

Научная статья

УДК 551

DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-7

ТОНКОЗЕРНИСТЫЕ ОБЛОМОЧНЫЕ ПОРОДЫ ШЕЛЬФОВЫХ И ТУРБИДИТОВЫХ ОСАДОЧНЫХ АССОЦИАЦИЙ: ПОЛОЖЕНИЕ ТОЧЕК СОСТАВА НА РАЗЛИЧНЫХ ДИСКРИМИНАНТНЫХ ДИАГРАММАХ

А. В. Маслов

Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2, amas2004@mail.ru

На основе анализа обширных выборок тонкозернистых обломочных/глинистых пород шельфовых (~550 анализов) и турбидитовых (~220 анализов) осадочных последовательностей различного возраста, являющихся породами первого седиментационного цикла, показано, что принципиальные различия в генезисе/особенностях накопления названных осадочных образований не оказали существенного влияния на их геохимические характеристики.

Ключевые слова: глинистые породы, шельфовые (прибрежно- и мелководно-морские) и турбидитовые осадочные последовательности, дискриминантные диаграммы

Благодарности: автор искренне признателен всем, кто в разные годы и в разных странах обратился к анализу литогеохимических характеристик терригенных пород, данные о которых использованы при подготовке настоящего сообщения.

Original article

FINE-GRAINED CLASTIC ROCKS OF SHELF AND TURBIDITE SEDIMENTARY ASSOCIATIONS: POSITION OF DATA POINTS ON VARIOUS DISCRIMINANT DIAGRAMS

A. V. Maslov

Institute of Geology — Subdivision of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, 16/2, K. Marx St., Ufa, 450077, Russia, amas2004@mail.ru

Based on the investigation of fine-grained clastic/clayey rocks of shelf (~550 analyses) and turbidite (~220 analyses) sedimentary sequences of various ages, which are rocks of the first sedimentation cycle, it is shown that fundamental differences in the genesis/mode of accumulation of these sedimentary formations did not have a significant influence on their geochemical characteristics.

Keywords: clayey rocks, shelf (near-shore and shallow-marine) and turbidite sedimentary sequences, discriminant diagrams

Acknowledgements: The author is sincerely grateful to all those who, in different years and in different countries, turned to the analysis of lithogeochemical characteristics of terrigenous rocks, data about which were used in preparing this article.

Для цитирования: Маслов А. В. Тонкозернистые обломочные породы шельфовых и турбидитовых осадочных ассоциаций: положение точек состава на различных дискриминантных диаграммах // Геологический вестник. 2024. № 2. С. 81–89. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-7

For citation: Maslov A. V. (2024) Fine-grained clastic rocks of shelf and turbidite sedimentary associations: position of data points on various discriminant diagrams. *Geologicheskii vestnik*. 2024. No. 2. P. 81–89. DOI: 10.31084/2619-0087/2024-2-7

© А. В. Маслов, 2024

Введение

Многолетняя кропотливая работа с геохимическими данными по нескольким хорошо знакомым объектам, предполагающая использование примерно одних и тех же дискриминантных диаграмм, может привести исследователя к определенному самообману. Часто он уже заранее знает куда на диаграммах «лягут фигуративные точки», а следовательно — каким был состав петрофонда, а может быть даже и (о, ужас!) палеоклимат... Иногда он перестает принимать в расчет то, что в составе комплексов пород на палеоводосборах могли быть, скажем, известняки (последние же никак не отражаются на применяемых парных и тройных диаграммах!). Локализация точек состава песчаников и глинистых пород в определенных полях определенных диаграмм дает исследователю основание для вывода о преобладании/доминировании в областях питания магматических или метаморфических пород кислого состава. При этом то, что продукты размыва основных, а более того — ультраосновных, магматических пород, которые также могли слагать какие-то части палеоводосборов, при транспортировке «не выживают/исчезают» и, соответственно, не фиксируются в осадочных последовательностях (мы не берем тут во внимание такие весьма специфические объекты, как осадочных и вулканогенно-осадочных толщи архея), также ускользает от внимания специалиста при рутинной работе на привычных объектах.

Уже больше 20 лет я занимаюсь, в том числе геохимией тонкозернистых алюмосиликокластических пород (аргиллитов, глинистых сланцев и мелкозернистых глинистых алевролитов) рифея и венда Южного и Среднего Урала. Все эти годы, львиная доля точек состава аргиллитов и глинистых сланцев привычно концентрировалась на диаграмме La/Sc — Th/Co [Cullers, 2002] в области значений, характерных для продуктов размыва кислых магматических пород... концентрировалась и концентрировалась.... Но однажды все-таки приходит вопрос — это всегда так? Или это свойственно только продуктам размыва геохимически достаточно зрелого цоколя Восточно-Европейской платформы? И характерно для прибрежно- и мелководно-морских осадочных последовательностей, слагающих типовой разрез рифея и другие, подобные ему осадочных образования? Может быть для турбидитов, сложенных продуктами размыва иных породных ассоциаций, и накопившихся в принципиально иных (глубоководных, страшных и темных) обстановках, этот не так?

