



Вещественный состав нижнетриасовых песчаников северных площадей Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции

Н. Н. Тимонина

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

В последнее время все больше внимания уделяется исследованиям акцессорных минералов обломочных пород с целью уточнения состава источников сноса и условий формирования терригенных отложений. В статье рассмотрены некоторые минералы тяжелой фракции песчаников триасового возраста севера Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (гранат, эпидот, хромовые шпинели, ильменит и др.).

Показано, что обогащение песчаников теми или иными минеральными зернами обусловлено не только составом размываемых пород, но и гидродинамикой потока, а также способом переноса обломочного материала. Отмечается, что особенности минералов тяжелой фракции могут применяться для реконструкции обстановок осадконакопления с учетом их физико-химических свойств, распределения минералов по фракциям, их устойчивости в процессе транспортировки.

Ключевые слова: песчаники, чаркабожская свита, природные резервуары, акцессорные минералы, обстановки осадконакопления.

MATERIAL COMPOSITION OF LOWER TRIASSIC SANDSTONES FROM THE NORTHERN AREAS OF THE TIMAN-PECHORA OIL AND GAS PROVINCE

N. N. Timonina

Institute of Geology FRC Komi SC UB RAS, Syktyvkar

Recently various authors paid much attention to accessory minerals of clastic rocks to clarify the composition of the source area and formation conditions of terrigenous deposits. The paper describes some minerals of the heavy fraction of Triassic sandstones in the north of the Timan-Pechora oil and gas province (garnet, epidote, chromium spinels, ilmenite, etc.).

We showed that the enrichment of sandstones with various mineral grains was controlled by not only the composition of the eroded rocks, but also by the hydrodynamics of the flow, as well as the method of transfer of clastic material. We noted that the features of heavy fraction minerals could be used to reconstruct sedimentation environments, taking into account their physical and chemical properties, distribution of minerals by fractions, and their stability during transportation.

Keywords: sandstones, Charkabozh formation, natural reservoirs, accessory minerals, sedimentation environments.

Введение

В позднеартинско-триасовое время в пределах Печорской плиты резко проявились дифференциация и тектоническая активность структурообразующих движений, особенно отчетливо они проявились в предтриасовую и предсреднеюрскую эпохи. В это время структуроформирующие движения были сопряжены с глубокими размывами подстилающих отложений. Для триасового времени характерно формирование валов по обновленным древним разломам субмеридионального простирания. К началу триаса на северо-востоке плиты сформировалось крупное сводообразное поднятие на месте большей части Варандей-Адзвинской структурной зоны, оно отличалось частичным или полным размывом верхнепермских отложений. В раннем триасе отдельные структуры палеосвода продолжали вздыматься и разрушаться, о чем свидетельствует обогащение конгломератов раннетриасового возраста обломками известняков и фауной раннепермского возраста [15].

Изучению триасовых отложений с точки зрения стратиграфии, литологии и перспектив нефтегазоносности посвятили свои работы такие исследователи, как В. И. Чалышев, Ф. И. Енцова, С. Д. Танасова, И. З. Калантар, Е. Д. Мораховская, А. И. Киричкова, Л. А. Удовиченко и многие другие [5–7, 10, 18, 19]. К сожалению, в силу ряда причин литогеохимическому изучению отложений не было уделено должного внимания. В то же время, как показывают исследования ряда авторов, для характеристики состава пород источников сноса, реконструкции условий осадконакопления можно использовать сведения о химическом составе и кристаллохимических особенностях минералов тяжелой фракции песчаников, применяя различные петрогенетические диаграммы [1–3, 20–24].

Настоящая статья посвящена изучению вещественного состава песчаников нижнего триаса, особое внимание уделено акцессорным минералам, таким как эпидот-цоизит, ильменит, гранат, хромшпинелиды, рутил, и ряду других. Показано, что эти ми-

Для цитирования: Тимонина Н. Н. Вещественный состав нижнетриасовых песчаников северных площадей Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции // Вестник геонаук. 2020. 9(309). С. 26–36. DOI: 10.19110/geov.2020.9.5.

For citation: Timonina N. N. Material composition of Lower Triassic sandstones from the northern areas of the Timan-Pechora oil and gas province. Vestnik of Geosciences. 2020. 9(309). P. 26–36. DOI: 10.19110/geov.2020.9.5.



нералы могут быть использованы для диагностики не только источников сноса, но и обстановок осадконакопления, в которых шло формирование песчаных тел-коллекторов.

Материалы и методы исследования

В основу работы положены результаты изучения нижнетриасовых песчаников Северо-Сорокинской площади, находящейся в северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции (рис. 1). Проведено подробное изучение отложений, включающее макроописание керна, детализированное изучением петрографического состава обломочных пород, минерального состава цемента песчаников, литогеохимическими исследованиями.

При минералогическом изучении песчаников использовался «метод искусственных шлихов», основанный на выделении тяжелой фракции из раздробленных пород и дальнейшем разделении по плотности, магнитным и электромагнитным параметрам по общепринятой методике [9]. Микронзондовые исследования акцессорных минералов проводились на сканирующем электронном микроскопе TESCAN VEGA3 LMN с энергодисперсионной приставкой X-MAX 50 mm Oxford instruments (ЦКП «Геонаука»)

при ускоряющем напряжении 20 кВ, диаметре зонда 180 нм и области возбуждения до 5 мкм.

Результаты исследования

При установлении условий осадконакопления важную роль играют литологические, минералогические и химические характеристики пород, в частности состав обломочной части и аутигенные минералы, которые служат важными индикаторами среды осадконакопления.

Разрез нижнего триаса сложен переслаиванием песчаников, алевролитов и глин с маломощными прослоями конгломератов. Последние залегают в основании выделенных толщ (мощность 0.2—0.5 м). Конгломераты мелко- и среднегалечные, слабо отсортированы, с примесью гравийного материала. Галька окатана, округлой формы, характерной для магматических, метаморфических пород, известняков. Гальки глин и аргиллитов имеют плоскую форму. Они подразделяются на внеформационные (сложенные галькой магматических, метаморфических и осадочных пород) и внутриформационные (состоящие из обломков коричневых и серых аргиллитов). Цемент представлен песчано-гравийно-карбонатным материалом, заполняющим поровое пространство. В состав

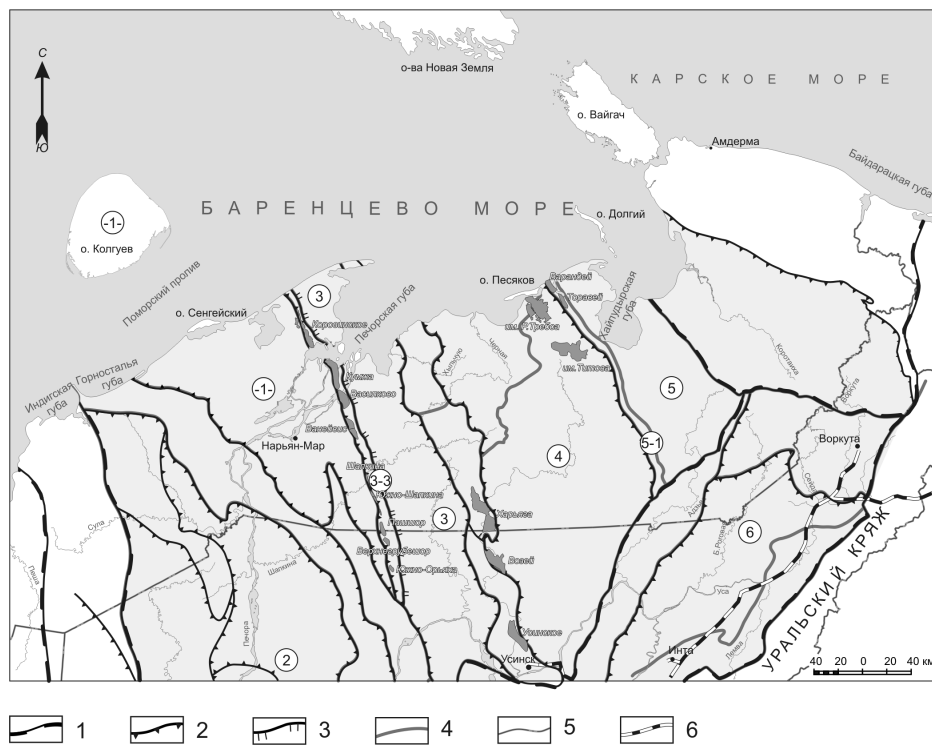


Рис. 1. Схема тектонического и нефтегазгеологического районирования северной части Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции [по 16]:

