

УДК 552.51+551.734

СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ВУЛКАНОКЛАСТИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ НИЖНЕГО ДЕВОНА ЗАПАДНО-МАГНИТОГОРСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА

© 2017 г. Р. И. Зайнуллин

*Институт геологии Уфимского НЦ РАН
Бакирский государственный университет
450077, г. Уфа, ул. К. Маркса, 16/2
E-mail: zri-bgu@mail.ru*

Поступила в редакцию 12.08.2016 г.

Принята к печати 05.10.2016 г.

В статье приведены результаты исследования песчаников ускульской и ильтибановской толщ нижнего девона, представленных полевошпатовыми граувакками и собственно граувакками петрокластической разновидности согласно классификации В.Н. Шванова. Упомянутые граувакки сложены преимущественно продуктами разрушения вулканических пород с примесью пирокластического материала (обломками вулканитов основного и среднего состава, кристаллами плагиоклаза и пироксена). В составе песчаников разреза Ильтибаново присутствуют обломки метаморфических и карбонатных пород. Эти породы отличаются от песчаников из разрезов Ускуль и Талышман по составу и распределению малых элементов. Источником вещества для рассматриваемых песчаников служила островная дуга. Транспортировка обломочного материала осуществлялась турбидными потоками.

Ключевые слова: *песчаники, граувакки, петрографический и химический состав, нижний девон, Западно-Магнитогорская зона, островная дуга.*

ВВЕДЕНИЕ

Магнитогорская мегазона Южного Урала представляет собой уникальный по сохранности фрагмент островной дуги, активно развивавшейся в девонское время (Пучков, 2000). Вулканическая деятельность в ее пределах, судя по палеонтологическим данным, началась в баймак-бурибаевское время (поздний эмс). В течение лохкова, прагиена и раннего эмса на этой территории отмечается накопление преимущественно осадочных отложений (Артюшкова, Маслов, 2001; Маслов, Артюшкова, 2010).

К нижнему девону в северной части Западно-Магнитогорской зоны (ЗМЗ) относятся ускульская, ильтибановская и мансуровская толщи (рис. 1) (Маслов, Артюшкова, 2010; Мизенс, 2009).

Сложены они вулканокластическими песчаниками, силицитами, кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами, известняками и, реже, вулканитами различного состава (Зайнуллин, 2014). Данные отложения в большинстве случаев расположены в зоне Главного Уральского разлома или в непосредственной близости от нее, поэтому разрезы осложнены разрывными нарушениями и редко являются непрерывными. По этой причине и в связи с малым количеством находок фауны прово-

дить корреляцию разных частей разреза не всегда возможно.

Нижнедевонские отложения на рассматриваемой территории изучались многими исследователями (Артюшкова, Маслов, 2001; Зайнуллин, 2012, 2014; Кокшина, 2013; Маслов, Артюшкова, 2010; Мизенс, 2009; Чибрикова, 1977; и др.). Тем не менее кластические разности этих образований относительно слабо изучены, хотя распространены достаточно широко. Это относится и к стратотипическим разрезам, известным в северной части ЗМЗ и датированным биостратиграфическими методами. Строение, состав и условия образования этих отложений рассматриваются в данной работе в первую очередь в целях установления обстановок седиментации в раннедевонском бассейне и детализации истории развития Магнитогорской островодужной системы на начальном этапе ее формирования.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗОВ

Ускульская толща наилучшим образом обнажена на южном берегу оз. Ускуль, ильтибановская – в урочище Талышман, у д. Уразово и на берегу Ильтибановского водохранилища (рис. 2). В этих разрезах доступны для изучения контакты разнофаци-

Отдел	Ярус	Западно-Магнитогорская структурно-формационная зона			
		Присакмарско-Вознесенская подзона			Узункырская подзона
Средний девон	Эйфельский	Кульбердинский комплекс (до 1000 м)	?		Ярлыкаповская свита: яшмоиды (20–100 м)
		Губерлинский вулканогенно-осадочный комплекс (700–1500 м)	Ирендыкская свита: базальты, андезибазальты, туфы, тефроиды (до 1200 м)		
Нижний девон	Эмский	Мостостровский комплекс: субщелочные вулканы (до 1000 м)	Ильтибановская толща: вулканокластические песчаники, алевролиты, микститы, кремнисто-глинистые сланцы (200–300 м)	Мансуровская толща: вулканокластические песчаники, алевролиты, гравелиты, кремнисто-глинистые сланцы, микститы с обломками известняков (300–700 м)	Аналоги баймак-бурибаевской свиты
		Мазовская свита: кремнистые конглобрекции, гравелиты, песчаники, глинисто-кремнистые сланцы (200–300 м)			Аналоги баймак-бурибаевской свиты
	Правский	Сакмарская свита (верхняя часть)			Рыскужинская толща: вулканокластические песчаники, алевролиты, гравелиты, аргиллиты, известняки (300–400 м)
	Лохковский				Ускульская толща: вулканокластические песчаники, алевролиты, кремнисто-глинистые сланцы, известняки (300–500 м)
					?

Рис. 1. Схема стратиграфии нижнедевонских отложений ЗМЗ по (Маслов, Артюшкова, 2010; Стратиграфические схемы..., 1993).

Fig. 1. The stratigraphic chart of the Lower Devonian sediments of WMZ by (Maslov, Artyushkova, 2010; Stratigraficheskie skhemy..., 1993).

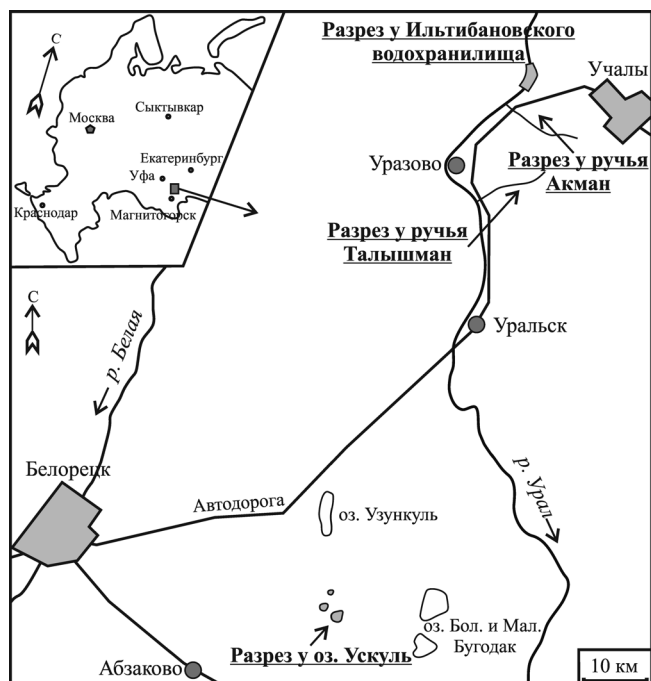


Рис. 2. Местоположение изученных разрезов нижнедевонских отложений.

Fig. 2. Location of studied sections of the Lower Devonian sediments.

альных комплексов, отложения имеют сравнительно большие мощности и в кластических разностях относительно слабо проявлены постдиагенетические изменения, что является редкостью для данной территории.