Как найти ответ на данный вопрос? Можно сделать это предельно скрупулезно сопоставляя различные средневзвешенные числа для тех или иных территорий, принимая во внимание возраст объектов, эволюцию со временем состава пород на палеоводосборах и проч. Но у нас таких данных под руками нет, как нет их, скорее всего, у многих... Остается самый простой («на глазок»/аналоговый ((((... покривятся знатоки современной цифры) способ — собрать по возможности много много аналитики для прибрежных и глубоководных толщ и посмотреть, как распределяются фигуративные точки на разных, широко используемых многими авторами, диаграммах.

Именно этот способ мы и используем далее.

Фактический материал

Характеристика глинистых пород (остановимся здесь на данных именно для них) прибрежно- и мелководно-морских осадочных последовательностей разного возраста основывается на аналитических данных, приведенных в публикациях [Маслов, 2012; Маслов, Мельничук, 2023; Маслов, Подковыров, 2023; Маслов, Подковыров, 2024], для отложений венда запада Восточно-Европейской платформы (от Подольского Приднестровья до окрестностей г. Санкт-Петербург), рифейских толщ Башкирского мегантиклинория Южного Урала и Камско-Бельского авлакогена востока Восточно-Европейской платформы, а также разнообразных неопротерозойско-фанерозойских осадочных последовательностей. Всего эта выборка включает почти 550 индивидуальных анализов.

Для анализа глубоководных тонкозернистых обломочных пород широкого возрастного диапазона использованы данные о литогеохимических особенностях глинистых пород, слагающих турбидитовые/флишевые толщи пассивных и активных континентальных окраин различного возраста [McLennan et al., 1990], поздненеопротерозойской формации Puncoviscana, СЗ Аргентина [Do Campo, Guevara, 2005], триасового флиша бассейна Songpan–Ganzi, западный Китай [She et al., 2006], раннепалеозойской флишевой последовательности северо-западной части Китайского Алтая [Long et al., 2012], турбидитовых толщ эдиакария-раннего кембрия, формация Puncoviscana, Восточные Сьерра-Пампа, Северо-Западная Аргентина [Piñán-Llamas, Escamilla-Casas, 2013], формации Upper Disang (ранний кайнозой), шт. Нагаленд, Индия [Imchen et al., 2014], турбидитовых бассейнов

раннего палеозоя Горного Алтая [Крук, 2015], Бельской впадины Предуральского предгорного прогиба, ассельский, сакмарский, артинский ярусы [Литогеохимия. . ., 2015], ниже-среднемиоценового флиша бассейна Zoumi, Марокко [El Mourabet et al., 2018], формаций Semanggol и Semantan, триас, п-в Малайзия [Baioumy et al., 2020], формации Belaga серии Rajang (поздний мел-поздний эоцен), Центральный Саравак, Северо-Западный Калимантан [Ahmed et al., 2020] и турбидитовой последовательности нижнего мела (серия Laiyang) о-ва Lingshan [Ma et al., 2022]. Выбор указанных объектов не был связан с какими-либо определенными обстоятельствами. В основном это работы, которые можно найти при самом грубом/первом поиске в Интернете, а также публикации, выбранные из приведенных в них списков литературы. «Турбидитовая» выборка включает около 220 индивидуальных анализов (это и турбидиты различных субобстановок вулканических дуг, и турбидиты пассивных континентальных окраин и турбидиты предгорных прогибов). Никакой предварительной селекции аналитики по содержанию оксида кремния не проводилось. Из англоязычных работ выбраны данные для пород, имевших названия «shale», «black shale», «pelites», «mudrock», «slate», «muds», «mudstones» и «metapelites». Приведенные в оригинальных публикациях таблицы с аналитическими данными переведены в джи-пег формат, распознаны с помощью программы ABBYY FineReader и сведены в единую эксель-таблицу. Несмотря на предельную простоту перечисленных операций, весь процесс занял порядка 4х дней, неспешной, правда, работы.

В использовании литературного аналитического материала есть один несомненный плюс. Это аналитика, полученная в разные годы в разных лабораториях. Это аналитика, прошедшая как через собственно руки исследователей, ее опубликовавших, так и успешно миновавшая взгляд рецензентов. Ее можно считать достаточно надежной в отличие от цифр, получаемых из рук аналитиков, заведомо знающих, что с этими цифрами далеко не все в порядке.

Итак, посмотрим, что получилось в итоге.

Обсуждение фактического материала

Глинистые породы, слагающие прибрежно- и мелководно-морские (далее для простоты написания — шельфовые) последовательности разного возраста, аналитические данные для которых

мы используем, на диаграмме $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ — $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$ [Herron, 1988] в основном сосредоточены в классификационных полях сланцев и Fe-сланцев, а также вакк (в данном случае можно считать, что это мелкозернистые глинистые алевролиты). Точки состава глинистых пород турбидитовых последовательностей на данном графике за редким исключением присутствуют в этих же полях (рис. 1). Таким образом, принципиальной разницы в составе глинистых пород двух рассматриваемых нами аналитических выборок нет.

Исходя из свойственных глинистым породам прибрежно- и мелководно-морских осадочных последовательностей, с одной стороны, и турбидитовых толщ, с другой, значений Zr/Sc и Th/Sc можно сделать вывод, что и те и другие сложены преимущественно породами первого седиментационного цикла, т. е. их литогеохимические характеристики контролируются в основном составом пород-источников тонкой алюмосиликокластики (рис. 2). Следовательно, генезис осадочных толщ (принадлежность их к шельфовым в широком смысле этого термина и глубоководным турбидитовым обстановкам), на литогеохимические характеристики рассматриваемых нами глинистых пород не влияет.