1—4 — границы структур: 1 — крупнейших, надпорядковых; 2 — крупных, первого порядка, 3 — средних, второго порядка; 4 — нефтегазоносных районов; 5 — административная граница; 6 — железная дорога. Элементы нефтегазгеологического районирования: 1 — Малоземельско-Колгуевская НГО, 2 — Ижма-Печорская НГО, 3 — Печоро-Колвинская НГО, 3-3 — Шапкина-Юрьяхинский НГР, 4 — Хорейверская НГО, 5 — Варандей-Адзвинская НГО, 5-1 — Сорокинский НГР; 6 — Северо-Предуральская НГО

Fig. 1. Scheme of tectonic and oil and gas geological zoning of the Timan-Pechora oil and gas bearing province:

1—4 — boundaries of structures: 1 — largest, supra-order; 2 — large, first order, 3 — medium, second order; 4 — borders of oil and gas regions; 5 — administrative border; 6 — railway; 7—10 — fields, 7 — oil, 8 — gas. 9 — gas condensate, 10- mixed composition. Elements of oil and gas geological zoning: 1 — Malozemel'sko-Kolguevskaya , 2 — Pechoro-Kolvinskaya OGO, 3-3 — Khoreyverskaya OGO, 4 — Kosyu-Rogovskaya OGO, 5 — Varandey-Adzvin'skaya OGO, 5-1 — Sorokin swell

ве галечного материала выделяются кварц, кварциты, кварцитопесчаники, аркозовые песчаники и алевролиты, кремнистые породы, кислые эффузивы, аргиллиты, известняки. Гравелиты полимиктовые, от мелко- до грубозернистых, среди мелкогалечных конгломератов составляют 10–30 %, в песчано-гравийных прослоях содержание гравия достигает 40 % [18]. Гравийные зерна отсортированы, полуокатаны, размером 1–3 мм, встречаются и более крупные (5–10 мм). Гравийный материал содержит главным образом осадочные породы: известняки, песчаники, алевролиты, глины; присутствует гравий кремнистых пород и кварца.

Песчаники рассматриваемой части разреза получили широкое распространение, они окрашены в основном в различные оттенки серого цвета: от светло- до зеленовато-серых, встречаются также отдельные линзы и прослои песчаников розовато-серого цвета. Светло-серый цвет обусловлен, как правило, присутствием каолинита в составе цемента, зеленый — большим содержанием хлорита, красноватая окраска свойственна песчаникам, пропитанным гидроокислами железа. Гранулометрический состав песчаников отличается большим разнообразием и варьирует от мелко- до крупно- и грубозернистого. Они характеризуются широким спектром текстур, встречаются массивная, крупная однонаправленная косоугольная, слоистость ряби, горизонтально-слоистая. Слоистость обусловлена чередованием слоев разного гранулометрического состава, слоистость часто подчеркивается скоплениями рудных минералов, чешуйками биотита и т. д.

Алевролиты окрашены в разные оттенки серого цвета от зеленовато- до голубовато-серого, встречаются также прослои красновато-коричневых разновидностей. В отличие от песчаников в алевролитах широкое распространение получили тонкослоистые текстуры и микротекстуры, преобладают горизонтально-слоистые и линзовидно-слоистые, широко встречаются породы с нарушенной слоистостью и текстурами взмучивания.

Глины и аргиллиты получили широкое распространение в описываемой части разреза. Они окрашены в различные оттенки коричневого цвета от красноватых до темно-шоколадных. Основными породообразующими минералами являются минералы группы смектита, гидрослюда. Текстуры аргиллитов представлены горизонтально-слоистой, прерывистой слоистостью, широко встречаются нарушенные, комковатые текстуры. Для описываемых отложений характерно наличие карбонатных линз и включений,

выполненных крупнокристаллическим кальцитом. Встречаются также остатки корневой системы растений, заполненные белым кальцитом.

Как показали проведенные нами исследования, формирование отложений происходило на различных участках речной долины, существовавшей на территории Варандей-Адзвинской структурной зоны в раннетриасовое время. На основе детального изучения литологического состава и строения были проведены фациальные реконструкции продуктивных пластов и подтвержден аллювиальный генезис отложений. Выделены русловые и пойменные макрофашии. К первым мы относим фашии пристрежневой части русла, прирусловой отмели, прирусловых валов и внутренней части поймы. Отложения прирусловой отмели, представленные мелкозернистыми песками, иногда с прослоями алевролитов, формировались в относительно спокойной гидродинамической обстановке [13]. Для них характерны сокращение мощности косых серий и слоев, мелкая косоугольная текстура, переходящая в горизонтально-слоистую, менее заметные серийные швы. Пойменная макрофашия выделена в составе фашии внешней (песчаной) и внутренней (алевроглинистой) частей поймы. Внешняя часть поймы представлена песчаными осадками фашии береговых валов, стариц, песков разливов, которые образуют краевые части песчаных тел или зоны их выклинивания.

По петрографическому составу нижнетриасовые песчаники относятся к семейству граувакк (содержание обломков пород превышает 50 %) [4]. По петрохимической классификации А. Г. Коссовской и М. И. Тучковой [8] нижнетриасовые песчаники попадают в поле полимиктовых (содержание SiO_2 62–78 %) и вулканомиктовых (содержание SiO_2 54–64 %).

Химический состав песчаников отличается значительной изменчивостью, содержание SiO_2 варьирует от 30 до 69 % при среднем значении 56.5 % (см. табл. 1), доля Al_2O_3 изменяется от 6.6 до 18 % при средних значениях 13.2 %.

Обломки пород, слагающие песчаники, отличаются большим разнообразием, в связи с чем типизация обломков представляет определенные трудности при петрографическом описании. При выделении типов обломков в первую очередь учитывался характер микроструктуры обломка как наиболее устойчивый признак. В тех случаях, где это было возможно, определялся минералогический состав и парагенетические минеральные ассоциации. В результате были выделены типы обломков пород, которые относятся к трем

Таблица 1. Содержание основных породообразующих компонентов в песчаниках, %

Table 1. Chemical composition of the epidote from the Lower Triassic sandstones, wt. %

	SiO_2	TiO_2	MnO	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O	Al_2O_3	P_2O_5	ППП POI
Медиана Median	59.70	0.92	0.14	3.45	2.39	2.43	2.79	1.30	1.84	13.53	0.17	9.38
Среднее Average	56.55	0.83	0.21	3.03	5.71	6.08	2.84	1.31	1.81	13.2	0.17	10.73
Мин. Min.	30.38	0.45	0.10	2.07	0.79	0.41	0.75	0.58	0.34	6.6	0.04	5.3
Макс. Max.	69.03	1.15	0.36	5.39	10.69	28.04	4.88	1.97	2.89	18	0.41	26.28



группам: метаморфическим, магматическим и осадочным.