Разрез района оз. Ускуль

Стратотипический разрез ускульской толщи (рис. 3) представлен вулканитами, вулканокластическими песчаниками, алевролитами, кремнистыми аргиллитами и известняками. Основание разреза обнажается у северо-восточной части д. Аслаево и сложено преимущественно вулканитами. Это массивные серо-зеленые плагиоклазовые и пироксен-плагиоклазовые порфиры, а также кластолавы, состоящие из сцементированных обломков пироксен-плагиоклазовых порфиритов. Темно-фиолетовые, красновато-бурые, зеленые угловатые обломки вулканитов разной размерности (0.5–20 см) в этих кластолавах погружены в светло-серую

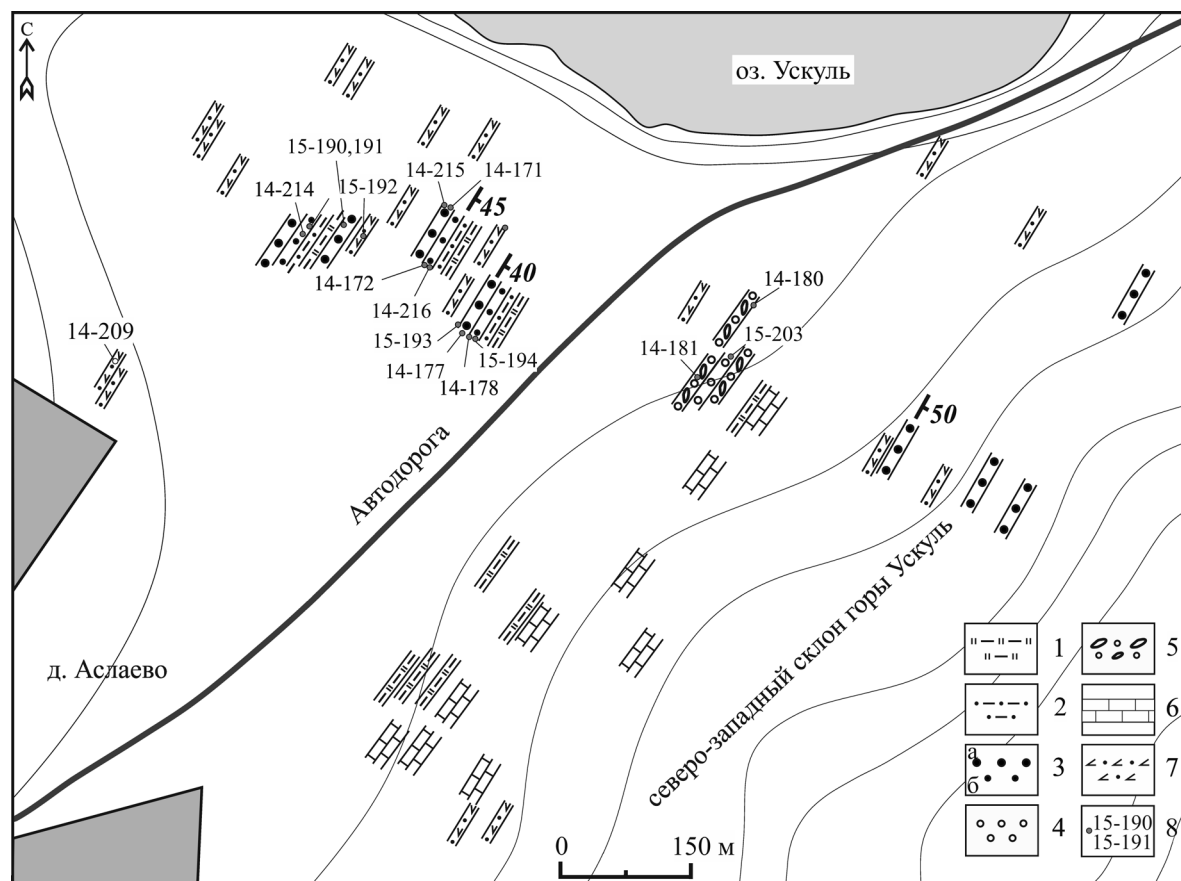


Рис. 3. Схематический геологический план окрестностей оз. Ускуль с точками опробования.

1 – кремни, кремнисто-глинистые сланцы; 2 – алевролиты; 3 – крупно- (а) и мелкозернистые (б) песчаники; 4 – гравелиты; 5 – микститы; 6 – известняки; 7 – вулканиды; 8 – точки опробования и их номера.

Fig. 3. Schematic geological plane of the surroundings of the Uskul Lake with points of sampling.

1 – cherts, siliceous-clayey shales; 2 – siltstone; 3 – large (a) and fine-grained (b) sandstones; 4 – gravelite; 5 – mixtites; 6 – lime-stones; 7 – volcanic; 8 – sampling points and their numbers.

зеленоватую цементирующую массу (рис. 4а). Размер вкрапленников пироксена и плагиоклаза во всех порфиритах может достигать 2 мм. Вулканиды слагают потоки мощностью 10–15 м. Суммарная мощность их составляет на этом участке 100–120 м.

Выше по разрезу вулканиды переслаиваются с осадочными породами, слагающими характерные циклиты, мощностью 0.3–0.5 м – в нижней части серо-зеленные крупно-, средне- или мелкозернистые песчаники (иногда алевролиты) с градиционной сортировкой материала, которые по направлению вверх постепенно сменяются тонкослоистыми аргиллитами. Мощности песчаных интервалов в этих циклитах обычно достигают 0.2–0.3 м. В аргиллитах часто наблюдается слабо волнистая слоистость. Встречаются также маломощные циклиты (10.0–15.0 см), которые сложены мелкозернистыми песчаниками, алевролитами и аргиллитами

(рис. 4б). Все эти кластолиты формируют пачки мощностью 15–25 м, в совокупности составляя в разрезе около 200 м.

В верхней части разреза среди песчаников появляются слои кремнисто-глинистых сланцев мощностью 0.5–1.0 м. У подножья склона горы Ускуль они слагают пачку мощностью 15–20 м. Заканчивают разрез серые, светло-серые перекристаллизованные известняки мощностью 85–110 м, в которых В.А. Масловым в 1980 г. (Маслов, Артющкова, 2010; Фазлиахметов, 2015) найдены нижнедевонские брахиоподы. Мощность всего разреза на данном участке составляет примерно 520 м.

Разрез урочища Талышман

Разрез расположен в 3 км к юго-востоку от д. Уразово, на левом берегу ручья Талышман. Из слагающих его песчаников и кремнисто-глинистых

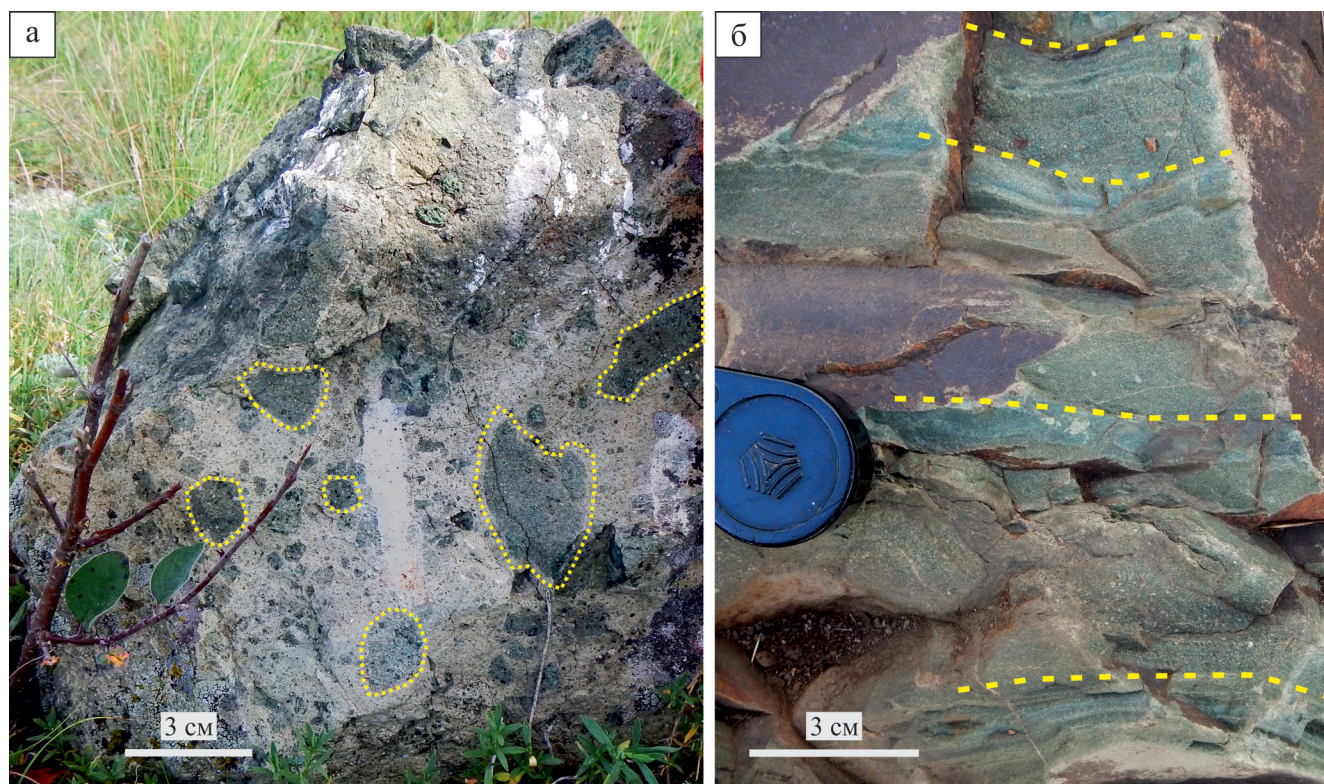


Рис. 4. Кластолава (а) и песчаники с градационной сортировкой обломочного материала (б) в разрезе Ускуль.