На диаграмме La/Sc — Th/Co [Cullers, 2002] фигуративные точки глинистых пород и шельфовых и турбидитовых осадочных последовательностей также расположены примерно одинаково (рис. 3). Они присутствуют как в классификационном поле данной диаграммы «Область значений, характерных для продуктов размыва кислых магматических пород», так и расположены в области заметно меньших величин Th/Co, сопоставимых с теми, что характерны для продуктов размыва основных магматических пород. Но при этом и тем и другим присущи значения $\text{La/Sc} > 0.50$, что «уводит» точки состава глинистых пород с $\text{Th/Co} < 0.30$ из классического поля основной алюмосиликокластики, описываемого значениями $0.01 < \text{Th/Co} < 0.08$ и $0.01 < \text{La/Sc} < 0.25$. Подавляющее большинство фигуративных точек обеих выборок расположено на диаграмме La/Sc — Th/Co по сути дела на линии смешения между средними точками базальтов позднего протерозоя и гранитов протерозоя (все по [Condie, 1993]). Таким образом, даже «на глазок» достаточно очевидно, что и на данном графике принципиальной разницы между геохимическими характеристиками глинистых пород обеих сопоставляемых нами аналитических выборок, нет.

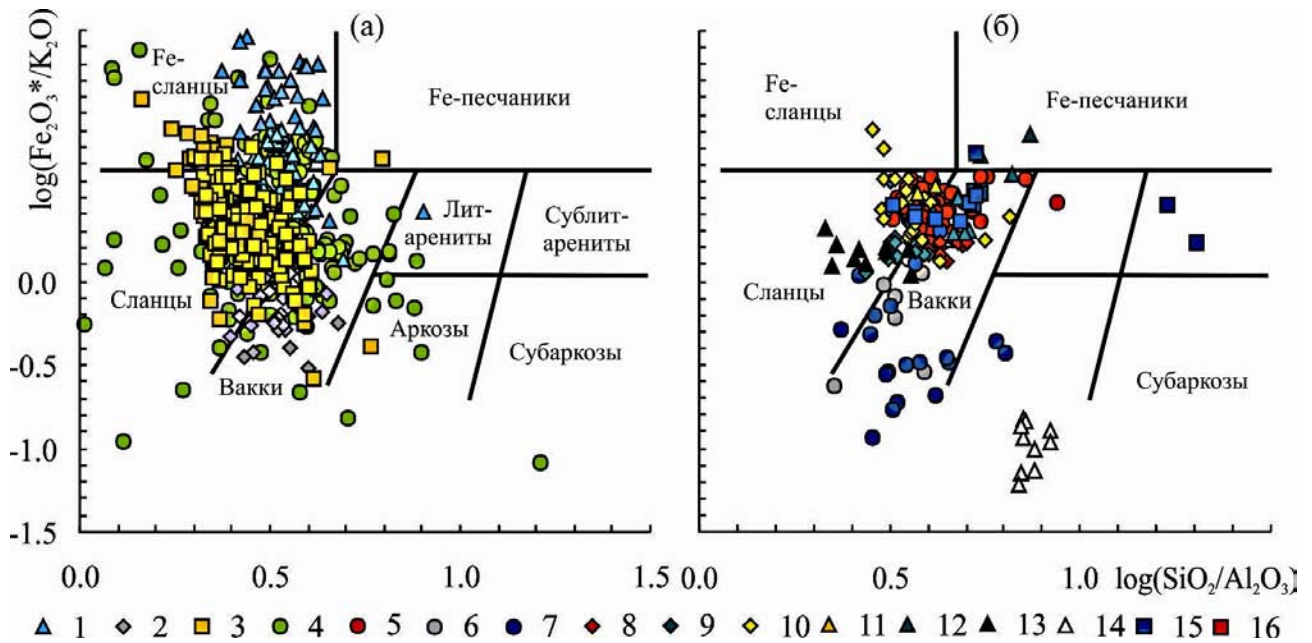


Рис. 1. Положение фигуративных точек глинистых пород шельфовых (а) и турбидитовых (б) ассоциаций на диаграмме $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$

Условные обозначения: 1 – рифей Южного Урала [Маслов, Подковыров, 2023]; 2 – рифей Камско-Бельского авлакогена [Маслов, 2012]; 3 – венд запада Восточно-Европейской платформы [Маслов, Подковыров, 2024]; 4 – неопротерозойско-фанерозойские осадочные последовательности мира [Маслов, Мельничук, 2023]; 5 – нижней мел (серия Laiyang) о-ва Lingshan [Ma et al., 2022]; 6 – поздний мел-поздний эоцен, Северо-Западный Калимантан [Ahmed et al., 2020]; 7 – триас, п-в Малайзия [Baioumy et al., 2020]; 8 – поздний неопротерозой, формация Puncoviscana, Аргентина [Do Campo, Guevara, 2005]; 9 – нижний средней миоцен, бассейн Zoumi, Марокко [El Mourabet et al., 2018]; 10 – турбидитовые толщи пассивных и активных континентальных окраин различного возраста [McLennan et al., 1990]; 11 – ранний палеозой Горного Алтая [Крук, 2015]; 12 – триас, бассейн Songpan – Ganzi, западный Китай [She et al., 2006]; 13 – эдиакарий-ранний кембрий, формация Puncoviscana, Аргентина [Piñán-Llamas, Escamilla-Casas, 2013]; 14 – формация Upper Disang, ранний кайнозой, Индия [Imchen et al., 2014]; 15 – ранний палеозой, Китайский Алтай [Long et al., 2012]; 16 – ассельский, сакмарский и артинский ярусы, Бельская впадина, Предуральский предгорный прогиб [Литогеохимия..., 2015].

