### Geology, Prospecting and Exploration of Oil and Gas Fields

in micropaleontological and lithological studies]. *Nefegazovaya geologiya. Teoriya i praktika* [Oil and Gas Geology. Theory and Practice], 2012, vol. 7, no. 2. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/2/21\_2012.pdf.

- 4. Kostin D. K., Kuznetsov Ye. G., Vilesov A. P. Opyt OOO «TNNTs» po izucheniyu kerna s pomoshchyu rentgenovskogo kompyuternogo tomografa [Experience of Tyumen Oil Scientific Centre in core sample studies by X-ray computerized tomograph]. *Nauchno-tekhnicheskiy vestnik OAO «NK "Rosneft"*» [Scientific and Technical Bulletin of OJSC «Oil Company "Rosneft"»], 2014, no. 3, pp. 18–22.
- 5. Ivanov M. K., Burlin Yu. K., Kalmykov G. A., Karnyushina Ye. Ye., Korobova N. I. *Petrofizicheskie metody issledovaniya kernovogo materiala* [Petrophysical research methods of core material: training manual], Moscow, Moscow University Publ. House, 2008, pp. 91–97.
- 6. Savitskiy Ya. V. Sovremennye vozmozhnosti metoda rentgenovskoy tomografii pri issledovanii kerna neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy [Current features of x-ray tomography in examination of core samples from oil and gas deposits]. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatelskogo politekhnicheskogo universiteta. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo* [Bulletin of PNRPU. Geology. Oil & Gas Engineering & Mining], 2015, no. 15, pp. 28–37.
- 7. Khozyainov M. S., Vainberg E. I. Vychislitelnaya mikrotomografiya novaya informatsionnaya tekhnologiya nerazrushayushchego issledovaniya vnutrenney mikrostruktury obraztsov geologicheskikh porod [Computerized microtomography as a novel information technology of non-destructive inspection of rock sample's internal microstructure]. *Geoinformatika* [Geoinformatics], 1992, no. 1, pp. 42–50.
- 8. Shtyrlyaeva A. A., Zhuravlev A. V. Uvelichenie razreshayushchey sposobnosti rentgenovskoy mikrotomografii [Improving x-ray microtomography resolution]. *Vestnik IG Komi NTs UrO RAN* [Bulletin of the IG Komi SC UB RAS], 2016, no. 6, p. 24–27.
- 9. Shtyrlyaeva A. A., Zhuravlev A. V., Gerasimova A. I. Perspektivy i problemy ispolzovaniya kompyuternoy mikrotomografii dlya izucheniya obraztsov kerna [Prospects and problems of computer microtomography using for core samples studies]. *Nefegazovaya geologiya. Teoriya i praktika* [Oil and Gas Geology. Theory and Practice], 2016, vol. 11, no. 1. Available at: http://www.ngtp.ru/rub/12/8 2016.pdf.
- 10. Desrues J., Viggiani G., Bésuelle P. Advances in X-ray Tomography for Geomaterials, Korolev, John Wiley & Sons Publ., 2010, pp. 80–87.
- 11. Hounsfield G. N. Computerized transverse axia scanning (tomography). Part 1: Description o system. *British Journal of Radiology*, 1973, no. 46, pp. 1016–1022.
- 12. Kenter J. A. M. Applications of computerized tomography in sedimentology. *Marine Geotechnology*, 1989, vol. 8, pp. 201–211.
- 13. Otani J., Obara Y. X-ray CT for Geomaterials: Soils, Concrete, Rocks, CRC Press Publ., 2004, pp. 152-158
- 14. Vinegar H. J. X-ray CT and NMR imaging of rocks. *Journal of Petroleum Technology*, 1986, vol. 38, pp. 257–259.
- 15. Wellington S. L., Vinegar H. J. X-ray computerized tomography. *Journal of Petroleum Technology*, 1987, no. 39, pp. 885–898.

## НИЖНЕДЕВОНСКИЕ ВУЛКАНОКЛАСТИЧЕСКИЕ ОТЛОЖЕНИЯ ЗАПАДНО-МАГНИТОГОРСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА

Зайнуллин Руслан Ишмуратович, аспирант, Институт геологии Уфимского научного центра РАН, 450077, Российская Федерация, г. Уфа, ул. Карла Маркса 16/2, e-mail: zri-bgu@mail.ru

Изучено строение, минералого-петрографический и химический состав вулканокластических отложений Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала. Они сложены преимущественно обломками вулканитов основного и среднего состава, кристаллами плагиоклаза и пироксена. Вулканокластические отложения по химическому составу являются известково-щелочными, высоконатриевыми, низкотитанистыми, умеренно- и высокоглиноземистыми. Источником вещества служила океаническая островная дуга. Основными агентами транспортировки и накопления материала, являлись обломочные и турбидные потоки разной плотности. Накопление обломочного материала происходило на склонах и подножиях вулканических центров островной дуги и на некотором удалении от них в более глубоководной части бассейна.

**Ключевые слова:** нижний девон, вулканокластические отложения, тефроиды, турбидиты, дебриты, островная дуга, геохимия, седиментация, Магнитогорская мегазона, Южный Урал

# THE VOLCANOCLASTIC SEDIMENTS OF THE LOWER DEVONIAN OF THE WEST-MAGNITOGORSK ZONE SOUTHERN URALS

Zaynullin Ruslan I., post-graduate student, Institute of Geology of the Ufa Science Center RAS, 16/24 Karl Marks st., Ufa, 50077, Russian Federation, e-mail: zri-bgu@mail.ru

The structure, mineralogical-petrographic and chemical composition of volcaniclastic sediments of the West-Magnitogorsk zone of the Southern Urals are studied. They are composed primarily of fragments of volcanic rocks of basic and intermediate composition, crystals of plagioclase and pyroxene. Vulcanoclastic sediments are calc-alkaline, high-sodium, low-titanium, temperate and high-alumina. The source of the components served as oceanic island arc. Sedimentation of clastic material was carried out on the slopes and at the bases of the volcanic centers in island arcs and at some distance from them in the deeper part of the basin.