Fig. 4. Klastolava (a) and sandstones with graded bedding (б) in Uskul section.

сланцев получен комплекс спор, свидетельствующий о нижнедевонском возрасте вмещающих пород (Чибрикова, 1977). По мнению И.С. Анисимова, В.А. Маслова и О.В. Артюшковой (Маслов, Артюшкова, 2010), в этом разрезе наблюдается контакт ильтибановской толщи нижнего девона с вулканитами ирендыкской свиты среднего девона. Нижнедевонские отложения здесь представлены силицитами, известняками, вулканокластическими песчаниками и кремнисто-глинистыми сланцами (рис. 5а), но разрез в значительной степени задренован и осложнен разломами.

В основании разреза залегают песчаники серозеленые крупно- и среднезернистые трещиноватые выветрелые с редкими прожилками кварца. Выходов их немного, и в основном они плохой сохранности, что не позволяет провести более детальное описание. Суммарная мощность этих отложений составляет 20–30 м. Выше по разрезу залегают силициты (светло-серые, серые, черные, трещиноватые с тонкими глинистыми прослоями и многочисленными прожилками кварца), слагающие пачку мощностью 60–70 м. Перекрывают их известняки светло-серые и серые суммарной мощностью 10–15 м, детально описанные А.М. Фазлиахметовым, (2014). В верхней части разреза среди известняков снова появляются кремнистые сланцы неболь-

шой мощности (3–5 м). Венчают разрез вулканиты ирендыкской свиты. Видимая мощность всего разреза составляет 130–140 м.

Разрез у Ильтибановского водохранилища

Стратотипической местностью ильтибановской толщи являются окрестности Ильтибановского водохранилища (рис. 5б). Здесь, у плотины, толща представлена глинистыми, кремнисто-глинистыми сланцами, ритмично чередующимися гравелитами, песчаниками, алевролитами с прослоями кремнистых сланцев и микститами с валунами и отломами силицитов. Отложения датированы находками нижнедевонских растительных микрофоссилий и конодонтов (Маслов, Артюшкова, 2010; Чибрикова, 1977).

Данный разрез видимой мощностью 250–300 м условно можно разделить на три части. Нижняя, видимой мощностью 15–20 м, представлена серыми, темно-серыми глинистыми и кремнисто-глинистыми сланцами, вскрытыми в небольших выходах выше плотины и прослеживающимися вниз по течению р. Урал вдоль берега.

Средняя часть разреза сложена чередующимися песчаниками, алевролитами и кремнисто-глинистыми сланцами (рис. 6а). Обломочные по-

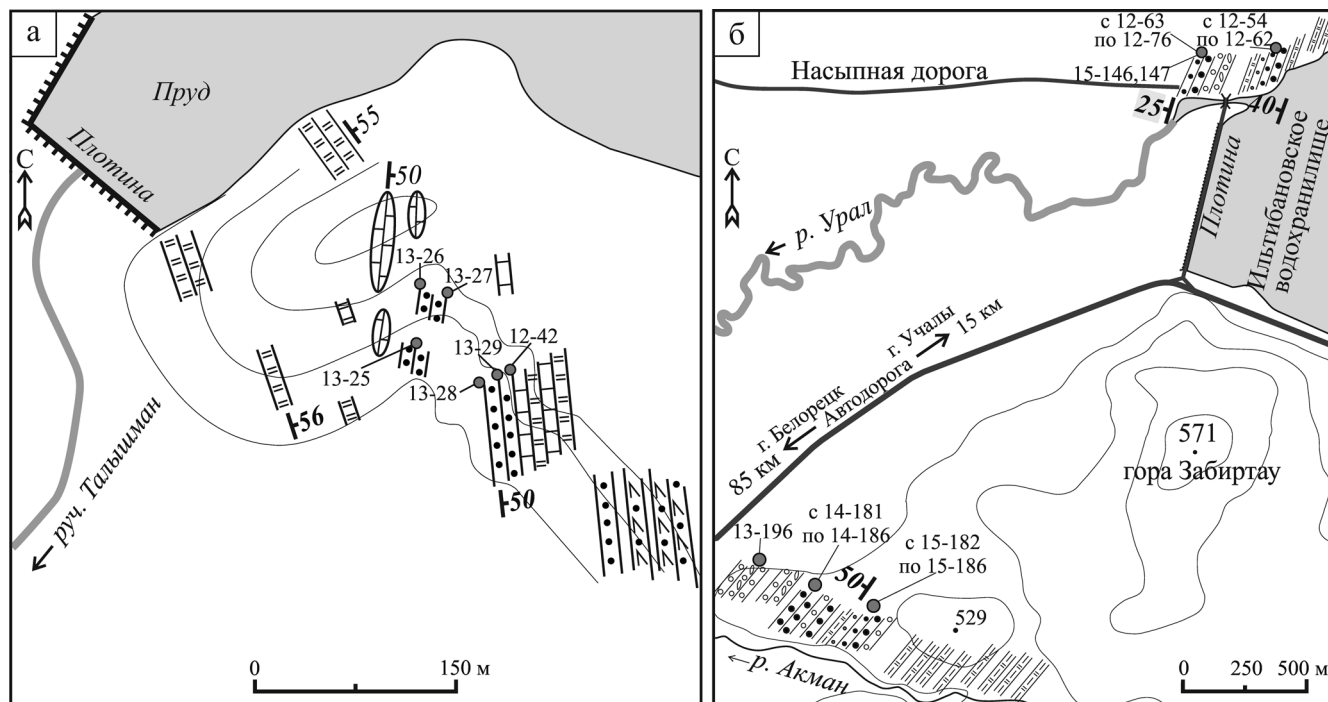


Рис. 5. Схематичный геологический план окрестностей урочища Талышман (а) и Ильтибановского водохранилища и ручья Акман (б) с точками опробования.

Условные обозначения см. на рис. 3.

Fig. 5. Schematic geological plane of the neighborhood of Talyshman stream (а) and Iltibanovo reservoir and stream Akman (б) with sampling points.

For the legend see Fig. 3.

роды слагают циклиты мощностью 0.3–1.0 м с градационной сортировкой обломочного материала (Зайнуллин, 2012). В нижней части этих циклитов распространены грубо-крупнозернистые песчаники, нередко с обломками гравийно-галечной размерности, в верхней – песчаники средне-мелкозернистые и алевролиты. Гравий и галька представлены кремнями (возможно, из подстилающих пород) (рис. 6б). Вверх по разрезу мощности циклитов увеличиваются (до 2–5 м), в их основании чаще появляются грубозернистые песчаники, гравелиты и дресвяно-щебневые микститы. Кровля этих циклитов сложена крупно- и среднезернистыми песчаниками. Дресвяно-щебневые микститы состоят из обломков однородных силицитов разной формы и размерности и вулканитов основного и среднего состава. Количество обломков силицитов в микститах постепенно увеличивается вверх по разрезу. В совокупности песчано-алевритовые циклиты образуют небольшие серии мощностью 2.5–3.0 м, которые переслаиваются с пачками силицитов и алевролитов мощностью 0.7–1.0 м.