Fig. 1. Position of data points of clayey rocks of shelf (a) and turbidite (b) associations on the $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3) - \log(\text{Fe}_2\text{O}_3^*/\text{K}_2\text{O})$ diagram

Legend: 1 – Riphean, Southern Urals [Maslov, Podkovyrov, 2023]; 2 – Riphean, Kama-Belsk aulacogen [Maslov, 2012]; 3 – Vendian, western part of the East European Platform [Maslov, Podkovyrov, 2024]; 4 – Neoproterozoic-Phanerozoic sedimentary sequences [Maslov, Melnichuk, 2023]; 5 – Lower Cretaceous (Laiyang series), Lingshan Island [Ma et al., 2022]; 6 – Late Cretaceous-Late Eocene, North-West Kalimantan [Ahmed et al., 2020]; 7 – Triassic, Malaysia Peninsula [Baioumy et al., 2020]; 8 – Late Neoproterozoic, Puncoviscana formation, Argentina [Do Campo, Guevara, 2005]; 9 – Lower-Middle Miocene, Zoumi Basin, Morocco [El Mourabet et al., 2018]; 10 – turbidite deposits of passive and active continental margins of various ages [McLennan et al., 1990]; 11 – Early Paleozoic, Altai Mountains [Kruk, 2015]; 12 – Triassic, Songpan – Ganzi basin, western China [She et al., 2006]; 13 – Ediacaran-Early Cambrian, Puncoviscana Formation, Argentina [Piñán-Llamas, Escamilla-Casas, 2013]; 14 – Upper Disang Formation, Early Cenozoic, India [Imchen et al., 2014]; 15 – Early Paleozoic, Chinese Altai [Long et al., 2012]; 16 – Asselian, Sakmarian and Artinskian stages, Belsk depression, Preauralian foredeep [Lithogeochemistry..., 2015].

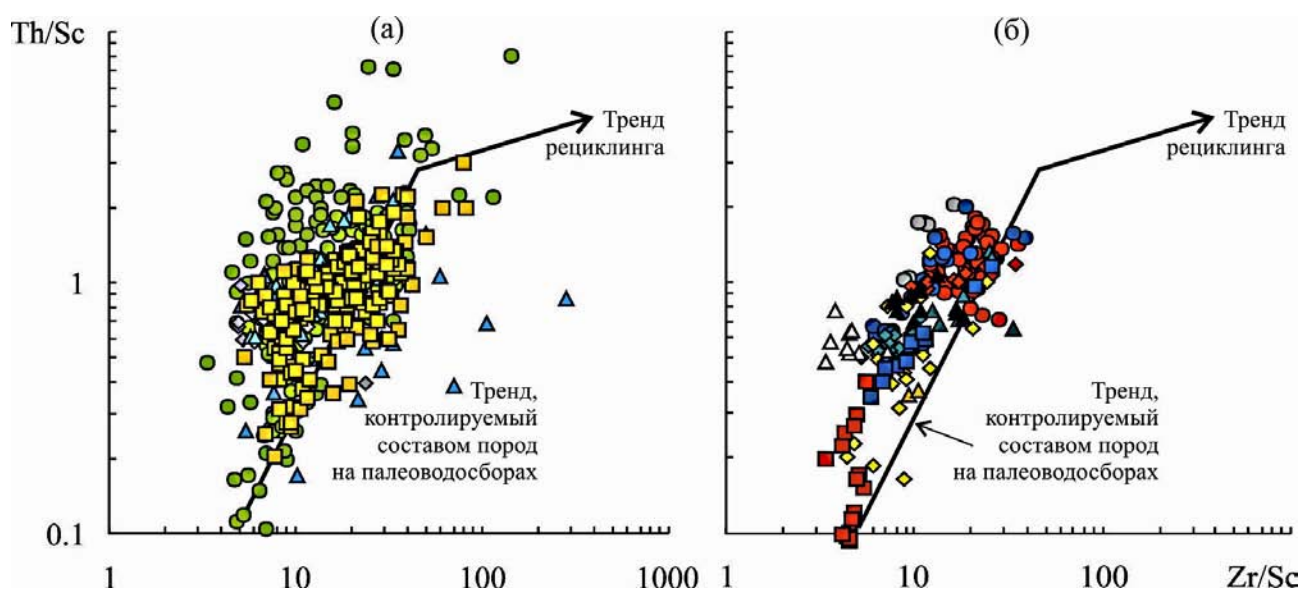


Рис. 2. Положение точек состава глинистых пород шельфовых (а) и турбидитовых (б) ассоциаций на диаграмме Zr/Sc — Th/Sc [McLennan et al., 1993]

Условные обозначения см. рис. 1.

Fig. 2. Position of data points of clayey rocks of shelf (a) and turbidite (б) associations on the Zr/Sc — Th/Sc diagram [McLennan et al., 1993]

Legend see Fig. 1.