**Keywords:** Lower Devonian, volcaniclastic sediments, tephroids, turbidites, debris, island arc, geochemistry, sedimentation, Magnitogorsk megazone, Southern Ural

Магнитогорская мегазона Южного Урала представляет собой уникальный по сохранности фрагмент островной дуги, активно развивавшейся в девонское время (Вулканизм, 1992; Пучков, 2000 и др.). Большинство исследователей начало ее формирования связывают с эмсским вулканизмом (мостостроевский комплекс, баймак-бурибаевская свита и их аналоги). Однако появляются новые данные, указывающие на наличие островодужных магматических комплексов более древнего (лохков-пражского) возраста (Ферштатер и др., 2007; Косарев и др., 2014). Несмотря на многолетнюю историю исследований и достаточно большой объем полученных данных по Магнитогорской островодужной системе, начальный лохков-раннеэмсский этап ее формирования (более 12 млн лет) остается малоизученным.

Лохков-раннеэмсские отложения слагают рыскужинскую, ускульскую, ильтибановскую и мансуровскую толщи и лучше всего обнажены на севере Западно-Магнитогорской зоны (ЗМЗ). Они состоят из вулканокластических, карбонатных, кремнистых пород и силицитов. Лохков-раннеэмсские отложения слабо изучены, поскольку подвержены вторичным изменениям, разрезы их имеют фрагментарное строение (т.к. расположены в зоне Главного Уральского разлома или в непосредственной близости от нее) и долгое время их картировали в составе ирендыкской свиты среднего девона. По этим причинам и в связи с малым количеством находок фауны коррелировать разные части разреза и взаимоотношения между разнофациальными породами затруднительно.

В настоящее время, благодаря детализации стратиграфии нижнедевонских отложений ЗМЗ (Маслов, Артюшкова, 2010 и др.) и уточнению их стратотипических участков и разрезов, появилась возможность подробно изучать литологические особенности пород и проводить сравнение одновозрастных толщ.

Изучение вулканокластических отложений ЗМЗ, пользующихся наибольшим распространением, а также фациальных взаимоотношений между столь разнородными породами, позволяет внести вклад в реконструкцию обстановок седиментации раннедевонского бассейна и детализировать историю развития Магнитогорской островодужной системы на начальном этапе ее формирования. **Краткая характеристика строения отложений.** Нижнедевонские отложения в 3МЗ представлены вулканокластическими породами, силицитами, кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами, известняками и, реже, вулканитами различного состава. Стратотипические разрезы рыскужинской толщи расположены у деревень Казмашево, Рыскужино, Тирман и Ишкильдино, ускульской толщи — у оз. Ускуль и д. Уразово, ильтибановской толщи — на берегу Ильтибановского водохранилища и у д. Юлдашево, мансуровской толщи — у д. Мансурово.

Вулканокластические отложения представлены преимущественно песчаниками, алевролитами, гравелитами, крупно- и грубообломочными микститами, которые часто слагают элементарные циклиты (ЭЦ) с градационной сортировкой материала. Циклиты выделены по методу Ю.Н. Карогодина (1980) на основе анализа гранулометрического состава обломочных отложений. Изучаемые нижнедевонские толщи различаются преобладанием кластолитов того или иного гранулометрического класса и соответственно ЭЦ, которые они слагают. Например, для разрезов рыскужинской и ускульской толщ характерно преобладание ЭЦ, в строении которых участвуют кластолиты главным образом псаммитовой, алевритовой и более тонкой размерности, мощностью 0,3–2,0 м. В свою очередь, в строении разрезов ильтибановской и мансуровской толщ наблюдается существенное участие ЭЦ, которые сложены грубо- и крупнозернистыми псаммитами и псефитовыми микститами.

Микститы состоят из плохо сортированных неокатанных грубозернистых частиц вулканитов песчаной размерности, среди которых присутствуют обломки силицитов и известняков гравийно-галечной, дресвяно-щебневой размерности, реже их валуны и отломы. Обломки расположены преимущественно хаотически и иногда ближе к подошве ориентированы длинной осью параллельно слоистости. Мощность микститов достигает 2,5–5 м и более. Такие образования встречаются преимущественно в разрезах ильтибановской и мансуровской толщ.

Для нижнедевонских обломочных отложений характерны также другие особенности. Например, в разрезах рыскужинской и ускульской толщ встречаются редкие слои песчаников небольшой мощности (0,15–0,3 м), содержащих большое количество остатков макрофауны – брахиопод, криноидей и гастропод. Кроме этого, в разрезах этих толщ кластолиты иногда чередуются с массивными и брекчиевыми плагиоклазовыми и пироксен-плагиокла-зовыми порфиритами (лавовыми потоками), мощностью 3–15 м и более. В строении разрезов ильтибановской и мансуровской толщ такие вулканиты не обнаружены, состоят они преимущественно из обломочных отложений, кремней и кремнисто-глинистых сланцев.

Нижнедевонские обломочные отложения также находятся в тесной ассоциации с кремнями, кремнисто-глинистыми сланцами и карбонатными породами, которые часто слагают отдельные пачки и тела. Карбонатные породы представлены массивными рифогенного характера известняками, иногда мраморизованными и рассланцованными. Они слагают тела субмеридионального простирания шириной 100–500 м и длиной 1000 м и более. В некоторых из тел обнаружены прослои и пачки вулканокластических песчаников и алевролитов (Кац, 1980; Павлов, 1988). Контакты с окружающими их отложениями описываются преимущественно как тектонические и в редких случаях как согласные.

**Петрографический и химический состав.** Песчаники пользуются наибольшим распространением среди обломочных пород изучаемых толщ. Согласно классификации В.Д. Шутова (1967), они относятся к полевошпатовым и собственно грауваккам вулканокластической разновидности (

рис. 1). Породообразующие компоненты песчаников представлены слабо окатанными и неокатанными литокластами вулканитов основного и среднего состава, кристаллокластами плагиоклаза, реже пироксена и кварца (Зайнуллин, 2017).

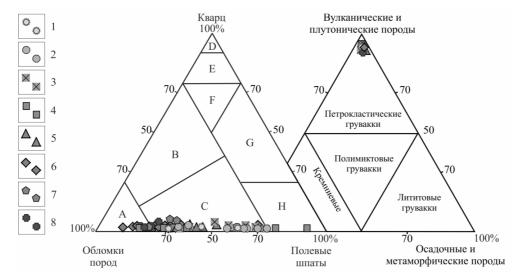


Рис. 1. Классификационные диаграммы для определения состава песчаников. Условные обозначения. Песчаники из разрезов района: 1- д. Тирман, 2- д. Рыскужино, 3- д. Казмаш, 4- оз. Ускуль, 5- д. Уразово, 6- д. Ильтибаново, 7- д. Юлдашево, 8- д. Мансурово; поля на основной диаграмме: A- граувакки, B- кварцевые граувакки, C- полевошпатовые граувакки; песчаники (D- кварцевые, E- олигомиктовые, E- мезомиктовые, E- аркозовые, E- полевошпатовые).