Широко представлены фельзиты, которые характеризуются однородным составом тонкозернистой массы, иногда содержат крупные выделения кварца и полевых шпатов неправильной формы. Обломки с микрогранитовой структурой отличаются от фельзитов микроагрегатным строением с четкими контурами отдельных неделимых обломков кварца и полевых шпатов. Иногда встречаются обломки со сферолитовой структурой. В этом случае их можно принять за обломки кремнистых пород. Обломки кислых вулканитов часто изменены, что выражается в частичной или полной гидрослюдизации. Она проявляется в наличии отдельных чешуек, агрегатных скоплений на поверхности обломка вплоть до полного замещения обломка.

Обломки кремнистых пород представлены фтанитами, радиоляритами, яшмами и недифференцированными силицитами. Первые состоят из тонкоагрегатной халцедон-опаловой массы, пропитанной дисперсным органическим веществом, придающим им буроватую окраску. Многие обломки отличаются переходами от буроватого, пропитанного органикой вещества к бесцветному прозрачному халцедону. Встречаются обломки с округлыми включениями лучистого халцедона. Некоторые содержат тонкие прожилки, заполненные мелкозернистым кварцем. В тех случаях, когда отсутствует органическое вещество, тонкозернистую структуру кремнезема силицитов трудно отличить от обломков фельзитов. Обломки кремнистых пород благодаря высокой устойчивости к агентам выветривания тяготеют к более крупнозернистым песчаникам, особенно в нижней части толщи. Вверх по разрезу отмечается уменьшение содержания обломков кремнистых пород.

Обломки кварцитов бесцветные, размеры их разнообразны (от 0.05 до 0.8 мм), форма полуокатанная и неокатанная. Структура гранобластовая и лепидогранобластовая. Кварцитопесчаники, характеризующиеся структурой прорастания, состоят из кластических зерен кварца в кварц-серицитовом цементе. Мелкозернистый материал цемента облекает более крупные зерна кварца и полевого шпата. Можно на-

блюдать образование серицита и хлорита за счет перекристаллизации глинистого материала. Широко представлены кварциты, сохранившие структурные и текстурные особенности осадочных пород: овальные и округлые формы бывших песчинок кварца, выделяющиеся благодаря присыпкам пелитового материала. Встречаются обломки кварцитов, содержащие циркон, апатит, их источником являются, вероятно, породы низкотемпературных фаций метаморфизма. Обломки серицит-хлоритовых и кварц-серицит-хлоритовых сланцев имеют удлиненную форму и хорошо окатаны. Структура изменяется от микро- до мелколепидобластовой. Содержание описанных обломков увеличивается снизу вверх по разрезу.

Минералы группы слюд представлены биотитом и мусковитом, причем первый характеризуется более широким распространением. Встречаются как неизменные чешуйки биотита, интенсивно плеохроирующие от темно-коричневого до бледно-зеленого, так и зеленовато-бурые чешуйки гидробиотита. Преобразование биотита сопровождается частичным выносом железа и титана, в результате чего железо выделяется в виде вкрапленников гематита, а титан участвует в образовании скоплений лейкоксена неправильной формы. В песчаниках с коррозионным карбонатным цементом биотит часто замещается мелкокристаллическим кальцитом, при этом зерно может быть уничтожено полностью так, что остаются лишь контуры со следами спайности.

Для описываемых отложений характерно обогащение чешуйками слюды средне- и мелкозернистых песчаников с горизонтально-слоистыми текстурами, образовавшимися в спокойной гидродинамической обстановке, способствовавшей осаждению материала, переносимого во взвешенном состоянии. Подобная обстановка имела место во внешней части поймы.

Содержание тяжелой фракции в триасовых граувакках составляет 0.1–0.6 %. В ее состав входят эпидот, магнетит, хромшпинелиды, ильменит, лейкоксен, титанит, рутил, гранат, циркон, турмалин, пирит, амфибол, мартит, хлорит, апатит и др. (рис. 2). Из аксессуарных минералов наиболее часто встречаются эпидот, магнетит, титанит, рутил, анатаз, ильменит, лейкоксен, гранат.

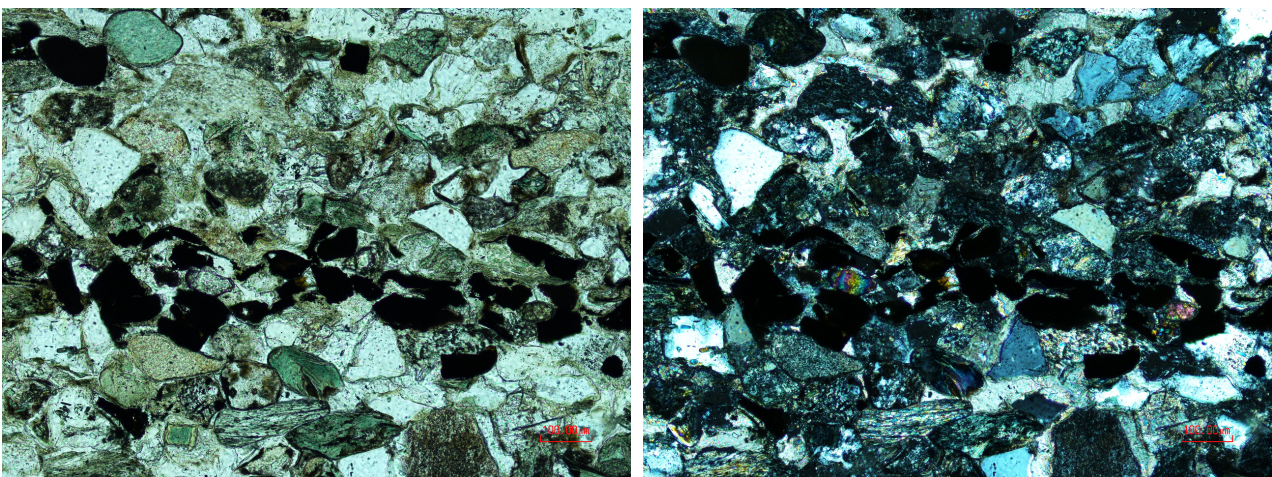


Рис. 2. Микрофотография мелкозернистого песчаника с аксессуарными минералами (эпидотом, магнетитом, ильменитом и др.)

Fig. 2. Thin section and SEM images of small-grain sandstone with accessory minerals (epidote, magnetite, ilmenite and others)



Таблица 2. Химический состав эпидота из песчаников нижнего триаса, мас. %

Table 2. Chemical composition of ilmenite from Lower Triassic sandstones, wt. %

Образцы Samples	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Sc	TiO ₂	V	MnO	FeO _{общ}	Сумма Total
110-16-4-5-3		23.17	37.9		22.08				1.54	13.84	98.52
110-16-5-1-2		22.57	38.59		23.32					14.7	99.18
110-22-1-3		22.63	37.5		23.39					13.02	96.54
110-22-2-5		21.95	37.68		22.89					14	96.52
110-22-2-6		25.59	38.12		23.89					10.2	97.8
110-22-2-9	0.28	24.37	37.48	0.9	20.97					10.2	94.21
110-22-2-11		23.95	39.19		22.15	0.3			1	12.86	99.44
110-57-1-2		23.04	37.26		22.9		0.43		0.58	12.53	96.74
110-57-1-3		22.56	37.93		23.53		0.55			12.31	96.88
110-57-2-4		27.37	38.51		24.12					7.85	97.84
110-35-2-1-4		26.35	37.8		23.9			0.31		8.87	97.24
110-35-2-1-5	0.29	22.27	38.27		23.03					13.07	96.94
110-35-2-1-7	0.24	24.22	37.97		23.42					10.97	96.82
110-35-2-2-1		24.04	37.99		23.55					11.21	96.8
110-35-2-2-2		21.71	37.43		23.21					13.89	96.25
110-46-11-2-1	0.58	25.16	38.33		22.74				0.3	11.92	99.03

Специфической особенностью триасовых отложений является высокое содержание в тяжелой фракции минералов группы эпидота. Максимальное содержание минералов этой группы характерно для нижнего триаса, в среднетриасовых образованиях доля их значительно падает, при этом возрастает роль устойчивых минералов (граната, циркона, турмалина и др.). Эпидот встречается в виде неправильных изометричных зерен желтовато-зеленого цвета с яркой аномальной интерференционной окраской. Для исследуемой части разреза установлено высокое содержание этого минерала в песчаниках третьего продуктивного пласта — 3413 г/т. Как правило, отмечается обогащение этим минералом мелкозернистых песчаников с горизонтально-слоистой структурой, что может быть обусловлено гидродинамическими особенностями среды осадконакопления. Химический состав: Al₂O₃ — 22—22.63 %, SiO₂ — 37.5—38.5 %, CaO — 22.9—24.12 %, FeO — 8—14 % (табл. 2).