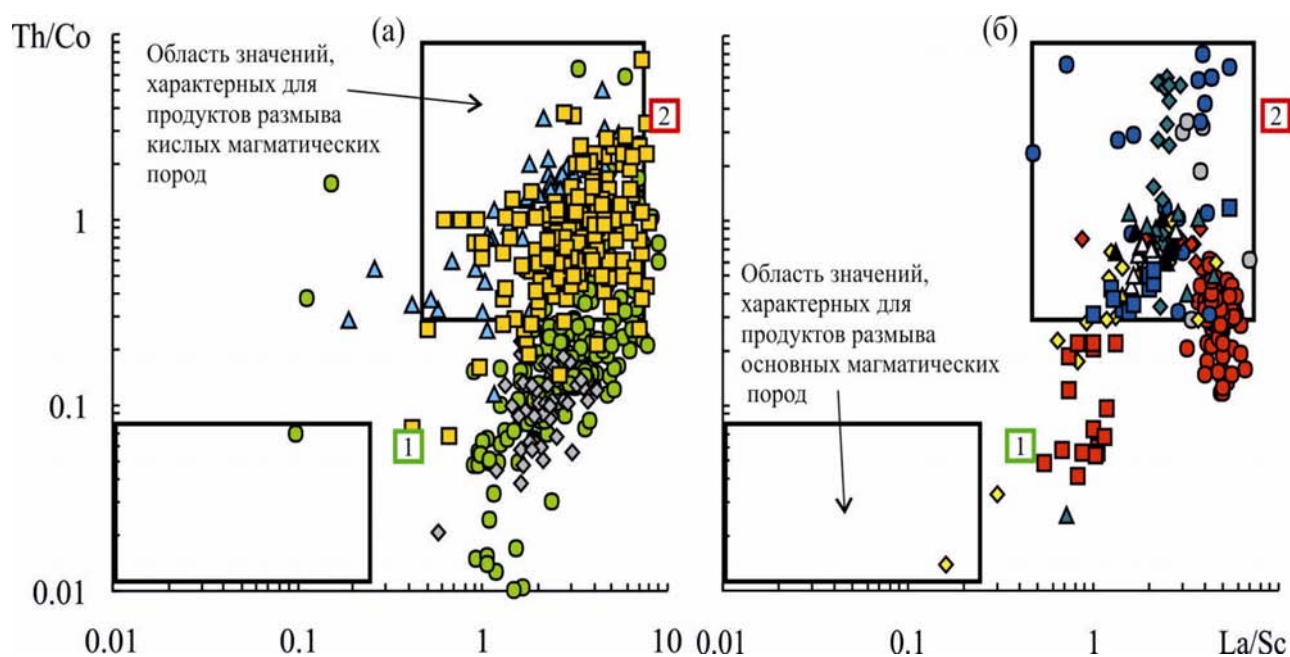


Рис. 3. Положение точек состава глинистых пород шельфовых (а) и турбидитовых (б) ассоциаций на диаграмме La/Sc — Th/Co

Условные обозначения: Зеленый квадратик с цифрой 1 внутри – средняя точка базальтов позднего протерозоя, красный квадратик с цифрой 2 внутри – средняя точка гранитоидов протерозоя, все по [Condie, 1993]. Остальные условные обозначения см. рис. 1.

Fig. 3. Position of data points of clayey rocks of shelf (a) and turbidite (б) associations on the La/Sc — Th/Co diagram

Legend: The green square with the number 1 inside is the average point of the Late Proterozoic basalts, the red square with the number 2 inside is the average point of the Proterozoic granitoids, all according to [Condie, 1993]. Legend see Fig. 1.