Обломки вулканитов в песчаниках по составу идентичны вулканитам лавовых потоков, с которыми они иногда чередуются в разрезе. Также в песчаниках встречаются обломки силицитов, известняков, кремнисто-глинистых сланцев и реже поликристаллического кварца (возможно, кварцитов). При этом состав песчаников может отличаться по разрезам. Так установлено, что в составе песчаников из разрезов Казмашево, Ускуль и Уразово содержание кристаллокластов пироксена и обломков пироксен-плагиоклазовых порфиритов немного выше (на 5-20 %), чем в песчаниках из других разрезов. В свою очередь песчаники из разрезов Тирман и Рыскужино состоят преимущественно из кристаллокластов плагиоклаза и обломков плагиоклазовых порфиритов. Для песчаников из разрезов Ильтибаново, Юлдашево и Мансурово характерно то, что они имеют более пестрый состав и сложены в основном литокластами вулканитов (преимущественно плагиоклазовыми порфиритами), кристаллокластами плагиоклаза, реже кварца (в т.ч. его поликристаллическими разновидностями), единичными зернами пироксена, а также обломками известняков, силицитов и кремнисто-глинистых сланцев.

Химический состав песчаников изучался по петрогенным и малым элементам, на основе которых разработаны диаграммы, отражающие состав пород в источнике сноса и их зрелость. Так, на диаграмме А.Г. Коссовской и М.И. Тучковой (1988) фигуративные точки расположились в поле полимиктовых песчаников, а на диаграмме Ф. Петтиджона с соавторами (1976) — в поле граувакк (рис. 2). При этом низкие значения величины  $\log(\mathrm{SiO}_2/\mathrm{Al}_2\mathrm{O}_3)$  и, наоборот, высокие значения  $\log(\mathrm{Na}_2\mathrm{O}/\mathrm{K}_2\mathrm{O})$  характеризуют изучаемые песчаники как незрелые.

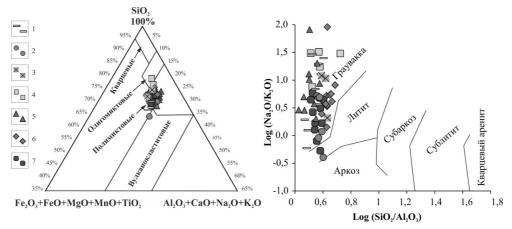


Рис. 2. Диаграмма А.Г. Коссовской и М.И. Тучковой (1988) (слева) и Ф. Петтиджона с соавторами (1976) (справа) с фигуративными точками нижнедевонских песчаников. Условные обозначения приведены для этих и последующих рисунков. Песчаники из разрезов района: 1 – д. Тирман, 2 – д. Рыскужино, 3 – д. Казмашево, 4 – оз. Ускуль, 5 – д. Уразово, 6 – д. Ильтибаново, 7 – д. Мансурово

Среднее содержание  $SiO_2$  в песчаниках колеблется от 49,35 до 56,73 %. Самые низкие значения его характерны для песчаников из разрезов деревень Рыскужино и Тирман (49,35–49,98 %), в песчаниках из остальных разрезов он достигает 54,48–56,73 %. Такие показатели характерны для вулканических пород основного и среднего состава (базальты и андезибазальты). По среднему содержанию суммы щелочей ( $Na_2O+K_2O$ ) породы являются нормально щелочными (3,89–5,73 %), а по диаграмме AFM относятся известковощелочной серии (рис. 3).

Содержания  $Na_2O$  в песчаниках варьирует от 2,59 до 5,36 %,  $K_2O$  — от 0,33 до 1,72 %. При этом  $Na_2O/K_2O$  в песчаниках из разреза д. Рыскужино составляет 2,51 %, а в остальных песчаниках — 7,37—21,35 %. Такие показатели характеризуют изучаемые отложения как высоконатриевые.

Породы также обладают пониженной титанистостью ( $TiO_2$ ) – 0,30–0,68 % и только в единичных образцах содержания  $TiO_2$  могут достигать 0,87–1 %. По коэффициенту глиноземистости ( $Al_2O_3/(Fe_2O_3+FeO+MgO)$ ) песчаники являются умеренно- (0,87–1,1 %) и высокоглиноземистыми (1,24–2 %).

Результаты, полученные при изучении петрогенных окислов, подтвердились и при анализе содержаний малых элементов. Так, соотношение величин Zr/Sc–Th/Sc во всех песчаниках изучаемых разрезов характерно для незрелых кластических пород, т.е. формировавшихся в первом цикле седиментации (рис. 4) (МсLennan et al., 1993). Предполагается, что они не испытали существенных изменений при переносе и накоплении и состав их близок к исходным породам.

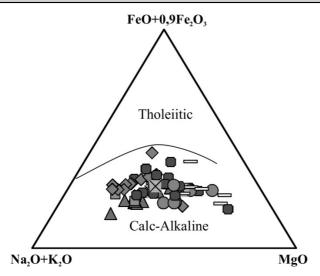


Рис. 3. Диаграмма AFM с фигуративными точками нижнедевонских песчаников

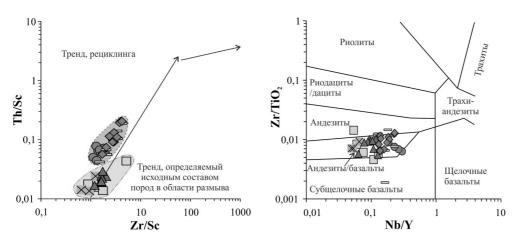


Рис. 4. Дискриминационные диаграммы для определения состава пород. Условные обозначения смотри на рисунке 2

Распределение фигуративных точек на диаграммах Nb/Y– $Zr/TiO_2$  (см. рис. 4) (Winchester J.A., Floyd P.A.,1977) и La/Sc–Th/Co (Cullers R.L., 2002) показало (рис. 5), что все песчаники по составу близки к породам основного и среднего состава, при этом фигуративные точки на последней диаграмме образуют два кластера.