Верхняя часть разреза представлена преимущественно плохо сортированными грубозернистыми и дресвяно-щебневыми микститами (аналогичными вышеописанным), расположенными в осно-

вании циклитов. Мощность их достигает 2.0–2.5 м. Верхняя часть этих циклитов сложена средне-мелкозернистыми песчаниками и алевролитами со слабо выраженной волнистой слоистостью. В микститах появляются блоки и валуны темно-серых массивных и слоистых силицитов (рис. 6в, г). Их форма угловатая, удлиненная, реже округлая, контуры плавные, иногда с выступами. Пачки тонкослоистых кремней и алевролитов в этой части разреза не обнаружены. Мощность данного интервала составляет примерно 70–80 м.

Отложения описанного разреза прослеживаются на юго-запад до ручья Акман (4–5 км), обнажаясь вдоль его правого берега в небольших коренных выходах (см. рис. 5б). Здесь преобладают грубозернистые разности и микститы (аналогичные вышеописанным). Выходы ритмично переслаивающихся крупно-, средне- и мелкозернистых песчаников встречаются реже, возможно, они задернованы.

МИНЕРАЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Песчаники из всех изученных разрезов являются полевошпатовыми и собственно граувакками петрокластической разновидности согласно клас-

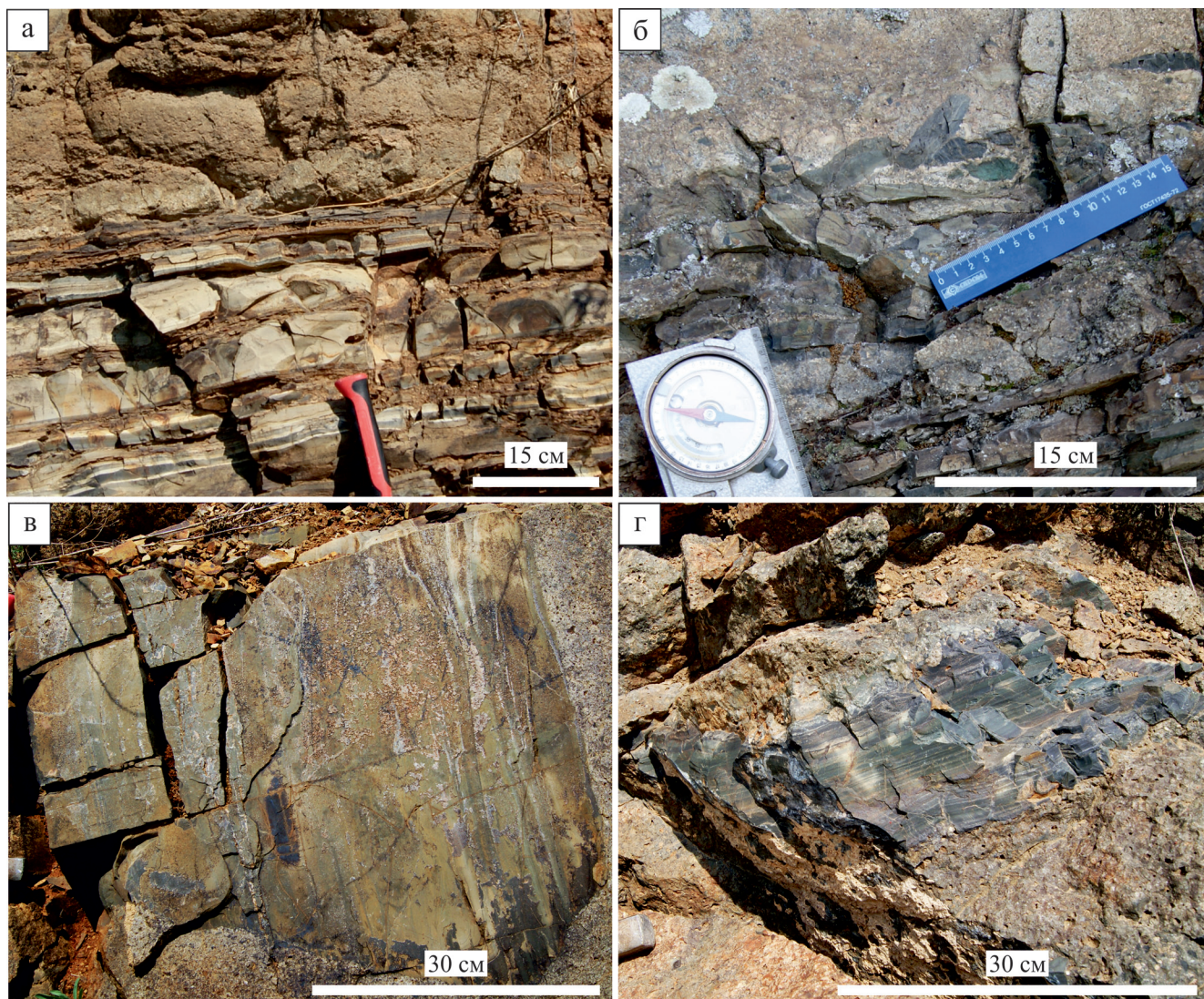


Рис. 6. Горные породы ильтибановской толщи.

а – переслаивание песчаников с градационной сортировкой материала и кремнисто-глинистых сланцев с алевролитами, б – обломки кремней гравийно-галечной размерности в основании циклитов, в, г – блоки и валуны массивных (в) и слоистых (г) кремней в микститах в разрезе Ильтибаново.

Fig. 6. Il'tibanovo strata rocks.

а – interbedded sandstones with graded bedding and siliceous-clayey shales with siltstone, б – fragments of chert gravel-pebble size in the bottom of cyclites, в, г – blocks and boulders of massive (v) and layer (r) cherts in mixtites from Il'tibanovo section.

сификации В.Н. Шванова (1998) (рис. 7). Они сложены преимущественно обломками вулканитов основного и среднего состава, кристаллами плагиоклаза и пироксена.

Среди песчаников района оз. Ускуль выделяются кристаллолитокластические и кристаллокластические разности. Первые сложены обломками вулканитов и кристаллами плагиоклаза (рис. 8а, б), они существенно преобладают. Обломки вулканитов в этих песчаниках представлены плагиоклазовыми, пироксен-плагиоклазовыми порфиридами с пилотакситовой, гиалопилитовой, интерсер-

пиритовой структурой основной массы. Для них характерна угловато-округлая, округлая, реже остроугольная или неправильная форма, встречаются зерна с зазубренными контурами. Размер их варьирует от 0.2–0.5 до 1.0–1.6 мм. По шкале округленности А.В. Хабакова (1946) (здесь и далее) они имеют значения 1–2 балла, реже 3. Контакты между зернами конформные, реже сутуровидные. Кристаллокласты плагиоклазов таблитчатой, реже удлиненно-призматической формы с угловатыми, реже округленными, неровными, изогнутыми контурами, часто полисинтетически двойнико-