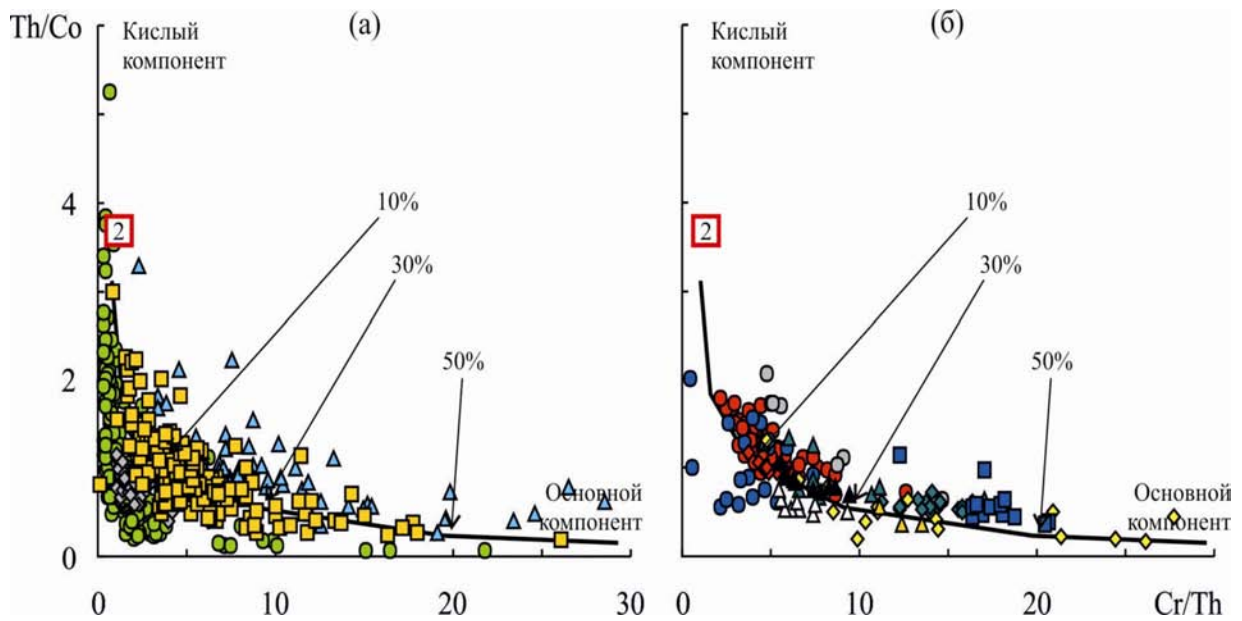


Рис. 4. Распределение фигуративных точек глинистых пород шельфовых (а) и турбидитовых (б) ассоциаций на диаграмме Cr/Th — Th/Co

Условные обозначения см. рис. 1 и 3.

Fig. 4. Distribution of data points of clayey rocks of shelf (a) and turbidite (б) associations on the Cr/Th — Th/Co diagram

Legend see fig. 1 and 3.

Нет ее и на диаграмме Cr/Th — Th/Co [Condie, Wronkiewicz, 1990; Bracciali et al., 2007] (рис. 4). Подавляющее большинство точек состава глинистых пород мелководных шельфовых осадочных последовательностей расположено на рассматриваемой диаграмме в области составов с содержанием основного компонента не более 40%. При этом часть образцов глинистых пород прибрежно- и мелководно-морских обстановок (те, для которых $Th/Co > 2.0$), по-видимому, вообще сложена только тонкой кислой алюмосиликокластикой. Среди глинистых пород турбидитовых последовательностей такие различия отсутствуют. В этом, пожалуй, и состоят все отличия рассматриваемых нами аналитических выборок.

Заключение

Пытаясь ответить на достаточно простой вопрос о характере распределения на диаграмме La/Sc — Th/Co точек состава тонкозернистых обломочных/глинистых пород шельфовых и турбидитовых, т. е., с одной стороны, прибрежных/проксимальных по отношению к источникам сноса, а, с другой стороны, глубоководных, и, вероятно, дистальных по отношению к источникам тонкой алюмосиликокластики

ассоциаций, мы, в общем-то, предполагали (т. к. генезис в широком смысле названных ассоциаций разных — первые представляют результат размыва преимущественно платформенных комплексов, вторые — периостроводужных ассоциаций, а также комплексов пород пассивных и активных континентальных окраин) увидеть заметные различия в распределении фигуративных точек тех и других на названном графике. Однако, этого не случилось. Сходство в распределении фигуративных точек глинистых пород шельфовых и турбидитовых ассоциаций наблюдается и на ряде других, рассмотренных нами графиков. В какой-то мере оно может быть обусловлено тем обстоятельством, что среди турбитовых толщ, аналитика для глинистых пород которых использована при сравнении, присутствуют не только периостроводужные последовательности. Но в целом представляется, что указанное сходство контролируется некими более общими причинами, одна из которых — сходство минерального и химического состава исследованных глинистых пород, определяемое для них, как для пород первого седиментационного цикла, составом пород питающих провинций. Последние же с течением времени приобретают, как известно, все более сходные черты [Ронов, 1993].