В первом случае сгруппировались фигуративные точки песчаников из разрезов Казмашево, Ускуль и Уразово, во втором — Рыскужино, Тирман и Ильтибаново. Последние на диаграмме расположены между породами основного и кислого состава. Эти выводы подтвердились и на диаграмме La/Sc—Yb/Th (Langmuir et al., 1978), где точки образовали такие же кластеры. При этом песчаники из разрезов Рыскужино, Тирман и Ильтибаново расположились на перегибе гиперболы (см. рис. 5), что характерно для кластолитов с двухкомпонентным составом (смешение основных и более кислых пород). По-видимому, это связано с тем, что они состоят преимущественно из обломков вулканитов среднего состава, тогда как в песчаниках разрезов Казмашево, Ускуль и Уразово преобладают обломки вулканитов основного состава.

Geology, Prospecting and Exploration of Oil and Gas Fields

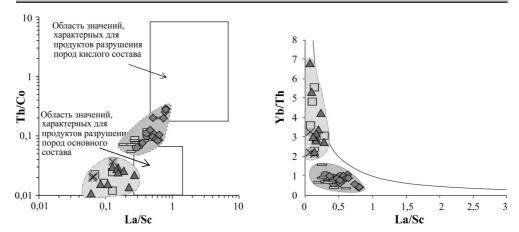


Рис. 5. Дискриминационные диаграммы для определения состава пород. Условные обозначения смотри на рисунке 2

Полученные выводы по составу пород хорошо коррелируются со спектрами распределения РЗЭ, нормированных по хондриту (рис. 6). Так, у песчаников из разрезов Рыскужино, Тирман и Ильтибаново более высокая концентрация легких лантаноидов и имеется незначительная отрицательная Еи аномалия (LREE\*/HREE\*=2.27, 2.04, 2.14; Eu/Eu\*=0.99, 0.83, 0.85 соответственно). Такие показатели свойственны породам более кислого состава и может быть связано с преобладанием плагиоклазов (Интерпретация..., 2001).

У песчаников из разрезов Казмашево, Ускуль и Уразово содержания легких РЗЭ имеют немного пониженные значения. Самые низкие положения в распределении спектров тяжелых и деплетирование промежуточных РЗЭ (Dy-Er) наблюдаются в песчаниках из разреза Уразово (LREE\*/HREE\*=0.93, 0.87 и 1.0; Eu/Eu\*=0.91, 0.88, 1.17 соответственно) (Зайнуллин, 2017), что характерно для пород основного состава и может быть связано с наличием большего количества роговой обманки и пироксенов (Интерпретация..., 2001).

На спайдер-диаграмме (рис. 8) наблюдаются повышенные содержания крупноионных литофильных элементов (Sr, K, Rb, Ba, Th), а также обнаруживаются хорошо выраженные отрицательные геохимические аномалии Та, Nb, Zr, Ti, положительные – Се, что тоже указывает на принадлежность рассматриваемых кластолитов к островодужному типу (Короновский, Демина, 2011).

Транспортировка материала. Основными характеристиками, позволяющими выяснить транспортировку и накопление обломочных отложений являются размер, сортировка и окатанность слагающих их частиц. Кластические отложения нижнего девона 3МЗ образуют преимущественно циклиты с градационной текстурой и микститы, частицы которых практически не окатаны и плохо сортированы. Нижнедевонским циклитам также характерны резкие контакты, иногда подошвенные знаки размыва, наличие разнородной морской фауны, чередование с силицитами и кремнисто-глинистыми сланцами и отсутствие типичных признаков мелководья (крупномасштабной косой слоистости, признаков пляжа, хорошей сортировки). При этом циклиты в совокупности образуют пачки значительной мощности с обширными площадями распространения.

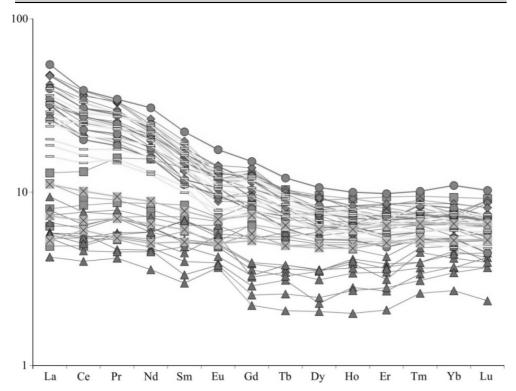


Рис. 6. Распределение РЗЭ нижнедевонских песчаников, нормированных по хондриту. Условные обозначения смотри на рисунке 2

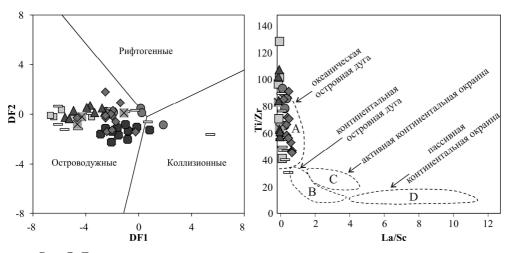


Рис. 7. Дискриминационные диаграммы для определения геодинамических обстановок образования песчаников

Такие отложения в современных морях и океанах наиболее часто образуются при турбидитном осадконакоплении, происходящем на различных глубинах. Это связано с действием суспензионных (мутьевых) потоков, приводящих к образованию отложений называемых турбидитами (Рейнек, Сингх, 1981). В зависимости от концентрации переносимого обломочного вещества турбидные потоки разделяются на низкоплотностные и высоко-

плотностные (Lowe, 1982; Стоу, 1990). Дальность переноса вещества потоками в океанах может составлять 1000-2500 км и более. При движении они способны эродировать ложбины на склоне и захватывать при этом эдафогенный материал. После того как энергия потока начинает снижаться происходит постепенное осаждение обломочного материала с образованием градационной слоистости. Когда скорость течения падает до нуля, возобновляется накопление тонкого материала (илов, силицитов), находящегося во взвеси.