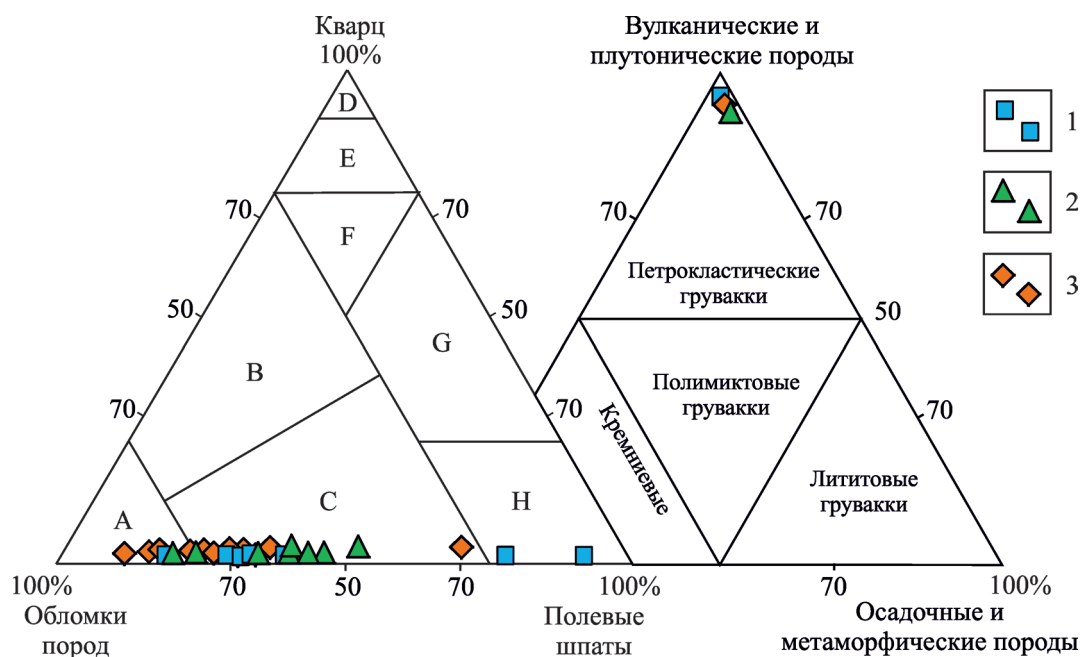


Рис. 7. Классификационные диаграммы В.Н. Шванова (1998) для определения состава песчаников.

1–3 – песчаники из разрезов: 1 – Ускуль, 2 – Талышман, 3 – Ильтибаново. Поля на основной диаграмме: А – гравякки, В – кварцевые гравякки, С – полевошпатовые гравякки; песчаники: D – кварцевые, E – олигомиктовые, F – мезомиктовые, G – аркозовые, H – полевошпатовые.

Fig. 7. V.N. Shvanov (1998) classification chart for determining the composition of sandstones.

1–3 – sandstones of the section: 1 – Uskul', 2 – Talyshman, 3 – Il'tibanovo. Field on the main chart: A – greywacke, B – quartz greywacke, C – feldspathic greywacke; sandstones: D – quartz, E – oligomictic, F – mezomictic, G – arkose, H – feldspatic.

ванные. Размер их 0.6–1.0 мм, реже 0.2–0.4. Сортировка песчаников плохая, средняя и, редко, хорошая, упаковка зерен плотная. Цемент глинистый, глинисто-хлоритовый, хлоритовый ожелезненный составляет 10–30 % от площади шлифа. Вторичные процессы проявляются в виде хлоритизации, эпидотизации и кальцитизации по отдельным кристаллам плагиоклаза. В обломках вулканитов встречаются зеленовато-голубой пумпеллиит, возможно, развитый по пироксену, и мелкопластинчатый радиально-лучистый пренит, образованный по зернам плагиоклаза.

Песчаники с кристаллокластической мелкозернистой структурой сложены кристаллами плагиоклаза и, в меньшей степени, пироксена (5–10 %). Плагиоклаз в них аналогичен вышеописанному, контуры его слабо округлые (1–2 балла). Кристаллы пироксена имеют преимущественно овальную форму с округленностью 3–4 балла. Преобладают кристаллы размером 0.3–1.0 мм, реже 0.1–0.2. Цемент базальный, поровый глинистый, глинисто-хлоритовый, занимает 30% от объема породы. Кристаллы плагиоклаза эпидотизированы, пироксена – хлоритизированы, иногда полностью.

Вулканиды, с которыми переслаиваются в разрезе пачки песчаников, представлены пироксен-

плагиоклазовыми и плагиоклазовыми порфиритами с пилотакситовой, гиалиновой, гиалопилитовой и интерсертальной структурой (рис. 8в, г). Фенокристаллы представлены идиоморфными плагиоклазами и пироксенами с призматическими, прямоугольными и неправильными формами. Реже встречается серпентинизированный оливин с неправильной сетчатой структурой. Вкрапленники по количеству существенно уступают материалу основной массы. Их размер 0.4–0.8 и 1–2 мм. Некоторые зерна плагиоклаза частично или полностью замещены хлоритом, реже эпидотизированы. Часто встречается зеленовато-голубой пумпеллиит в виде тонких пластинок или зернышек, развитый по пироксену.

Песчаники разреза Талышман (д. Уразово) состоят из обломков вулканитов, кристаллокластов плагиоклаза и кварца. Обломки вулканитов представлены плагиоклазовыми порфиритами, реже пироксен-плагиоклазовыми (рис. 9), основная масса которых сложена лейстами плагиоклаза и пелитовым материалом, образующими пилотакситовую или гиалиновую структуру и слабовыраженную флюидальную текстуру. Вкрапленники плагиоклаза в порфиритах аналогичны ускульским. Размеры обломков вулканитов составляют 0.2–1.8 мм,

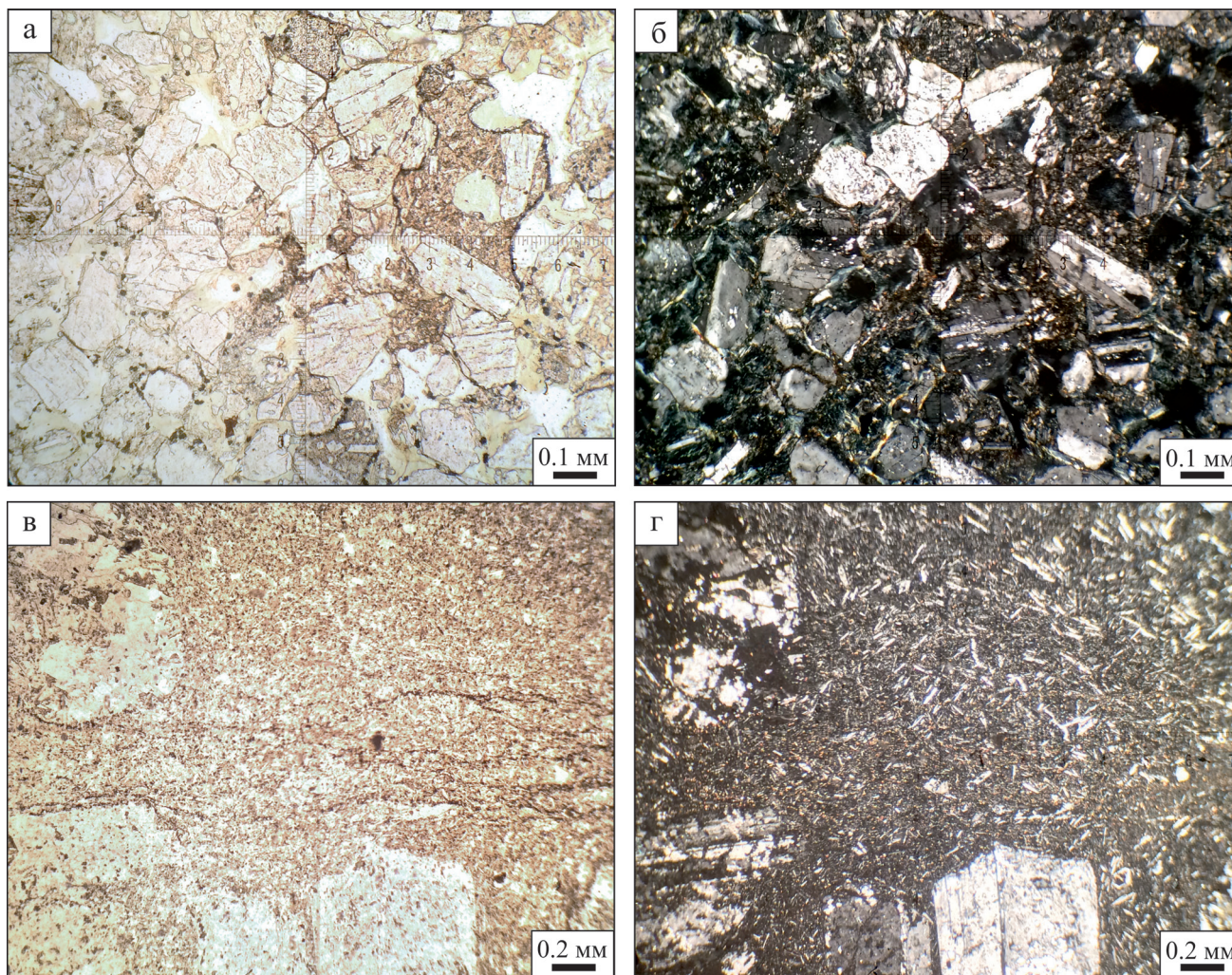


Рис. 8. Породы разреза Ускуль.