Список литературы

- Крук Н. Н. Континентальная кора Горного Алтая: этапы формирования и эволюции, индикаторная роль гранитоидов // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 8. С. 1403–1423. DOI: 10.15372/gig20150801
- Маслов А. В. Литогеохимия терригенных пород верхнего докембрия Волго-Уральской области. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 248 с.
- Маслов А. В., Мельничук О. Ю. Существуют ли ограничения при реконструкции категорий рек, связанные с появлением высшей растительности? // Литология и полезные ископаемые. 2023. № 1. С. 69–95.
- Маслов А. В., Мизенс Г. А., Бабида Л. В., Крупенин М. Т., Вовна Г. М., Киселёв В. И., Ронкин Ю. Л. Литогеохимия терригенных ассоциаций южных впадин Предуралья / Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2015. 308 с.
- Маслов А. В., Подковыров В. Н. Венд и ранний кембрий юго-запада, запада и северо-запада Восточно-Европейской платформы: категории речных систем, формировавших осадочные последовательности // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2024. В печати.
- Маслов А. В., Подковыров В. Н. Интенсивность химического выветривания в позднем докембрии: новые данные по стратотипу рифея (Южный Урал) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2023. Т. 31. № 2. С. 109–124.
- Ронов А. Б. Стратисфера, или осадочная оболочка Земли (количественное исследование). М.: Наука, 1993. 144 с.
- Ahmed N., Siddiqui N. A., Ramasamy N., Ramkumar M., Jamil M., Usman M., Sajid Z., Bin Abd Rahman A. H. Geochemistry of Eocene Bawang Member turbidites of the Belaga Formation, Borneo: Implications for provenance, palaeoweathering, and tectonic setting // Geological Journal. 2020. P. 2477–2499. <https://doi.org/10.1002/gj.4062>
- Baioumy H., Lehmann B., Ahmed Mohamed Ahmed Salim, Khaled Al-Kahtany, Abdelbaset El-Sorogy Geochemical characteristics of black shales from Triassic turbidites, Peninsular Malaysia: Implications for their origin and tectonic setting // Marine and Petroleum Geology. 2020. V. 113. 104137. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.104137>
- 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 / Arribas J., Critelli S., Johnsson M. J. (Eds). Geol. Soc. Am. Spec. Pap. 2007. Vol. 420. P. 73–93. DOI: 10.1130/2006.2420 (06)
- Condie K. C. Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales // Chemical Geology. 1993. V. 104. P. 1–37. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)
- Condie K. C., Wronkiewicz D. A. The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution // Earth and Planetary Science Letters. 1990. V. 97. P. 256–267. DOI: 10.1016/0012-821X(90)90046-Z
- 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
- Do Campo M., Guevara S. R. Provenance analysis and tectonic setting of late Neoproterozoic metasedimentary successions in NW Argentina // Journal of South American Earth Sciences. 2005. V. 19. P. 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.01.003>
- El Mourabet M., Barakat A., Zaghloul M. N., El Baghdadi M. Geochemistry of the Miocene Zoumi flysch thrust-top basin (External Rif, Morocco): new constraints on source area weathering, recycling processes, and paleoclimate conditions // Arabian Journal of Geosciences. 2018. V. 11. 126. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3465-y>
- Herron M. M. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data // Journal of Sedimentary Research. 1988. V. 58. P. 820–829. <https://doi.org/10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Imchen W., Thong G. T., Pongen T. Provenance, tectonic setting and age of the sediments of the Upper Disang Formation in the Phek District, Nagaland // Journal of Asian Earth Sciences. 2014. V. 88. P. 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2014.02.027>
- Long X., Yuan C., Sun M., Xiao W., Wang Y., Cai K., Jiang Y. Geochemistry and Nd isotopic composition of the Early Paleozoic flysch sequence in the Chinese Altai, Central Asia: Evidence for a northward-derived mafic source and insight into Nd model ages in accretionary orogen // Gondwana Research. 2012. V. 22. P. 554–566. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.04.009>
- Ma Q., Zhou Y., Mu H., Zhou T., Zhao H., Yin X., Liu Y. Geochemistry of the Laiyang Group from outcrops and Lingke-1 core on Lingshan Island Shandong Province, Eastern China: Implications for provenance, tectonic setting, and paleoenvironment // Geological Magazine. 2022. V. 159. P. 37–54. DOI: 10.1017/S0016756821000819
- McLennan S. M., Hemming S. R., McDaniel D. K., Hanson G. N. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics // Processes controlling the composition of clastic sediments / Johnsson M. J., Basu A. (Eds). Geological Society of America. Special Paper. 1993. Vol. 284. P. 21–40. DOI: 10.1130/SPE284-p21
- McLennan S. M., Taylor S. R., McCulloch M. T., Maynard J. B. Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate tectonic associations // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1990. V. 54. P. 2015–2050. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90269-Q](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90269-Q)
- Piñán-Llamas A., Escamilla-Casas J. C. Provenance and tectonic setting of Neoproterozoic to Early Cambrian metasedimentary rocks from the Cordillera Oriental and Eastern Sierras Pampeanas, NW Argentina // Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. 2013. V. 65. P. 373–395. <https://www.jstor.org/stable/24921233>
- She Z., Ma C., Mason R., Li J., Wang G., Lei Y. Provenance of the Triassic Songpan — Ganzi flysch, west China // Chemical Geology. 2006. V. 231. P. 159–175. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.01.001>