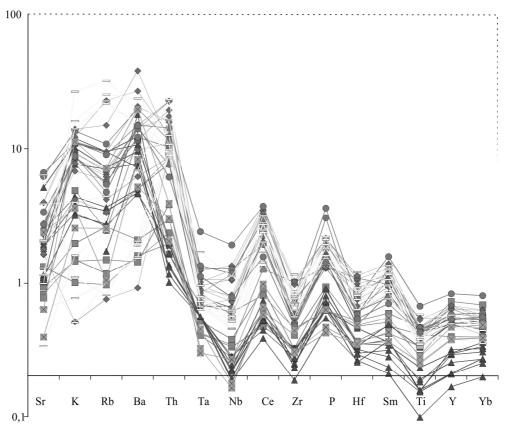


Рис. 8. Распределение редких элементов нижнедевонских песчаников (A) и вулканитов Курило-Камчатской островной дуги (Б), нормированных по N-MORB

Учитывая приведенные данные, можно сделать вывод, что нижнедевонские вулканокластические отложения транспортировались турбидными потоками и соответственно являются турбидитами. При этом в образовании некоторых из них участвовали турбидные потоки высокой плотности, которые могли захватывать и транспортировать обломки силицитов и известняков гравийно-галечной размерности. Маломощные циклиты, представленные алевролитами и кремнистыми, кремнисто-глинистыми аргиллитами, образовывались слабоплотностными турбидными потоками и при фоновой (нефелоидной) седиментации.

Другими агентами транспортировки обломочного материала в морях и океанах, находящимися в тесной ассоциации с турбидными потоками, являются обломочные потоки (debris flow). Они относятся к вязким ламинарным потокам разжиженного осадочного материала большой плотности (mass

flow), способным перемещать осадки псефитовой размерности. Отложения, образуемые такими потоками, называются дебритами (Стоу, 1990). Они характеризуются преимущественно массивным строением, могут иметь размытую подошву слоя, обратную базальную градационную слоистость, слабую упорядоченность материала в основной части и иногда ориентировку удлиненных обломков в подошве. Мощность слоев таких отложений может достигать нескольких десятков метров. Особенностью обломочного потока также является то, что по мере движения вниз по склону он может насыщаться водой и становится все более текучим, что приводит к преобразованию его в турбулентный тип потока. В результате этого в проксимальной части потока происходит осаждение дебритов, а в дистальной – турбидитов (Lowe 1982; Стоу, 1990; Einsele, 2000).

Под действием обломочных потоков среди нижнедевонских обломочных отложений формировались в первую очередь микститы и нижние слои ЭЦ, состоящие из псефитового материала. Не исключено, что в формировании нижних слоев ЭЦ, сложенных многочисленными обломками кремней и реже известняков гравийной, гравийно-галечной и щебневой размерности, могли участвовать как высокоплотностные турбидные потоки, так и обломочные потоки, трансформировавшиеся в последующем в мутьевые.

Резюмируя выше сказанное, можно заключить, что основными агентами транспортировки и накопления, нижнедевонских вулканокластических отложений, являлись обломочные и турбидные потоки разной плотности, образование и действие которых широко представлено в океанических островных дугах.

Седиментация вулканокластических отложений. Островные дуги, представляющие собой цепи вулканов, являются относительно самостоятельными седиментационными системами, формирующиеся преимущественно за счет собственных источников вещества (вулканизма, денудации островов и дна и др.).

Вулканогенный обломочный материал на островных дугах представлен преимущественно пирокластическими и вулканомиктовыми (вулканотерригенными) осадками. Если рыхлый пирокластический материал не перерабатывается агентами транспортировки, то он осаждается в виде тефры. В случае умеренного переотложения и приобретения ими некоторой сортировки и окатанности они становятся тефроидами (Систематика..., 1998). Однако отмечается, что даже в современных и тем более в древних измененных отложениях отличить вулконотерригенный, тефровый или тефроидный материал друг от друга достаточно затруднительно (Хворова, 1980). Тем не менее есть набор параметров, позволяющих с определенной долей вероятности это сделать (Малеева, 1980). Учитывая особенности строения нижнедевонских вулканокластических отложений (отсутствие вулканического стекла (разложенное), преобладание вторичного цемента, иногда затушеванность первичных структурно-текстурных особенностей, обусловленных активным воздействием постдиагенетических процессов) набор этих параметров, применимых для их идентификации существенно ограничен. Например, пирокластические тефроиды можно попытаться распознать только по тому, что среди них преобладают псаммитовые и тонкие разновидности, петрографический состав их относительно однородный, и они чередуются с лавовыми потоками. Вулканотерригенные осадки, в свою очередь, часто состоят из материала крупной размерности, имеют больше литокластики и пестрый литологический состав.

Учитывая эти обстоятельства, для идентификации кластолитов рыскужинской и ускульской толщ, перечислим основные их признаки, которые во многом похожи. Во-первых, они сложены преимущественно псаммитовыми и более тонкими разностями с градационной сортировкой материала. Вовторых, петрографический состав их относительно однородный – преимущественно кристаллокласты плагиоклаза, пироксена и литокласты плагиоклазовых и реже пироксен-плагиоклазовых порфиритов. В третьих, они формируют пачки, которые иногда чередуются с массивными и брекчиевыми лавовыми потоками. В четвертых, цемент и породообразующие компоненты в песчаниках, в отличие от других толщ, часто сильно хлоритизированы, что возможно связано с разложением большого количества первичного вулканического стекла. Поэтому можно предположить, что вулканокластические отложения рыскужинской и ускульской толщ сложены преимущественно пирокластическим материалом, который после выпадения перемещался по склону вулканической постройки турбидными потоками, т.е. представляют собой тефроиды или тефротурбидиты. Возможно, при транспортировке материала, к пирокластике частично примешивались обломки из разрушающихся лавовых потоков. Как показывают исследования (Малеев, 1980), такое смешение весьма распространено вблизи действующих подводных вулканов. Тефротурбидиты формировали пачки мощностью 15-20 м, которые в последующем перекрывались массивными и брекчиевыми лавовыми потоками, мощностью 3-5 и 10-15 м.

Обломочные отложения ильтибановской и мансуровской толщ наоборот отличаются более разнородным и гранулометрически разнообразным составом. Они сложены преимущественно литическими фрагментами, представленными плагиоклазовыми порфиритами. Наряду с вулканогенными обломками присутствуют и собственно терригенные компоненты: обломки кремней, кремнисто-глинистых сланцев и известняков. Размерность частиц варьирует в широких пределах: от мелко- до грубозернистой в псаммитолитах и гравийно-галечной с блоками кремней и известняков в микститах. Наблюдается чередование кластолитов с глубоководными тонкослоистыми силицитами и кремнисто-глинистыми сланцами, а массивные и брекчиевые лавовые потоки не встречены. Все это позволяет считать, что обломочные отложения ильтибановской и мансуровской толщ сложены преимущественно вулканотерригенным (вулканомиктовым) материалом. К нему также мог примешиваться и тефрогенный материал, но установить это в древних измененных отложениях затруднительно.