а, б – песчаники; в, г – вулканики (слева – без анализатора, справа – с анализатором).

Fig. 8. Uskul' section rocks.

а, б – sandstones; в, г – volcanics (left – without the analyzer, right – with the analyzer).

реже 2.0–3.0. Зерна имеют угловато-округлую, округлую форму со значениями 1–2 балла, чаще 2–3. Кристаллокласты представлены плагиоклазом угловато-округлой формы, реже таблитчатой. Размер их 0.2–0.4 мм. В небольшом количестве (менее 1%) присутствуют зерна кварца угловатой формы, размером 0.2–0.8 мм. Сортировка песчаников плохая, реже средняя, упаковка плотная. Цемент глинисто-хлоритовый, хлоритовый. Набор вторичных минералов такой же, что и в песчаниках разреза Ускуль.

Песчаники Ильтибановского водохранилища отличаются от вышеописанных в первую очередь более пестрым составом слагающих частиц. Они состоят преимущественно из обломков плагиоклазовых порфиритов (70–80%), полевых шпатов (10–15%), кремней (5–10%), единичных зерен пирок-

сенов, известняков и кварцитов (рис. 10а, б). Плагиоклазовые порфириты имеют те же структуры, что и вулканики в обломках песчаников разрезов Ускуль и Талышман, но в них преобладают интерсерральная и пилотакситовая структуры. Плагиоклаз в порфиритах представлен крупными кристаллами таблитчатой, призматической, удлиненно-призматической формы, иногда образует гломеропорфировые сростки. В песчаниках он встречается также в виде обособленных кристаллокластов таблитчатой формы, реже изометрической. Размеры обломков вулкаников составляют 0.3–2.5 мм, редко 3.0 и более. Сортировка песчаников плохая, иногда средняя. Зерна практически не округлые и не окатанные (0–1 балла). Контуры их неровные, извилистые, иногда слабо зазубрены. Они плотно прилегают друг к другу, контакты между ними конформ-

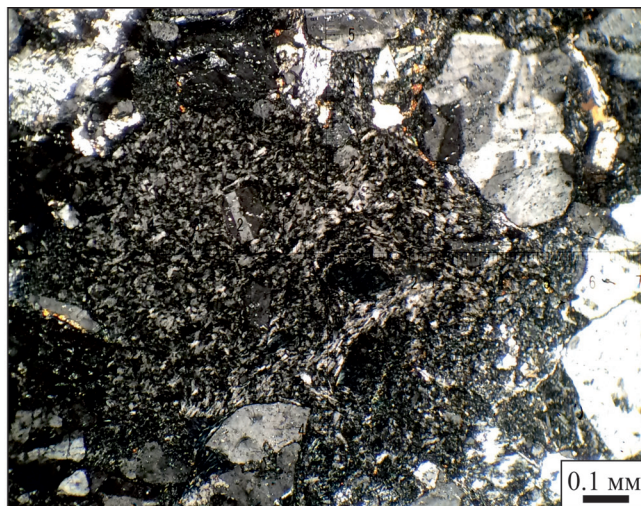
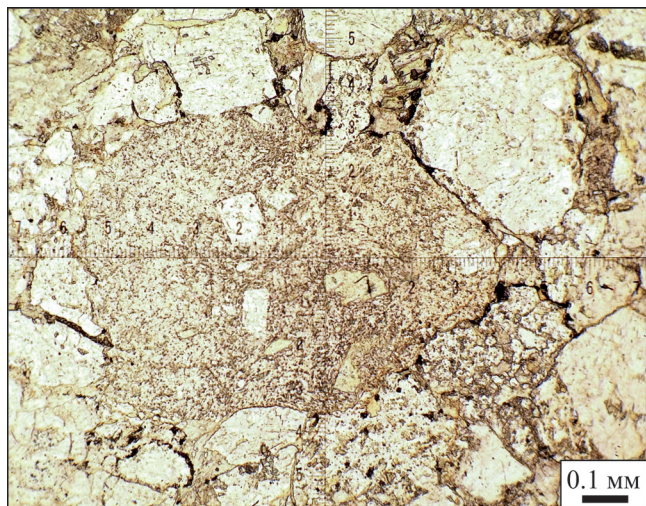


Рис. 9. Песчаники из разреза Талышман (слева без анализатора, справа – с анализатором).

Fig. 9. Sandstones from Talyshman section (left without the analyzer with the analyzer, right).

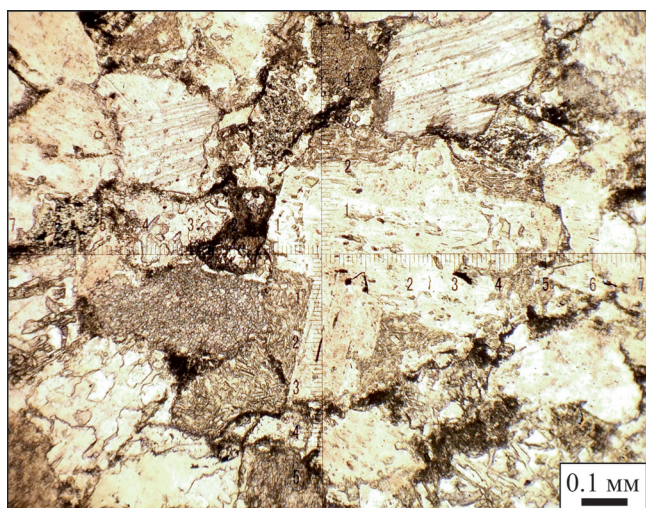


Рис. 10. Песчаник кристаллолитокластический из разреза Ильтибаново (слева без анализатора, справа – с анализатором).

Fig. 10. Crystal-lithoclastic sandstone Il'tibanovo section (left without the analyzer, right with the analyzer).

ные (выпукло-вогнутые). Цемент пород контурный глинисто-хлоритовый и хлоритовый. Вторичные процессы представлены хлоритизацией по основной массе вулканитов, кальцитизацией и, реже, эпидотизацией по плагиоклазу. Последний иногда замещен волосовидными кристаллами актинолита. Кроме того, в песчаниках присутствуют вторичный мозаичный кварц, радиально-лучистый пренит, развитые по цементу и обломкам вулканитов, зеленовато-голубой пумпеллиит (намного меньше, чем в песчаниках ускульской толщи) и зерна тонкопластинчатого красно-бурого минерала (возможно, гематита).

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ

Для определения химического состава песчаников использовались крупнозернистые разности из разрезов Ускуль в количестве 5 шт., Талышман – 10 и Ильтибаново – 12 шт. Аналитические работы проводились в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа ИПТМ РАН (г. Черноголовка) на масс-спектрометре X-7 с кислотным разложением проб в закрытой системе. В качестве внешних стандартов использовались AGV-2, GSP-2. Содержания некоторых других малых элементов также определялись методом рент-

генофлюоресцентного анализа на спектрометре VRA-30 в ИГ УНЦ РАН (г. Уфа). Анализируемые пробы предварительно истирались со связующим (ПВС-8) и прессовались при давлении 25–27 т на подложке из борной кислоты.

Химический состав песчаников изучался главным образом по высокозарядным элементам, являющимся наименее подвижными при разных наложенных процессах. Также использовались содержания крупноионных литофильных и транзитных элементов, характеризующихся большей подвижностью (Интерпретация..., 2001).

