. DOI: 10.1130/2006.2420 (06)
- Cullers R. L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA // Chemical Geology, 2002. V. 191. P. 305–327. DOI: 10.1016/S0009–2541 (02) 00133-X
- Cullers R. L. The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, Colorado, U. S. A. // Chemical Geology, 1994a. V. 113. P. 327–343. https://doi.org/10.1016/0009–2541 (94) 90074–4
- Cullers R. L. The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones, and sandstones of Pennsylvanian-Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas, USA // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1994b. V. 58. P. 4955–4972. https://doi.org/10.1016/0016–7037 (94) 90224–0
- Cullers R. L. The controls on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U. S. A. // Chemical Geology, 1995. V. 123. P. 107–131. https://doi.org/10.1016/0009–2541 (95) 00050-V
- Cullers R. L., Basu A., Suttner L. J. Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, U. S. A. // Chemical Geology, 1988. V. 70. P. 335–348. https://doi.org/10.1016/0009–2541 (88) 90123–4
- Taylor S. R., McLennan S. M. The Continental Crust: Its composition and evolution. Oxford: Blackwell, 1985. 312 p.
- Alekseev V. P., Amon E. O., Fedorov Yu. N., Glebov A. F., Zalevsky O. A., Kachkin A. A., Lebedev A. I., Chernova O. S. (2011) Composition, structure and conditions of formation of reservoirs of the VK group in the eastern part of the Krasnoleninsky oil field (Western Siberia). Ekaterinburg: UrSMU Publishing House, 325 p. (In Russian).
- Fedorov Yu. N., Maslov A. V., Alekseev V. P., Ronkin Yu. L., Grotskova T. P., Smetanin A. B. (2007) Systematics of rare earth and a number of trace elements in Jurassic rocks of the North Pokachevskoe deposit (Latitudinal Ob region). *Mining Gazette*, (12), 24–37. (In Russian).
- Yudovich Ya. E., Ketris M. P., Rybina N. V. (2020) Geochemistry of phosphorus. Syktывkar: IG Komi Scientific Center Ural Branch RAS, 512 p. (In Russian).
- Braccialli L., Marroni M., Pandolfi L., Rocchi S. (2007) Geochemistry and petrography of Western Tethys Cretaceous sedimentary covers (Corsica and Northern Apennines): from source areas to configuration of margins. *Sedimentary Provenance and Petrogenesis: Perspectives from Petrography and Geochemistry*/(Eds Arribas J., Critelli S., Johnsson M. J. Geological Society of America, Special Paper, No. 420, 73–93. DOI: 10.1130/2006.2420 (06)
- Cullers R. L. (2002) Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chemical Geology*, 191, 305–327. DOI: 10.1016/S0009–2541 (02) 00133-X
- Cullers R. L. (1994a) The chemical signature of source rocks in size fractions of Holocene stream sediment derived from metamorphic rocks in the Wet Mountains region, Colorado, U. S. A. *Chemical Geology*, 113, 327–343. https://doi.org/10.1016/0009–2541 (94) 90074–4
- Cullers R. L. (1994b) The controls on the major and trace element variation of shales, siltstones, and sandstones of Pennsylvanian-Permian age from uplifted continental blocks in Colorado to platform sediment in Kansas, USA. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 4955–4972. https://doi.org/10.1016/0016–7037 (94) 90224–0
- Cullers R. L. (1995) The controls on the major- and trace-element evolution of shales, siltstones and sandstones of Ordovician to Tertiary age in the Wet Mountains region, Colorado, U. S. A. *Chemical Geology*, 123, 107–131. https://doi.org/10.1016/0009–2541 (95) 00050-V
- Cullers R. L., Basu A., Suttner L. J. (1988) Geochemical signature of provenance in sand-size material in soils

References

and stream sediments near the Tobacco Root batholith, Montana, U. S. A. *Chemical Geology*, 70, 335–348. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(88\)90123-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(88)90123-4)

Taylor S. R., McLennan S. M. (1985) *The Continental Crust: Its composition and evolution*. Oxford: Blackwell, 312 p.

Сведения об авторе:

Маслов Андрей Викторович, доктор геол.-минерал. наук, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН), Россия, г. Уфа. amas2004@mail.ru, ORCID 0000-0003-4902-5789.

About the author:

Maslov Andrei Victorovich, Dr. Sci. (Geol., Mineral.), Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences (IG UFRC RAS), Russia, Ufa. amas2004@mail.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.
The author declares no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 14.03.2025; одобрена после рецензирования 16.06.2025; принята к публикации 01.07.2025.

The article was submitted 14.03.2025; approved after reviewing 16.06.2025; accepted for publication 01.07.2025.