Вокруг вулканических центров обломочный материал аккумулируется в виде лопастевидных покровов, конусов выноса (fans) и мощных шлейфов в глубоководной части бассейна. При этом отмечается, что вблизи от вулканического очага накапливаются преимущественно лавовые потоки, разнозернистые вулканокластические отложения, продукты их дезинтеграции и образуются различные интрузивные тела и рифогенные известняки. Вдали от очага лавовые потоки и интрузивные породы исчезают, а вулканогенные осадки становятся более тонкозернистыми (Dickinson, 1968; Mitchell, 1970, Фишер, 1987, Einsele, 2000). Поэтому можно считать, что накопление тефротурбидитов, массивных и брекчиевых лавовых потоков и рифогенных известняков

рыскужинской и ускульской толщ происходило на склонах и у подножий вулканических центров (т.е. в проксимальной части). Тефротурбидиты формировали покровы разной мощности в виде конусов выноса.

В более глубоководной части островной дуги (в дистальной части) формировались обломочные отложения ильтибановской и мансуровской толщ. Объясняется это тесной ассоциацией их с глубоководными массивными и тонкослоистыми силицитами и кремнисто-глинистыми сланцами, а также отсутствием мелководных отложений (с характерными текстурами), в том числе распространенных в проксимальной части островной дуги - лавовых потоков и рифогенных известняков (могут присутствовать только в виде обломков и глыб). Кластический материал ильтибановской и мансуровской толщ под силой тяжести и/или при тектонических толчках сносился вниз по склону обломочными (debris flow) и турбидными потоками. У подножия островной дуги формировались дебриты (микститы) и турбидиты, соответственно. Обломочные потоки, являясь более высокоплотностными, эродировали дно бассейна и захватывали блоки силицитов, среди которых были слаболитифицированные. Поскольку они имеют плавные извилистые контуры с апофизами (пример – разрез у д. Ильтибаново). Турбидные потоки могли захватывать и транспортировать силициты только гравийно-галечной и более тонкой размерности, а также обломки известняков (которые поступали из более мелководных частей бассейна) и кремнисто-глинистых сланцев. Таким образом, в виде относительно глубоководных конусов выноса и шлейфов формировались преимущественно кластические отложения с ритмичным строением и пачки микститов с многочисленными неокатанными, несортированными обломками вулканитов, кремней и реже известняков, имеющих свальный облик. Все это указывает на кратковременный перенос и незначительную водную обработку. Наличие большого количества грубообломочных пород говорит о резкой расчлененности рельефа. В периоды, когда обломочный материал не поступал, происходило накопление тонких кремнистых осадков.

Заключение. Нижнедевонские обломочные отложения являются полевошпатовыми граувакками и собственно граувакками вулканокластической разновидности, формировавшихся в первом цикле седиментации. Сложены они преимущественно пирокластическим материалом и продуктами разрушения литифицированных вулканических пород базальтового и андезибазальтового состава. Сравнение отложений по толщам показало явно выраженную минералого-петрографическую и химическую неоднородность, обусловленную формированием их при воздействии разных источников сноса.

В раннедевонском бассейне, соответствующем современной территории Западно-Магнитогорской зоны, происходило активное образование и накопление вулканокластических отложений, источником которых являлась океаническая островная дуга. Транспортировка материала осуществлялась преимущественно турбидными и обломочными потоками, которые формировали покровы в виде конусов выноса на склонах и подножиях вулканических центров и на относительном удалении от них в более глубоководных частях бассейна.

Действие Магнитогорской островодужной системы могло начаться до баймак-бурибаевского времени – в начале эмсского века или даже раньше. Это привело, видимо, к образованию под водой линейно вытянутого положительного рельефа и предостроводужного бассейна с латеральными рядами седи-

ментационных обстановок. В результате, произошло накопление и формирование разнородных типов отложений: глубоководных кремней и кремнистоглинистых сланцев, вулканокластических дебритов и турбидитов, массивных и брекчиевых склоновых лавовых потоков и рифогенных известняков.

### Список литературы

- 1. Вулканизм Южного Урала / И. Б. Серавкин, А. М. Косарев, Д. И. Салихов и другие. Москва : Наука, 1992. 197 с.
- 2. Зайнуллин Р. И. Состав и особенности формирования вулканокластических отложений нижнего девона Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала / Р. И. Зайнуллин
- // Литосфера. 2017. Т. 17, № 2. С. 78–94.
- 3. Интерпретация геохимических данных / под ред. Е. В. Склярова. Москва : Интермет Инжиниринг, 2001. 288 с.
- 4. Кац III. Н. Отчет о геологическом доизучении в масштабе 1:50000 Миндякской площади (Планшеты N-40-70-Г-б,в,г; N-40-71-А и В; N-40-82-А-б,в,г и Б) по работам Миндякского геологосъемочного отряда и Учалинской геофизической партии за 1975—1980 годы / III. Н. Кац, В. В. Тамбовцев и другие. Уфа, 1980.
- 5. Карогодин Ю. Н. Седиментационная цикличность / Ю. Н. Карогодин. Москва : Недра, 1980. 240 с.
- 6. Короновский Н. В. Магматизм как индикатор геодинамических обстановок : учебное пособие / Н. В. Короновский, Л. И. Демина. Москва : КДУ, 2011. 234 с.
- 7. Коссовская А. Г. К проблеме минералого-петрохимической классификации и генезиса песчаных пород / А. Г. Коссовская, М. И. Тучкова // Литология и полезные ископаемые. 1988. № 2. С. 8—24
- 8. Косарев А. М. Умереннощелочной и щелочной вулканизм раннеэмсского времени на Южном Урале: геохимические особенности / А. М. Косарев // Литосфера. 2007. № 6. C. 54—70.
- 9. Косарев А. М. Новые данные о возрасте и геодинамической позиции меднопорфировых проявлений зоны главного уральского разлома на Южном Урале / А. М. Косарев, В. Н. Пучков, Ю. Л. Ронкин, И. Б. Серавкин, В. В. Холоднов, А. И. Грабежев // Доклады академии наук. – 2014. – Т. 459, № 1. – С. 62–66.
  - 10. Малеев Е. Ф. Вулканиты / Е. Ф. Малеев. Москва : Недра, 1980. 240 с.
- 11. Маслов В. А. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала / В. А. Маслов, О. В. Артюшкова. Уфа : ДизайнПолиграфСервис, 2010. 288 с.
- 12. Павлов В. В. (отв. исп.) Геологическое строение и полезные ископаемые Юлдашевской площади : отчет о геологическом доизучении в масштабе 1:50000 за 1983–1988
- / В. В. Павлов (отв. исп.). Уфа: БПГО, 1988.
- 13. Петтиджон Ф. Дж. Осадочные породы / Ф. Дж. Петтиджон. Москва : Недра, 1981. 751 с.
- 14. Пучков В. Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала / В. Н. Пучков. Уфа : Даурия, 2000. 146 с.
- 15. Рейнек Г. Э. Обстановки терригенного осадконакопления / Г. Э. Рейнек, И. Б. Сингх. Москва : Недра, 1981.-439 с.
- 16. Стоу Д. А. В. Морские глубоководные терригенные отложения / Д. А. В. Стоу // Обстановки осадконакопления и фации. Москва : Мир, 1990. Т. 2. С. 141–194.
- 17. Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов / под ред. В. Н. Шванова. Санкт-Петербург : Недра, 1998. 351 с.
- 18. Ферштатер  $\Gamma$ . Б. Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование /  $\Gamma$ . Б. Ферштатер, А. А. Краснобаев, Ф. Беа и другие. Екатеринбург : ИГиГ УрО РАН, 2007. С. 89–120.