Среди транзитных элементов незначительно различаются содержания Cr и Ni, концентрация которых во всех песчаниках близка к кларкам андезитов. Меньше всего этих элементов в песчаниках из

разреза Ильтибаново (табл. 1). Содержания крупноионных литофильных элементов, представленных Rb, Sr, Cs и Ba, во всех песчаниках ниже кларков. Исключением является Cs, концентрация которого в граувакках разреза Ильтибаново достигает 11.1 г/т. Обращает на себя внимание, что в этих песчаниках содержание всех литофильных элементов немного выше, чем в других (см. табл. 1).

Концентрации высокозарядных элементов, таких как Sc, Hf, Th, Y, и особенно PЗЭ в песчаниках разреза Ильтибаново близки к кларку базальтов и андезитов. Ниже кларка содержания Zr, Nb, U и Ti. В песчаниках разрезов Ускуль и Уразово содержания практически всех высокозарядных элементов пониженные. В большей степени это касается легких PЗЭ, содержания которых могут усту-

Таблица 1. Содержания редкоземельных и некоторых редких элементов (г/т) в песчаниках изучаемых разрезов и кларки базитов и андезитов.

Table 1. The contents of rare earths and some rare elements (ppm) in sandstones of the studied sections and clark values of basites and andesites.

Элемент	Ильтибаново, n = 12		Талышман, n = 10		Ускуль, n = 5		Кларк	Кларк
	ср	инт	ср	инт	ср	инт	базитов	андезитов
Cr	31.5	20.7–48.6	40.11	25.6–68.9	35.43	24.39–66	180	54
Ni	11.33	8.71–14.7	18.73	12.1–31.3	15.62	9.33–23.62	140	41
Rb	12.40	1.50–29.7	10.78	1.8–19	3.46	1.92–5.2	37	80
Sr	272	194–476	247	121–614	116	91–157	460	410
Cs	11.1	0.1–43	0.31	0.1–0.6	0.17	0.06–0.31	1	1.4
Ba	253	18.2–756	168	32–357	72	28–230	290	410
Sc	22.3	18.3–30	17.73	8.31–33.01	24.78	17.41–32.48	30	18
Hf	1.99	1.15–2.69	0.81	0.61–1.09	1.34	0.86–2.58	2.6	2.1
Th	2.8	1.5–4.51	0.32	0.20–0.43	0.51	0.32–0.76	3.2	6
Y	17.5	14.4–20.2	8.50	5–14.7	15.99	11.81–21.63	23	25
Zr	65.5	45.2–91.5	24.52	16.8–29.7	44.89	28.49–89.97	130	170
Nb	3.2	2–4.66	0.84	0.65–1.22	1.35	0.97–2.11	19	15
U	1.08	0.73–1.33	0.20	0.10–0.59	0.38	0.25–0.57	4	2.2
Ti	3946	3241–4885	2048	1372–3183	3370	2569–4117	10700	6100
La	13.7	9.5–17.4	2.34	1.55–3.45	3.18	1.79–4.74	17	21
Ce	28.0	20.1–36.7	5.61	3.82–7.33	8.07	4.68–12.57	48	45
Pr	3.6	2.6–4.58	0.82	0.57–1.08	1.27	0.77–2.16	5	4.7
Nd	14.9	11.1–18.8	3.85	2.54–5.08	6.36	3.81–11.03	22	20
Sm	3.5	2.7–4.55	1.12	0.69–1.59	1.95	1.37–3.18	5	4.7
Eu	1.0	0.8–1.24	0.42	0.32–0.56	0.64	0.45–1.05	1.3	1.1
Gd	3.4	2.7–4.23	1.12	0.68–1.7	2.53	1.95–3.74	5.2	5.4
Tb	0.5	0.4–0.6	0.21	0.12–0.32	0.42	0.32–0.6	0.83	0.94
Dy	3.0	2.4–3.6	1.33	0.78–2.24	2.70	1.96–3.65	2.5	5.2
Ho	0.6	0.5–0.78	0.32	0.17–0.56	0.59	0.43–0.78	0.99	0.11
Er	1.8	1.3–2.13	0.90	0.52–1.58	1.80	1.3–2.34	2.2	2.5
Tm	0.3	0.2–0.32	0.15	0.09–0.24	0.26	0.19–0.34	0.25	0.25
Yb	1.8	1.4–2.12	1.08	0.67–1.75	1.79	1.33–2.31	2	2.4
Lu	0.3	0.2–0.34	0.16	0.09–0.24	0.27	0.2–0.35	0.5	0.8
Σ	76.4	56.68–96.6	19.43	12.61–25.2	31.82	22.03–48.84		
LREE / HREE	5.50	4.95–6.16	2.8	1.65–3.54	2.07	1.41–2.86		
Eu/Eu*	0.85	0.77–0.96	1.17	0.92–1.46	0.88	0.83–0.93		

Примечание. ср – среднее содержание, инт – интервал, n – количество проб.

Note. cp – middle contents, инт – interval, n – number of samples.

пать кларковым в вулканитах в несколько раз (см. табл. 1). Таким образом, концентрация высокозарядных элементов в песчаниках разреза Ильтибаново выше, чем в песчаниках разрезов Ускуль и Талышман, что можно использовать как отличительный признак. Наглядно это видно на дискриминационных диаграммах, предназначенных для определения состава пород в источнике сноса (рис. 11).

Соотношение величин Zr/Sc – Th/Sc во всех граувакках изучаемых разрезов характерно для кластических пород, формировавшихся в первом цикле седиментации (см. рис. 11) (McLennan et al.,

1993). Предполагается, что они не испытали существенных изменений во время переноса, осадконакопления и постседиментационных процессов и состав их близок к исходным породам. Распределение фигуративных точек на диаграммах Nb/Y – Zr/TiO_2 (Winchester, Floyd, 1977) и La/Sc – Th/Co (Cullers, 2002) показало (см. рис. 11), что все граувакки по составу близки к породам основного и среднего состава, при этом граувакки разрезов Ускуль и Талышман образуют единый кластер и тяготеют к основным породам. Песчаники разреза Ильтибаново на диаграмме La/Sc – Yb/Th (Langmuir et al.,