В ассоциации с эпидотом встречается магнетит в виде зерен неправильной формы, обогащающих поверхности напластования, рутил, ильменит (рис. 3). Содержание TiO₂ в ильмените варьирует от 47.5 до 55.5 мас. %, в трех образцах обнаружена небольшая примесь MgO, содержание MnO меняется в значительных пределах — от 1.42 до 17 мас. % (табл. 3). В ряде образцов присутствует примесь ванадия — от 0.57 до 0.92 мас. %. Состав и структурные особенности этого минерала, а также тот факт, что он встречается в ассоциации с эпидотом, сфеном, позволяют говорить о том, что источником могли служить эпидот-амфиболовые сланцы.

Лейкоксен часто встречается в виде желтоватых (в отраженном свете) зерен, образующих скопления неправильной формы, и пленок вокруг обломков. Обогащение мелкозернистых песчаников титаносодержащими минералами обусловлено тем, что удельный вес минералов титана несущественно отличается от удельного веса преобладающей части зерен аллювия, поэтому они не концентрируются в нижней части разреза у плотика. Размеры зерен ильменита, лейко-

ксена, находящихся в виде аксессуаров, не превышают 0.25 мм, поэтому в процессе дифференциации терригенного материала они накапливаются в мелкозернистых песчаниках, обогащая тонкозернистые осадки прирусловой отмели и отложения внешней части поймы.

Высокое содержание лейкоксена характерно для песчаников базального пласта нижнего триаса на тех участках, где размывалась кора выветривания ниже лежащих отложений. Обогащение лейкоксом отмечается также благодаря наличию его аутигенных образований и развитию по другим титаносодержащим минералам.

Для реконструкции осадконакопления значительный интерес представляют минералы группы граната. В некоторых зернах граната присутствуют микровключения кварца, титаномагнетита, циркона (рис. 4), это может быть следствием непостоянства физико-химических условий во время роста минерала [15].

Выявлены зерна граната, разбитые трещинами, по которым развивается хлорит. Расчет гранатовых минералов позволил сделать вывод, что в песчаниках нижнего триаса представлены преимущественно гранаты альмандиновые, с меняющейся grosularовой составляющей (от 10 до 28 %), на долю пиропы приходится от 7 до 21 % (табл. 4—5). На диаграмме А. Мортон [23] гранаты тяготеют к полям В и В₁ (рис. 5), которые объединяют минералы с низким содержанием Са и высоким Fe и соответствуют гранатам из метаосадочных пород, претерпевших амфиболитовую стадию метаморфизма.

Минералы группы граната являются обычными компонентами тяжелой фракции песчаников и, как правило, служат доказательством присутствия метаморфических образований в областях размыва.

В условиях выветривания и переноса хромовые шпинели устойчивы, что дает возможность далекой миграции. В связи с этим мы рассмотрели их химический состав и возможные источники сноса. Содержание FeO варьирует в пределах 20—22 мас. %,

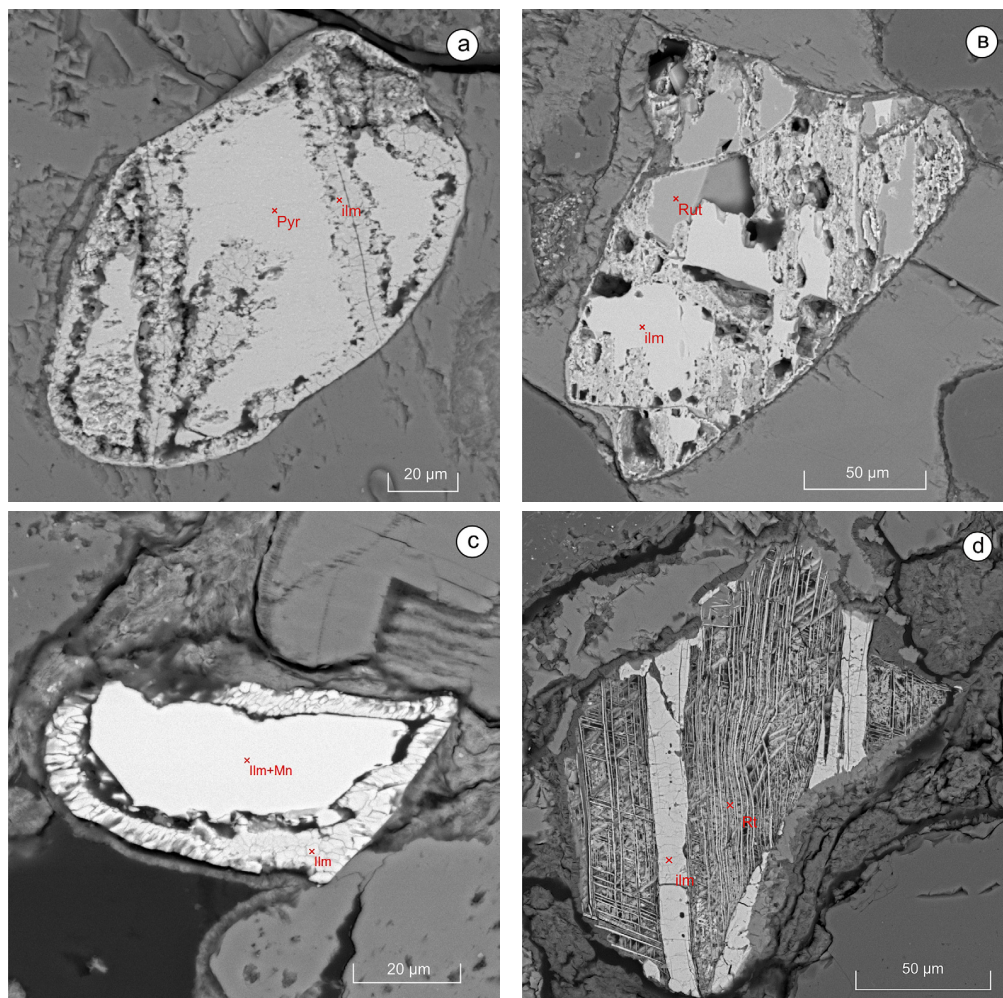


Рис. 3. Ильменит из песчаников нижнего триаса:

a — пирофанит (Pyr) и ильменит (ilm), b — ильменит (ilm) и рутил (Rut); c — пирофанит (Pyr) и ильменит (ilm); d — ильменит (ilm), рутил (Rut)

Fig. 3. Ilmenite from Lower Triassic sandstones:

a — pyrophanite (G1) and ilmenite (G2), b — ilmenite (G1) and rutile (G2); c — pyrophanite (Pyr) and ilmenite (ilm), d — ilmenite (ilm), rutile (Rut)

Таблица 3. Химический состав ильменита из песчаников нижнего триаса, мас. %
Table 3. Chemical composition of detrital garnets from Lower Triassic sandstones, wt. %