- 19. Фишер Р. В. Субаквальные вулканокластические породы / Р. В. Фишер // Геология окраинных бассейнов : пер. с англ. / под ред. Б. П. Кокелаара, М. Ф. Хауэлса. Москва : Мир, 1987. C. 9-51.
- 20. Хворова И. В. Вулканизм и осадкообразование / И. В. Хворова // Литология в исследованиях геологического института АН СССР. Москва: Наука, 1980. С. 9–53.
- 21. Хворова И. В. Сравнительная характеристика двух вулканогенно-осадочных формаций Южного Урала / И. В. Хворова, М. Н. Ильинская // Вулканогенно-осадочные и терригенные формации. Москва : Академии нау, 1963. С. 87–160.
- 22. Шутов В. Д. Классификация песчаников / В. Д. Шутов // Литология и полезные ископаемые. -1967. -№ 5. C. 86-103.
- 23. Bhatia M. R. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins / M. R. Bhatia, K. A. W. Crook // Contrib. Mineral. Petrol. 1986. Vol. 92. P. 181–193.
- 24. Cullers R. L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA / R. L. Cullers // Chem. Geol. -2002. Vol. 191, no. 4. P. 305-327.
- 25. Dickinson W. R. Sedimentation of volcaniclastic strata of the Pliocene Koroimavua Group in northwest Viti Levu, Fiji / W. R. Dickinson // Am. J. Sci. 1968. Vol. 266. P. 440–453.
- 26. Einsele G. Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget / G. Einsele. Springer, Berlin Heidelberg, 2000. 792 p.
- 27. Langmuir C. H. A general mixing equation with applications to Icelandic basalts / C. H. Langmuir, R. D. Jr. Vocke, G. H. Hanson, S. R. Hart // Earth Planet Sci. Lett. 1978. Vol. 37. P. 380–392.
- 28. Lowe D. R. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents / D. R. Lowe // J Sediment Petrol. 1982. Vol. 52. P. 279–297.
- 29. Mitchell A. H. G. Facies of an early Miocene volcanic arc, Malekula Island, New Hebrides / A. H. G. Mitchell // Sedimentology. 1970. Vol. 14. P. 201–243.
- 30. McLennan S. M. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics / S. M. McLennan, S. R. Hemming, D. K. McDaniel, G. N. Hanson // Processes controlling the composition of clastic sediments / eds. M. J. Johnsson, A. Basu. 1993. Vol. 284. P. 21–40.
- 31. Verma S. P. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins / S. P. Verma, J. S. Armstrong-Altrin // Chem. Geol. 2013. Vol. 355. P. 117–133.
- 32. Winchester J. A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements / J. A. Winchester, P. A. Floyd // Chem. Geol. 1977. Vol. 20. P. 325–343.

#### References

- 1. Seravkin I. B., Kosarev A. M., Salikhov D. I., et al. *Vulkanizm Yuzhnogo Urala* [Volcanism of the Southern Urals], Moscow, Nauka Publ., 1992. 197 p.
- 2. Zaynullin R. I. Sostav i osobennosti formirovaniya vulkanoklasticheskikh otlozheniy nizhnego devona Zapadno-Magnitogorskoy zony Yuzhnogo Urala [Composition and features of the formation of volcaniclastic deposits of the Lower Devonian of the Western Magnitogorsk zone of the Southern Urals]. *Litosfera* [Lithosphere], 2017, vol. 17, no. 2, pp. 78–94.
- 3. Sklyarova Ye. V. (ed.) Interpretatsiya geokhimicheskikh dannykh [The interpretation geochemical data], Moscow, Intermet Inzhiniring Publ., 2001. 288 p.
- 4. Kats Sh. N., Tambovtsev V. V., et al. Otchet o geologicheskom doizuchenii v masshtabe 1:50000 Mindyakskoy ploshchadi (Planshety N-40-70-G-b,v,g; N-40-71-A i B; N-40-82-A-b,v,g i B) po rabotam Mindyakskogo geologosemochnogo otryada i Uchalinskoy geofizicheskoy partii za 1975–1980 gody [Report on geological survey on a scale of 1: 50000 Mindyakskaya area (Tablets N-40-70-Gb, in, g, N-40-71-A and B; N-40-82-A-b, c, d and B) according to the works of the Mindyak Geological Detachment and Uchalinskaya Geophysical party for 1975–1980 years], Ufa, 1980.