References

- Kruk N. N. (2015) Continental crust of the Altai Mountains: stages of formation and evolution, indicator role of granitoids. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 56, 1403–1423. (In Russian).
- Maslov A. V. (2012) *Litogeokhimiya terrigennykh porod verkhnego dokembriya Volgo-Ural'skoi oblasti* [Lithochemistry of terrigenous rocks of the Upper Precambrian of the Volga-Ural region]. Ekaterinburg: RIO Ural Branch of RAS, 248 p. (In Russian).
- Maslov A. V., Melnichuk O. Yu. (2023) Sushchestvuyut li ogranicheniya pri rekonstruktsii kategorii rek, svyazannye s poyavleniem vysshei rastitel'nosti? [Are there any restrictions in the reconstruction of river categories associated with the appearance of higher vegetation?] *Lithology and mineral resources*, (1), 69–95. (In Russian).
- Maslov A. V., Mizens G. A., Badida L. V., Krupenin M. T., Vovna G. M., Kiselev V. I., Ronkin Yu. L. *Litogeokhimiya terrigennykh assotsiatsii yuzhnykh vpadin Predural'skogo progiba* [Lithochemistry of terrigenous associations of the southern depressions of the Cis-Ural trough]. Ekaterinburg: IGG UrO RAN, 2015. 308 p. (In Russian).
- Maslov A. V., Podkovyrov V. N. (2024) Vend i rannii kembrii yugo-zapada, zapada i severo-zapada Vostochno-Evropeiskoi platformy: kategorii rechnykh sistem, formirovavshikh osadochnye posledovatel'nosti [Vendian and early Cambrian of the southwest, west and north-west of the East European Platform: categories of river systems that formed sedimentary sequences]. *Stratigraphy. Geological correlation*, In press. (In Russian).
- Maslov A. V., Podkovyrov V. N. (2023) Intensivnost' khimicheskogo vyvetrivanija v pozdnem dokembrii: novye dannye po stratotipu rifeya (Yuzhnyi Ural) [Intensity of chemical weathering in the Late Precambrian: new data on the Riphean stratotype (Southern Urals)]. *Stratigraphy. Geological correlation*, 31 (2), 109–124. (In Russian).
- Ronov A. B. (1993) *Stratisfera, ili osadochnaya obo-lochka Zemli (kolichestvennoe issledovanie)* [Stratisphere, or sedimentary shell of the Earth (quantitative research)]. Moscow: Nauka Publ., 144 p. (In Russian).
- Ahmed N., Siddiqui N. A., Ramasamy N., Ramkumar M., Jamil M., Usman M., Sajid Z., Bin Abd Rahman A. H. (2020) Geochemistry of Eocene Bawang Member turbidites of the Belaga Formation, Borneo: Implications for provenance, palaeoweathering, and tectonic setting. *Geological Journal*, 56 (5), 2477–2499. <https://doi.org/10.1002/gj.4062>
- Baioumy H., Lehmann B., Ahmed Mohamed Ahmed Salim, Khaled Al-Kahtany, Abdelbaset El-Sorogy (2020) Geochemical characteristics of black shales from Triassic turbidites, Peninsular Malaysia: Implications for their origin and tectonic setting. *Marine and Petroleum Geology*, 113, 104137. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2019.104137>
- Bracciali 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*. Arribas J., Critelli S., Johnsson M. J. (Eds). *Geological Society of America. Special Paper*, 420, 73–93. DOI: 10.1130/2006.2420 (06)
- Condie K. C. (1993) Chemical composition and evolution of the upper continental crust: contrasting results from surface samples and shales. *Chemical Geology*, 104, 1–37. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(93\)90140-E](https://doi.org/10.1016/0009-2541(93)90140-E)
- Condie K. C., Wronkiewicz D. A. (1990) The Cr/Th ratio in Precambrian pelites from the Kaapvaal Craton as an index of craton evolution. *Earth and Planetary Science Letters*, 97, 256–267. DOI: 10.1016/0012-821X(90)90046-Z
- 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 (4), 305–327. DOI: 10.1016/S0009-2541(02)00133-X
- Do Campo M., Guevara S. R. (2005) Provenance analysis and tectonic setting of late Neoproterozoic metasedimentary successions in NW Argentina. *Journal of South American Earth Sciences*, 19, 143–153. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2005.01.003>
- El Mourabet M., Barakat A., Zaghloul M. N., El Baghdadi M. (2018) Geochemistry of the Miocene Zoumi flysch thrust-top basin (External Rif, Morocco): new constraints on source area weathering, recycling processes, and paleoclimate conditions. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 126. <https://doi.org/10.1007/s12517-018-3465-y>
- Herron M. M. (1988) Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Research*, 58, 820–829. <https://doi.org/10.1306/212F8E77-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Imchen W., Thong G. T., Pongen T. (2014) Provenance, tectonic setting and age of the sediments of the Upper Disang Formation in the Phek District, Nagaland. *Journal of Asian Earth Sciences*, 88, 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2014.02.027>
- Long X., Yuan C., Sun M., Xiao W., Wang Y., Cai K., Jiang Y. (2012) Geochemistry and Nd isotopic composition of the Early Paleozoic flysch sequence in the Chinese Altai, Central Asia: Evidence for a northward-derived mafic source and insight into Nd model ages in accretionary orogen. *Gondwana Research*, 22, 554–566. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2011.04.009>
- Ma Q., Zhou Y., Mu H., Zhou T., Zhao H., Yin X., Liu Y. (2022) Geochemistry of the Laiyang Group from outcrops and Lingke-1 core on Lingshan Island Shandong Province, Eastern China: Implications for provenance, tectonic setting, and paleoenvironment. *Geological Magazine*, 159, 37–54. DOI: 10.1017/S0016756821000819
- McLennan S. M., Hemming S. R., McDaniel D. K., Hanson G. N. (1993) Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. *Processes controlling the composition of clastic sediments*. Johnsson M. J., Basu A. (Eds). *Geological Society of America. Special Paper*, 284, 21–40. DOI: 10.1130/SPE284-p21
- McLennan S. M., Taylor S. R., McCulloch M. T., Maynard J. B. (1990) Geochemical and Nd-Sr isotopic composition of deep-sea turbidites: Crustal evolution and plate

tectonic associations. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 54, 2015–2050. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(90\)90269-Q](https://doi.org/10.1016/0016-7037(90)90269-Q)

Piñán-Llamas A., Escamilla-Casas J.C. (2013) Provenance and tectonic setting of Neoproterozoic to Early Cambrian metasedimentary rocks from the Cordillera Oriental and Eastern Sierras Pampeanas, NW Argentina. *Boletín de la*

Sociedad Geologica Mexicana, 65, 373–395. <https://www.jstor.org/stable/24921233>

She Z., Ma C., Mason R., Li J., Wang G., Lei Y. (2006) Provenance of the Triassic Songpan — Ganzi flysch, west China. *Chemical Geology*, 231, 159–175. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2006.01.001>

Сведения об авторе:

Маслов Андрей Викторович, доктор геол.-мин. 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 11.04.2024; одобрена после рецензирования 12.04.2024; принята к публикации 22.07.2024

The article was submitted 11.04.2024; approved after reviewing 12.04.2024; accepted for publication 22.07.2024