Образцы / Samples	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	TiO ₂	V ₂ O ₅	MnO	FeO ₀₆	Сумма / Total
109-116-8-2					53.83		3.1	42.06	99
110-5-5-1	1.13				52.87		1.42	44.64	100.06
110-22-2-2					55.51		3.28	35.75	94.54
110-35-4-2-1				1.67	52.48		5.54	40.53	100.23
110-57-1-5				0.69	49.15		11.82	38.58	100.24
110-60-1-7			0.37		54.97		2.22	39.47	97.03
110-60-1-21			0.29	0.15	50.95	0.83	2.95	41.44	96.7
110-72-2-3		0.38	0.86	1.23	54.02		1.92	32.95	91.37
110-72-3-3			0.26		52.93	0.66	2.73	40.49	97.07
110-75-1-5					47.91	0.92	1.42	47.24	97.49
110-75-2-2-1	1.19		0		54.82	0.67	2.3	38.6	97.59
111-2-1-9-1				0.19	47.51		2.33	46.96	96.99
111-12-4-8				0.34	50.19	0.57	17.45	31.33	99.87
112-9-2-4-1		0.49	5.08	5.6	49.14		5.46	35.37	101.15
113-65-7-8-1	2.77	0.33			48.01		1.93	46.98	100.01
113-93-10-3					52.18		4.04	39.91	96.13
109-50-2-1					43.17	0.49	22.39	31.01	97.06
113-65-7-3-1					49.97		16.04	34.81	100.82
111-21-13-2		0.94	0.29	3.59	56.74		10.68	21.21	93.46
111-12-4-3-1		0.43	1.3	0.69	55.14		3.86	33.03	94.46

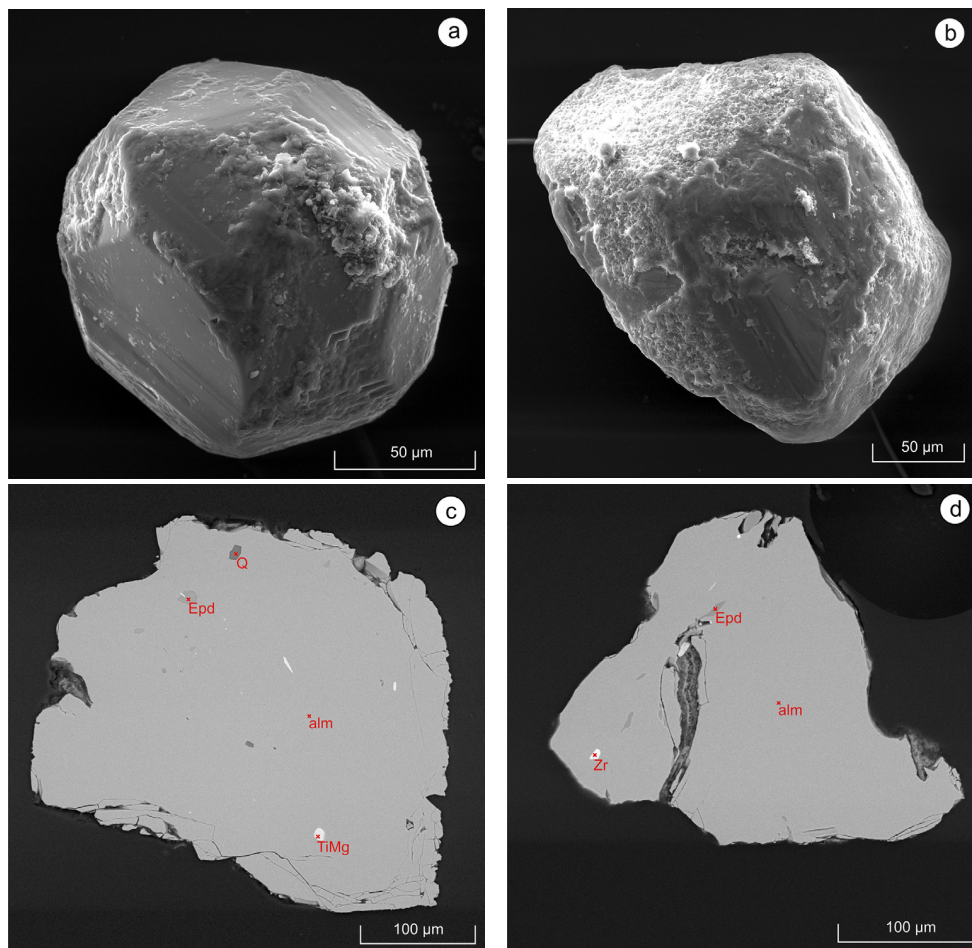


Рис. 4. Обломочный гранат из песчаников нижнего триаса:

a, b — зерна граната, по которым развивается хлорит, с — полированный срез зерна альмандин (alm) с включениями кварца (Q), титаномагнетита (TiMg) и эпидота (Epd); d — полированный срез зерна альмандин с включениями циркона (Zr) и эпидота (Epd)

Fig. 4. Detrital garnet from Lower Triassic sandstones:

a, b — garnet grains, along which chlorite develops, c — polished section of almandine grain (alm) with inclusions of quartz (Q), titanomagnetite (TiMg) and epidote (Epd); d — polished section of almandine grain with inclusions of zircon (Zr) and epidote (Epd)

Таблица 4. Химический состав обломочных гранатов из песчаников нижнего триаса, мас. %

Table 4. Chemical composition of clastic garnets from Lower Triassic sandstones, wt. %

Образцы / Samples	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	FeO _{общ}	Сумма / Total
110-16-4-1	5.02	21.83	38.04	3.68	1.17	31.11	100.85
110-16-4-2-1	0.96	20.8	37.1	7.52	4.54	28.94	99.85
110-16-4-4	5.36	21.74	37.95	3.68	1.82	29.53	100.09
110-16-4-5-1	2.08	20.87	37.3	5.84	9.23	24.79	100.12
110-16-4-6	3.52	21.89	38.42	10.18	3.11	23.98	101.09
110-16-4-7	0.99	21.11	37.16	9.12	2.58	28.48	99.44
110-16-4-8-1	1.82	21.26	37.11	10.33	2.2	26.79	99.51
109-50-2-8	1.87	21.25	37.59	9	1.49	28.8	100

Таблица 5. Расчетные формулы обломочных гранатов из песчаников нижнего триаса

Table 5. Calculated formulas of clastic garnets from Lower Triassic sandstones

Образцы / Sample	Кристаллохимическая формула (кислородный метод) Crystal chemical formula (oxygen method)	Минералы / Minerals
110-16-4-1	(Mn _{0,08} Ca _{0,31} Mg _{0,59} Fe ²⁺ _{2,01}) _{2,99} [Al _{2,01} Fe ³⁺ _{0,01}] _{2,02} Si ₃ O ₁₂	Alm _{68,2} Prp _{19,6} Grs _{10,5} Sps _{2,6}
110-16-4-2-1	(Mn _{0,31} Ca _{0,65} Mg _{0,12} Fe ²⁺ _{1,92}) ₃ [Al _{1,98} Fe ³⁺ _{0,04}] _{2,02} Si ₃ O ₁₂	Alm ₆₆ Prp ₄ Grs ₂₀ Sps ₁₀
110-16-4-4	(Mn _{0,13} Ca _{0,31} Mg _{0,63} Fe ²⁺ _{1,93}) ₃ [Al _{2,02} Fe ³⁺ _{0,02}] _{2,04} Si _{2,99} O ₁₂	Alm ₆₅ Prp ₂₁ Grs ₁₀ Sps ₄
110-16-4-5-1	(Mn _{0,63} Ca _{0,5} Mg _{0,25} Fe ²⁺ _{1,61}) _{2,99} [Al _{1,97} Fe ³⁺ _{0,06}] _{2,03} Si _{3,04} O ₁₂	Alm _{56,2} Prp _{8,4} Grs _{14,2} Sps _{21,2}
110-16-4-6	(Mn _{0,2} Ca _{0,85} Mg _{0,41} Fe ²⁺ _{1,53}) _{2,99} [Al _{1,97} Fe ³⁺ _{0,03}] _{2,0} Si _{2,99} O ₁₂	Alm _{52,2} Prp _{13,6} Grs _{27,3} Sps _{6,9}
110-16-4-7	(Mn _{0,18} Ca _{0,79} Mg _{0,12} Fe ²⁺ _{1,91}) ₃ [Al _{2,01} Fe ³⁺ _{0,01}] _{2,02} Si _{2,99} O ₁₂	Alm ₆₄ Prp _{3,9} Grs _{26,2} Sps _{5,9}
110-16-4-8-1	(Mn _{0,15} Ca _{0,89} Mg _{0,22} Fe ²⁺ _{1,76}) _{3,02} [Al _{3,01} Fe ³⁺ _{0,04}] _{3,05} Si _{2,97} O ₁₂	Alm _{59,7} Prp _{7,2} Grs _{28,2} Sps ₅
109-50-2-8	(Mn _{0,1} Ca _{0,77} Mg _{0,2} Fe ²⁺ _{1,9}) _{2,97} [Al _{1,98} Fe ³⁺ _{0,02}] ₂ Si ₃ O ₁₂	Alm _{64,1} Prp _{7,4} Grs _{25,1} Sps _{3,4}