- 5. Karogodin Yu. N. Sedimentatsionnaya tsiklichnost [Sedimentation cycle], Moscow, Nauka Publ., 1980. 240 p.
- 6. Koronovskiy N. V., Demina L. I. *Magmatizm kak indikator geodinamicheskikh obstanovok* [Magmatism as an indicator of geodynamic environments], Moscow, KDU Publ., 2011, pp. 234.
- 7. Kossovskaya A. G., Tuchkova M. I. K probleme mineralogo-petrokhimicheskoy klassifikatsii i genezisa peschanykh porod [To the problem of mineralogical-petrochemical classification and genesis of sandy rocks]. *Litologiya i poleznye iskopaemye* [Lithology and Minerals], 1988, no. 2, pp. 8–24.
- 8. Kosarev A. M. Umerennoshchelochnoy i shchelochnoy vulkanizm ranneemsskogo vremeni na Yuzhnom Urale: geokhimicheskie osobennosti [Moderately alkaline and alkaline volcanism of the Early Samsk time in the Southern Urals: geochemical features]. *Litosfera* [Lithosphere], 2007, no. 6. pp. 54–70.
- 9. Kosarev A. M., Puchkov V. N., Ronkin Yu. L., et al. Novye dannye o vozraste i geodinamicheskoy pozitsii medno-porfirovykh proyavleniy zony Glavnogo Uralskogo razloma na Yuzhnom Urale [New data on the age and geodynamic position of copper-porphyry manifestations of the Main Uralian Fault zone in the Southern Urals]. *Doklady Akademii nauk* [Proccedings of the Academy of Sciences], 2014, vol. 459, no. 1, pp. 62–66.
  - 10. Maleev Ye. F. Vulkanity [Volcanics], Moscow, Nauka Publ., 1980. 240 p.
- 11. Maslov V. A., Artyushkova O. V. *Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozheniy Magnitogorskoy megazony Yuzhnogo Urala* [Stratigraphy and correlation deposits of Devonian of the Magnitogorsk megazone of Southern Urals], Ufa, DizaynPoligrafServis Publ., 2010. 288 p.
- 12. Pavlov V. V. Geologicheskoe stroenie i poleznye iskopaemye Yuldashevskoy ploshchadi: otchet o geologicheskom doizuchenii v masshtabe 1:50000 za 1983–1988 gg. [Geological structure and minerals of Yuldashevskaya Square. Report on geological prospecting at a scale of 1: 50000 for 1983–1988 years], Ufa, BPGO Publ., 1988.
- 13. Pettidzhon F. Dzh. *Osadochnye porody* [Sedimentary rocks], Moscow, Nauka Publ., 1981. 751 p.
- 14. Puchkov V. N. *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Ural], Ufa, Dauriya Publ., 2000. 146 p.
- 15. Reynek G. E., Singh I. B. *Obstanovki terrigennogo osadkonakopleniya* [Terrigenous depositional environment], Moscow, Nauka Publ., 1981. 439 p.
- 16. Stou D. A. V. Morskie glubokovodnye terrigennye otlozheniya [Marine deep-water terrigenous deposits]. *Obstanovki osadkonakopleniya i fatsii* [Sedimentation and facies], Moscow, Mir Publ., 1990, vol. 2, pp. 141–194.
- 17. Shvanov V. N. (ed.) *Sistematika i klassifikatsiya osadochnykh porod i ikh analogov* [Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues], Saint Petersburg, Nedra Publ., 1998. 351 p.
- 18. Fershtater G. B., Krasnobaev A. A., Bea F., et al. *Geodinamika, magmatizm, metamorfizm i rudoobrazovanie* [Geodynamics, magmatism, metamorphism and mineralization.], Ekaterinburg, IGiG UrO RAN Publ., 2007, pp. 89–120.
- 19. Fisher R. V. Subakvalnye vulkanoklasticheskie porody [Subaqual volcaniclastic rocks]. *Geologiya okrainnykh basseynov* [Geology of marginal basins], Moscow, Mir Publ., 1987, pp. 9–51.
- 20. Khvorova I. V. Vulkanizm i osadkoobrazovanie [Volcanism and sedimentation]. *Litologiya v issledovaniyah geologicheskogo instituta AN SSSR* [Lithology in the studies of the geological institute of the Academy of Sciences of the USSR], Moscow, Nauka Publ., 1980, pp. 9–53.
- 21. Khvorova I. V., Ilinskaya M. N. Sravnitelnaya kharakteristika dvukh vulkanogenno-osadochnykh formatsiy Yuzhnogo Urala [Comparative characteristics of two volcanogenic-sedimentary formations of the Southern Urals]. *Vulkanogenno-osadochnye i terrigennye formatsii* [Volcanogenic-sedimentary and terrigenous formations], Moscow, Akademiya nauk Publ., 1963, pp. 87–160.
- 22. Shutov V. D. Klassifikatsiya peschanikov [Classification of sandstones]. *Litologiya i poleznye iskopaemye* [Lithology and Minerals], 1967, no. 5, pp. 86–103.

- 23. Bhatia M. R., Crook K. A. W. Trace element characteristics of graywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 1986, vol. 92, pp. 181–193.
- 24. Cullers R. L. Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.*, 2002, vol. 191, no. 4, pp. 305–327.
- 25. Dickinson W. R. Sedimentation of volcaniclastic strata of the Pliocene Koroimavua Group in northwest Viti Levu, Fiji. *Am. J. Sci.*, 1968, vol. 266, pp. 440–453.
- 26. Einsele G. Sedimentary basins: evolution, facies, and sediment budget, Springer, Berlin Heidelberg, 2000. 792 p.
- 27. Langmuir C. H., Vocke R. D. Jr., Hanson G. H., Hart S. R. A general mixing equation with applications to Icelandic basalts. *Earth Planet Sci. Lett.*, 1978, vol. 37, pp. 380–392.
- 28. Lowe D. R. Sediment gravity flows: II. Depositional models with special reference to the deposits of high-density turbidity currents. *J. Sediment. Petrol.*, 1982, vol. 52, pp. 279–297.
- 29. Mitchell A. H. G. Facies of an early Miocene volcanic arc, Malekula Island, New Hebrides. *Sedimentology*, 1970, vol. 14, pp. 201–243.
- 30. 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*, 1993, vol. 284, pp. 21–40.
- 31. Verma S. P., Armstrong-Altrin J. S. New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chem. Geol.*, 2013, vol. 355, pp. 117–133.
- 32. Winchester J. A., Floyd P. A. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, 1977, vol. 20, pp. 325–343.