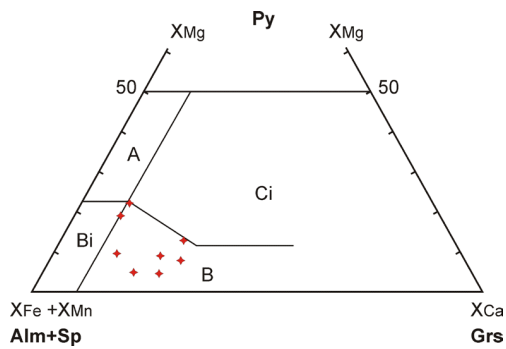


Рис. 5. Фрагмент диаграммы распределения гранатов с полюсами «пироп — альмандин», «спессартин — гроссуляр» [23] и положение на ней гранатов из песчаников нижнего триаса вала Сорокина. А — метасадки гранулитовой фации, В — метасадочные породы амфиболитовой фации, Вi — средние-кислые магматиты, Сi — основные магматиты

Fig. 5. Fragment of the discrimination diagram with molecular proportions of pyrope-almandine and spessartine-grossular as poles [22], and the position on it detrital garnets from the Lower Triassic sandstones. А — metasedimentary granulite facies, В — metasedimentary rocks of the amphibolite facies, Вi — middle felsic magmatites, Сi — basic magmatites

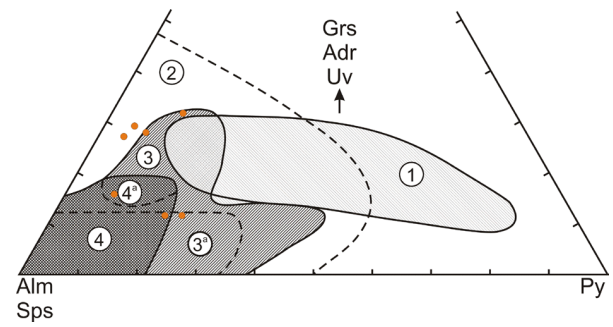


Рис. 6. Диаграмма распределения для гранатов из разных фаций метаморфизма.

Фации: 1 — эклогитовая, 2 — гранулитовая, 3 — амфиболитовая (3^а — биотитовых гнейсов и гранитов), 4 — роговиковая (4^а — из кислых эффузивов) [14]. Alm — альмандин, Adr — андрадит, Grs — гроссуляр, Py — пироп, Sps — спессартин, Uv — уваровит

Fig. 6. Discrimination diagram for garnet from different metamorphic facies.

Facies: 1 — eclogite, 2 — granulite, 3 — amphibolite (3^a — biotite gneiss and granites), 4 — hornfels (4^a — from acid effusive) [14]. Alm — almandine, Adr — andradite, Grs — grossular, Py — pyrope, Sps — spessartine, Uv — uvarovite

содержание Al₂O₃ составляет 18—35 %, MgO — 3—15 %. Кроме того, в их составе содержится FeO_{общ} 12—45 %, TiO₂ до 0.7 % (табл. 6). Химический состав, в зависимости от соотношения главных и второстепенных компонентов, отвечает алюмохромитам и хромпикотитам. Для генетической интерпретации были использованы диаграммы Al₂O₃ — TiO₂ [21] и

TiO₂-Cr/(Cr+Al) [19]. На диаграмме Al₂O₃ — TiO₂ фигуративные точки попадают в поле, характеризующее хромшпинелиды из островных дуг и базальтов срединноокеанических хребтов (рис. 7, а). На диаграмме TiO₂ и Cr/(Cr+Al) они лежат в поле пород, также связанных с островными дугами (рис. 7, б).

Таблица 6. Химический состав хромовых шпинелей из песчаников нижнего триаса, мас. %

Table 6. Chemical composition of chrome spinels from Lower Triassic sandstones, wt. %

Образцы / Samples	MgO	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO _{общ}	Сумма / Total
110-16-9-1-1	13.57	18.79	0.58	46.76	20.63	100.34
110-16-9-1-2	13.1	18.66	0.65	46.02	20.21	98.64
110-16-9-2-1	13.53	18.92	0.66	46.69	20.55	100.35
110-16-9-3-1	13.01	18.86	0.63	46.37	21.16	100.03
110-16-9-4-1	9.09	15.91	1.91	42.7	29.99	99.61
110-16-9-6-1	12.97	18.73	0.66	47	20.92	100.28
110-16-9-6-2	11.97	18.68	0.65	45.92	21.23	98.44
110-16-9-7-1	12.08	18.38	0.65	46.84	21.47	99.43
110-16-9-8-1	12.41	18.47	0.54	45.69	22.13	99.24
110-35-1-1-1	15.53	34.93		36.41	12.19	99.76
110-60-2-6	9.56	15.55		52.98	20	98.77
110-60-9-1	10.39	11.71		57.16	19.29	98.55
110-17-7-1	10.75	14.96	0.27	61.65	13.57	101.4
111-12-3-7	12.43	25.9	0.41	38.29	23.04	100.34
111-22-2-8	14.03	33.35	0.31	33.78	22.66	104.19
109-2-8-1	3.41	2.68	0.45	44.3	45.03	97.08
109-2-20-1	6.09	15.77	0.29	43.27	33.31	99.98
109-87-5-1	6.9	19.77	0.79	39.71	29.88	97.65
109-95-2-2	3.5	10.01		51.31	33.22	98.04
109-95-7-2	9.37	19.51		47.12	22.93	99.09
109-116-10-1	11.57	27.73	0.26	38.93	21.74	101.6
109-116-10-2	3.53	10.72	0.55	33.11	37.81	93.18

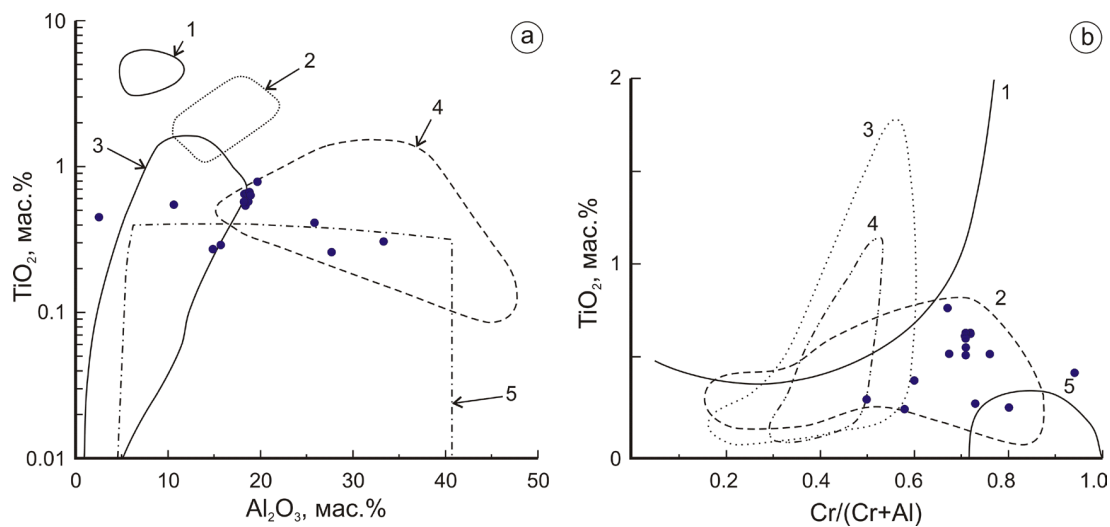


Рис. 7. а — диаграмма Al_2O_3 и TiO [22] и распределение на ней точек состава хромшпинелидов из песчаников нижнего триаса. Поля хромшпинелидов: 1 — из крупных магматических провинций, 2 — из базальтов океанических островов, 3 — из островных дуг, 4 — из базальтов срединноокеанических хребтов, 5 — из надсубдукционных зон; б — диаграмма TiO_2 и $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ [20] и положение в ней хромовых шпинелей из нижнетриасовых песчаников. Поля хромшпинелидов: 1 — из внутриплитных базальтов, 2 — из островных дуг, 3 — из базальтов срединноокеанических хребтов, 4 — из задуговых зон, 5 — из бонинитовых островодужных серий

Fig. 7. a — the Al_2O_3 — TiO plot [21] and the distribution of chromspinel compositions from Lower Triassic sandstones. Fields of the chromspinel from the rocks of: 1 — large igneous province, 2 — basalts of oceanic islands, 3 — island arcs, 4 — basalts of the mid-ocean ridges, 5 — subduction zones. b — The $\text{Cr}/(\text{Cr}+\text{Al})$ plot [19] and the position of the points of chromspinel from the Lower Triassic sandstones. Fields of the chromspinel from: 1 — intraplate basalts, 2 — island arc rocks, 3 — basalts of the mid-ocean ridges, 4 — rocks of back-arc zones, 5 — rocks of the boninite island arc series

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что содержание тяжелой фракции в триасовых граувакках варьирует от 0.1 до 0.6 %. В составе фракции широко представлены такие минералы, как эпидот, магнетит, хромшпинелиды, ильменит, лейкоксен, рутил, титанит, гранат и т. д. Специфической особенностью триасовых отложений является высокое содержание минералов группы эпидота, в целом отмечается уменьшение их количества снизу вверх по разрезу. Источником могли служить метаморфические породы, выведенные на поверхность в результате активизации тектонических движений.

Установлено, что в песчаниках преобладает алмандиновый гранат, при этом на долю гроссуляровой составляющей приходится от 10 до 28 %, пироп — от 7 до 21 %, спессартина — от 3 до 21 %. Источником гранатов, скорее всего, были породы эпидот-амфиболитовой фации метаморфизма.

Как показывают проведенные исследования, обогащение песчаников теми или иными минеральными зернами обусловлено не только составом размываемых пород, но и гидродинамикой потока, а также способом переноса обломочного материала. По мере увеличения динамической сортировки осадков росло содержание железотитанового шлиха, а также отношение «полевые шпаты / слюды» — за счет отмывки из песков легких слюд. Это явление может служить в качестве минералого-геохимического критерия при фациальной диагностике древних толщ.

Таким образом, особенностью минералов тяжелой фракции можно использовать для реконструкции обстановок осадконакопления, учитывая их физико-химические свойства, распределение минералов

по фракциям, их устойчивость в процессе транспортировки.

Автор выражает глубокую признательность за неоценимую помощь и консультации сотрудникам Института геологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН Н. Х. Хачатурян и Е. М. Тропникову. Отдельная благодарность рецензентам за ценные советы и замечания, которые позволили улучшить данную публикацию.

Литература

1. Бадида Л. В., Мизенс Г. А. Кристаллохимическая характеристика акцессорных минералов молассовых песчаников юга Предуральяского прогиба // Геологический вестник. 2015. № 2. С. 77—84.
2. Бадида Л. В., Маслов А. В., Мизенс Г. А. Реконструкция состава пород питающих провинций. Ст. 3. Современные методы исследования тяжелых обломочных минералов (гранатов, турмалинов, хромшпинелидов, рутила и др.) // Литосфера. 2020. № 20(2). С. 149—167.
3. Бружес Л. Н., Изотов В. Г., Ситдикова Л. М. Литолого-фациальные условия формирования горизонта Ю₁ Тевлинско-Русскинского месторождения Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции // Георесурсы. 2010. № 2 (34). С. 6—9.
4. Граувакки // Тр. ГИН. Вып. 238. М.: Наука, 1972. 345 с.
5. Енцова Ф. И., Калантар И. З. Триасовые отложения Тимано-Печорской нефтегазоносной провинции: Материалы по геологии востока Русской платформы. Казань: Изд-во Казанского университета, 1966. С. 138—189.
6. Калантар И. З., Танасова С. Д. Фациальные критерии при стратификации континентальных отложений триаса



// Стратиграфия и литология нефтегазоносных отложений Тимано-Печорской провинции. Л.: Недра, 1988. С. 127—134.

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

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

9. Кухаренко А. А. Минералогия россыпей. М., 1961. 318 с.

10. Мораховская Е. Д. Триасовые литостратоны Тимано-Уральского региона, их взаимоотношения и территориальная приуроченность // Вопросы совершенствования стратиграфической основы фанерозойских отложений нефтегазоносных регионов России. СПб.: Изд-во ВНИГРИ, 1997. С. 34—49.

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

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

13. Селли Р. Ч. Древние обстановки осадконакопления. М.: Недра, 1989. 294 с.

14. Соболев Н. В. Парагенетические типы гранатов. М.: Наука, 1964. 218 с.

15. Тектонические критерии прогноза нефтегазоносности Печорской плиты. Л.: Наука, 1986. 217 с.

16. Тимано-Печорская провинция: геологическое строение, нефтегазоносность и перспективы освоения / М. Д. Белонин, О. М. Прищепа, Е. Л. Теплов и др. СПб.: Недра, 2004. 396 с.

17. Тимошина Р. Г. Петрология метаморфических пород Приполярного Урала. Л.: Наука, 1980. 102 с.

18. Удовиченко Л. А. Структурно-вещественные комплексы и перспективы нефтегазоносности нижнего триаса Тимано-Печорской провинции // Закономерности размещения зон нефтегазоаккумуляции в Тимано-Печорской провинции. Л.: ВНИГРИ, 1986. С. 66—73.

19. Чальшев В. И. Варюхина Л. М. Стратиграфия и спорово-пыльцевые комплексы верхнепермских и триасовых отложений Печорского Урала и гряды Чернышева // Геология и полезные ископаемые Северного Урала и Тимана. Сыктывкар, 1960. С. 49—58.

20. Hegner E., Gruler M., Hann H. P., Chen F., Guldenphenning M. (2005) Testing tectonic models with geochemical provenance parameters in greywacke. J. Geol. Soc. (London), 162, 87—96.

21. Herron M. M. Geochemical classification on terrigenous sands and shales from core or log data/Journal of sedimentary petrology. 1988. V. 58. № 5. Pp. 820—829.

22. Kamenetsky V., Crawford A., Meffre S. (2001) Factors controlling chemistry of magmatic spinel: an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. J. Petrol., 42(4), 655—671.

23. Mange M. A., Morton A. C. (2007) Geochemistry of heavyminerals. Heavy Minerals in Use. Eds M. A. Mange, D. T. Wright. Dev. Sediment., 58. Elsevier, Amsterdam, 345—391.

24. Teraoka Y. (2003) Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan. Bull. Geol. Surv. Japan, 54, 171—192.

References

1. Badina L. V., Misens G. A. *Kristallohimicheskaya harakteristika aktsessornykh mineralov molassovykh peschanikov yuga Preduralskogo progiba* (Crystallochemical characteristics of accessory minerals of molass sandstones of the South of the pre-Ural foredeep). Geologicheskii Vestnik, 2015, No. 2, pp. 77—84

2. Badida L. V., Maslov A. V., Mizens G. A. *Rekonstruktsiya sostava porod pitayuschih provintsii. Stat'ya 3. Sovremennye metody issledovaniya tyazhelykh oblomochnykh mineralov (granatov, turmalinov, hromshpinelidov, rutila i dr.)* (Reconstruction of the composition of rocks of feeding provinces. Article 3. Modern methods of investigation of heavy clastic minerals (garnets, tourmalines, chromspinelides, rutile, etc.)). Lithosphere, 2020, No. 20(2), pp. 149—167.

3. Bruzhes L. N., Izotov V. G., Sitdikova L. M. *Litologofatsialnye usloviya formirovaniya gorizonta Yu1 Tevlinско-Russkinskogo mestorozhdeniya Zapadno-Sibirskoi neftegazonosnoi provintsii* (Lithofacies conditions of J₁ horizon formation within the Tevlinско-Russkinskoe deposit). Georesources, 2 (34), 2010, pp. 6—9

4. *Grauwacki* (Greywackes). Tr. GIN, Issue 238, Moscow: Science, 1972, 345 p.

5. Entsova F. I., Kalantar I. Z. *Triasovye otlozheniya Timano-Pechorskoi neftegazonosnoi provintsii* (Triassic deposits of the Timan-Pechora oil and gas province). Materials on the Geology of the East of the Russian platform. Kazan: Kazan University publishing House, 1966, pp. 138—189.

6. Kalantar I. Z., Tanasova S. D. *Fatsialnye kriterii pri stratifikatsii kontinentalnykh otlozhenii triasa* (Facial criteria for stratification of continental deposits of Triassic. In: Stratigraphy and lithology of oil and gas bearing deposits of Timan-Pechora basin). Leningrad: Nedra, 1988, pp. 127—134

7. Kiritchkova A. I. *Stratotipicheskie i opornye razrezy nizhnego triasa Timano-Pechorskoi neftegazonosnoi provintsii: litologiya, fatsial'nye osobennosti* (Stratotipicheskie I opornye razrezy nizhnego triasa Timano-Pechorskoy neftegazonosnoi provintsii: lithologia, fatsialnyi osobennosti). Neftegazovaya geologia. Theory and practice, 2013, 8(4), No.4, http://www.ngtp.ru/rub/2/45_2013.pdf

8. Kossovskaya A. G., Tuchkova M. I. *K probleme mineralogo-petrohimicheskoi klassifikatsii i genezisa peschanykh porod* (Problem of mineralogy and petrochemistry classification and genesis of sandstones). Lithology and poleznye iskopaemye, 1988, No. 2, pp. 8—24

9. Kухаренко А. А. *Mineralogiya rossypei* (Mineralogy of placers). Moscow, 1961, 318 p.

10. Morakhovskaya E. D. *Triasovye litostratony Timano-Ural'skogo regiona, ih vzaimootnosheniya i territorial'naya priurochennost'. Voprosy sovershenstvovaniya stratigraficheskoi osnovy fanerozoiskikh otlozhenii neftegazonosnykh regionov Rossii* (Triassic lithostrathons of the Timan-Ural region, their relationship and territorial timing. In: Questions of improving the stratigraphic basis of Phanerozoic deposits of oil and gas-bearing regions of Russia). Saint Petersburg: VNIGRI Publishing house, 1997, pp. 34—49.

11. Morakhovskaya E. D. *Trias Timano-Ural'skogo regiona (opornye razrezy, stratografiya, korrelyatsiya). Biohronologiya i korrelyatsiya fanerozooya neftegazonosnykh basseinov Rossii* (Trias of the Timan-Ural region (reference sections, stratigraphy, correlation). In: Biochronology and correlation of Phanerozoic oil and gas basins in Russia). Saint Petersburg: VNIGRI, 2000, Issue 1, 80 p.

12. Pettijohn F. J., Potter P. E., Siever R. *Peski i peschaniki* (Sand and sandstones). Moscow: Mir, 1976, 536 p.

13. Selley R. S. *Drevnie obstanovki osadkonakopleniya* (Ancient sedimentary environments). Moscow: Nedra, 1989, 294 p.



14. Sobolev N. V. *Parageneticheskie tipy granatov* (Paragenetic types of garnets). Moscow: Nauka, 1964, 218 p.
15. *Tektonicheskie kriterii prognoza neftegazonosnosti Pechorskoj plity* (Tectonic criteria for the forecast of oil and gas content of the Pechora plate). Leningrad: Nauka, 1986, 217 p.
16. *Timano-Pechorskaya provintsiya: geologicheskoe stroenie, neftegazonosnost' i perspektivy osvoeniya* (Timan-Pechora province: geological structure, oil and gas potential and development prospects). M. D. Belonin, O. M. Prishchepa, E. L. Teplov and others. St. Petersburg: Nedra, 2004, 396 p.
17. Timonina R. G. *Petrologiya metamorficheskikh porod Pripolyarnogo Urala* (Petrology of metamorphic rocks of the circumpolar Urals). Leningrad: Nauka, 1980, 102 p.
18. Udovitchenko L. A. *Strukturno-veschestvennye komplekсы i perspektivy neftegazonosnosti nizhnego triasa Timano-Pechorskoj provintsii. Zakonomernosti razmescheniya zon neftegazonakopleniya v Timano-Pechorskoj provintsii* (Structural and mineralogical complexes and prospective of oil and gas bearing of Lower Triassic in Timan-Pechora Basin. In: The Location of oil and gas accumulation zones in Timan-Pechora Basin). Leningrad: VNIGRI, 1986, pp. 66–73
19. Chalyshev V. I., Varyukchina L. M. *Stratigrafiya i sporo-rovo-pyltsevye komplekсы verhnepersmskih i triasovykh otlozhenii Pechorskogo Urala i gryady Chernysheva. Geologiya i poleznye iskopaemye Severnogo Urala i Timana* (Stratigraphy and spore-pollen complex of Upper Permian and Triassic deposits of Pechora Ural and Chernyshev swell. In: Geologia and poleznye iskopaemye Severnogo Urala I Timana). Syktyvkar, 1960, pp. 49–58
20. Hegner E., Gruler M., Hann H. P., Chen F., Guldenphenning M. Testing tectonic models with geochemical provenance parameters in greywacke. *J. Geol. Soc. (London)*, 2005, 162, pp. 87–96.
21. Herron M. M. Geochemical classification on terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of sedimentary petrology*, 1988, V.58, No. 5, pp. 820–829.
22. Kamenetsky V., Crawford A., Meffre S. Factors controlling chemistry of magmatic spinel an empirical study of associated olivine, Cr-spinel and melt inclusions from primitive rocks. *J. Petrol.*, 2001, 42(4), pp. 655–671.
23. Mange M. A., Morton A. C., Geochemistry of heavy minerals. *Heavy Minerals in Use*. Eds M. A. Mange, D. T. Wright. *Dev. Sediment.*, 2007, 58, Elsevier, Amsterdam, pp. 345–391.
24. Teraoka Y. Detrital garnets from Paleozoic to Tertiary sandstones in Southwest Japan. *Bull. Geol. Surv. Japan*, 2003, 54, pp. 171–192.

Поступила в редакцию / Received 01.09.2020