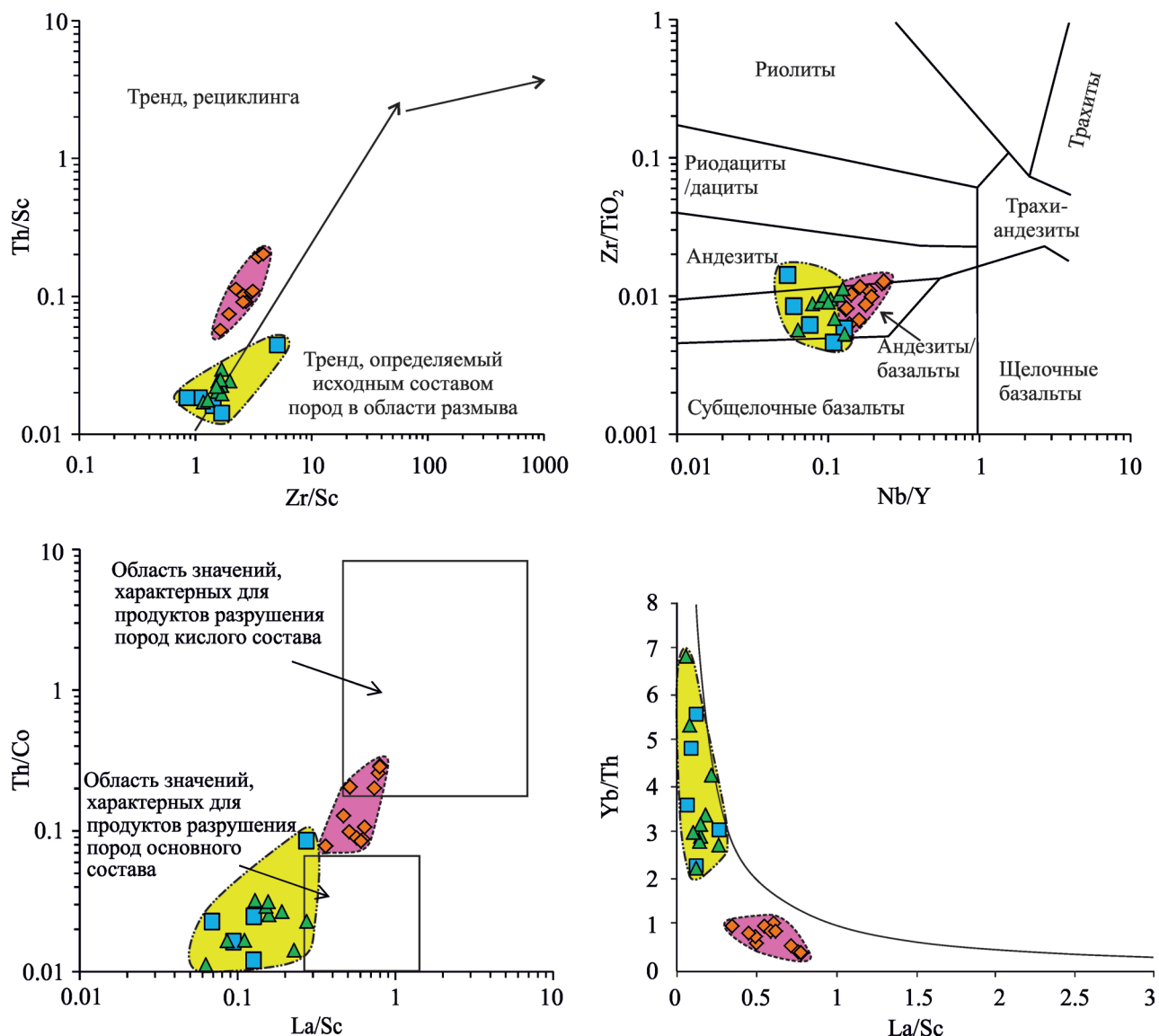


Рис. 11. Дискриминационные диаграммы для определения состава пород.

Условные обозначения см. на рис. 7. Поля: сиреневое – песчаники разреза Ильтибаново, желтое – Ускуль и Талышман.

Fig. 11. Discriminatory diagrams to determine the composition of the rocks.

Legend see in Fig. 7. Fields: lilac – sandstones of section Iltibanovo, yellow – Uskul and Talyshman.

1978) расположились на перегибе гиперболы (см. рис. 11), что характерно для кластолитов с двухкомпонентным составом (смещение основных и более кислых пород). По-видимому, это связано с тем, что они состоят преимущественно из обломков вулканитов среднего состава с примесью кварцитов, тогда как в песчаниках разрезов Ускуль и Талышман присутствуют только обломки вулканитов основного состава.

Данные выводы хорошо коррелируются со спектрами распределения РЗЭ, нормированных по хондриту (рис. 12). Так, у песчаников разреза Ильтибаново более высокая концентрация у легкой части спектра РЗЭ и незначительная отрицательная Eu аномалия ($LREE^*/HREE^* = 2.14$; $Eu/Eu^* = 0.77-0.96$), что свойственно породам относительно кислого состава (Verma, Armstrong-Altrin, 2013). У граувакк с разрезов Ускуль и Талышман наблюдается сходство в распределении легкой части спектра РЗЭ, но при этом содержание тяжелых РЗЭ в песчаниках разреза Уразово ниже ($LREE^*/HREE^* = 0.88$ и 1.04 соответственно) (Зайнуллин, 2012), что характерно для пород основного состава.

Интересная тенденция в изменении содержания некоторых элементов наблюдается в образцах песчаников последовательно отобранных снизу вверх в разрезе Ильтибаново. На диаграммах с геохимическими коэффициентами (рис. 13) видно, что песчаники разделяются на два кластера. Первые два образца (12-62/2 и 41Б) характеризуются высокими

значениями отношений Cr/Zr и Co/Zr и низкими – La^*/Yb^* , Th/Sc , La/Co , Th/Co , Th/Cr , La/Sc и La/Cr . Для последующих пяти образцов (с 12-64 по 12-69) характерна обратная тенденция. Такая разница значений говорит о неоднородном составе песчаников. Первые два образца по составу могут являться более основными, а последующие – наоборот более кислыми (ближе к среднему составу). Возможно, что это связано с тем, что изменялся состав размываемых пород в источнике сноса или при формировании рассматриваемых отложений участвовало два разных источника вещества. Петрографический состав песчаников тоже разнится. Породы из нижней части разреза (12-62/2 и 41Б) являются более однородными, они состоят преимущественно из кристаллов плагиоклаза, обломков карбонатных пород и в меньшей степени плагиоклазовых порфиритов. Перекрывающие песчаники (с 12-64 по 12-69) отличаются тем, что в них преобладают обломки плагиоклазовых порфиритов, появляются обломки метаморфических пород, единичные кристаллы кварца и вулканического стекла. При этом количество обломков карбонатных пород в них резко уменьшается.

ОБСТАНОВКИ НАКОПЛЕНИЯ ВУЛКАНОКЛАСТИЧЕСКИХ ОТЛОЖЕНИЙ

Палеогеодинамические условия накопления нижнедевонских песчаников ориентировочно мо-

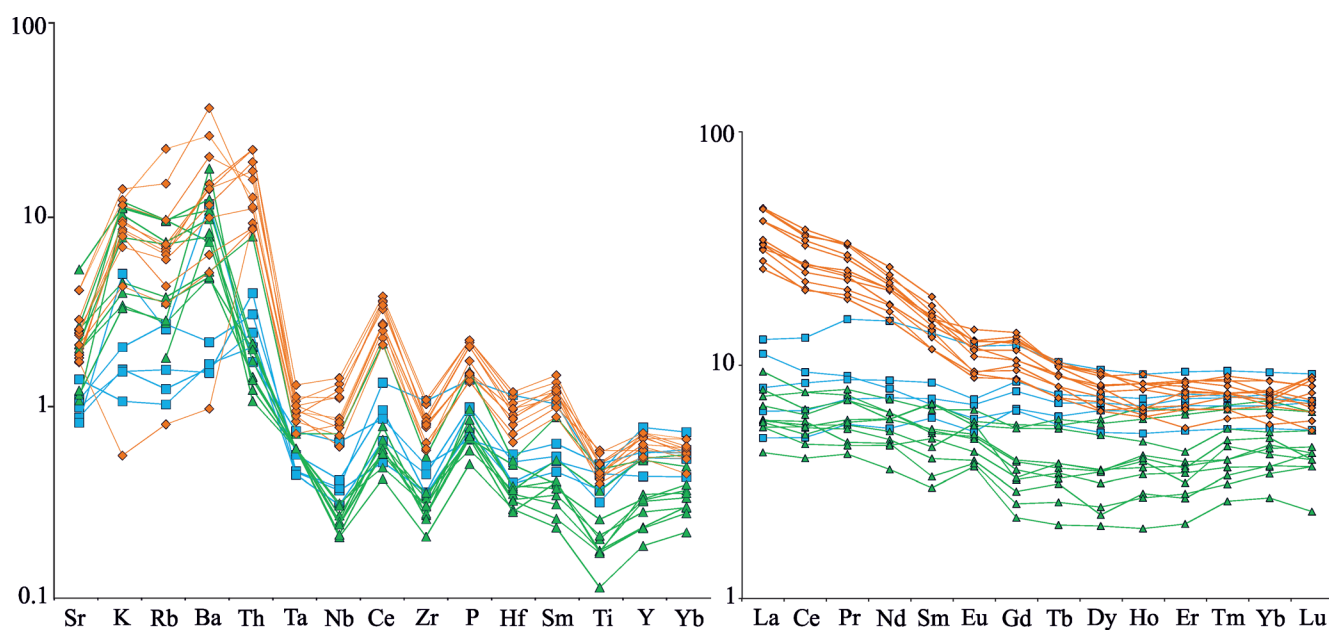


Рис. 12. Распределение редких элементов, нормированных по N-MORB (слева), и РЗЭ – по хондриту (справа).

Условные обозначения см. на рис. 7.

Fig. 12. The distribution of rare elements normalized to N-MORB (left) and REE – chondrite (right).

Legend see in Fig. 7.

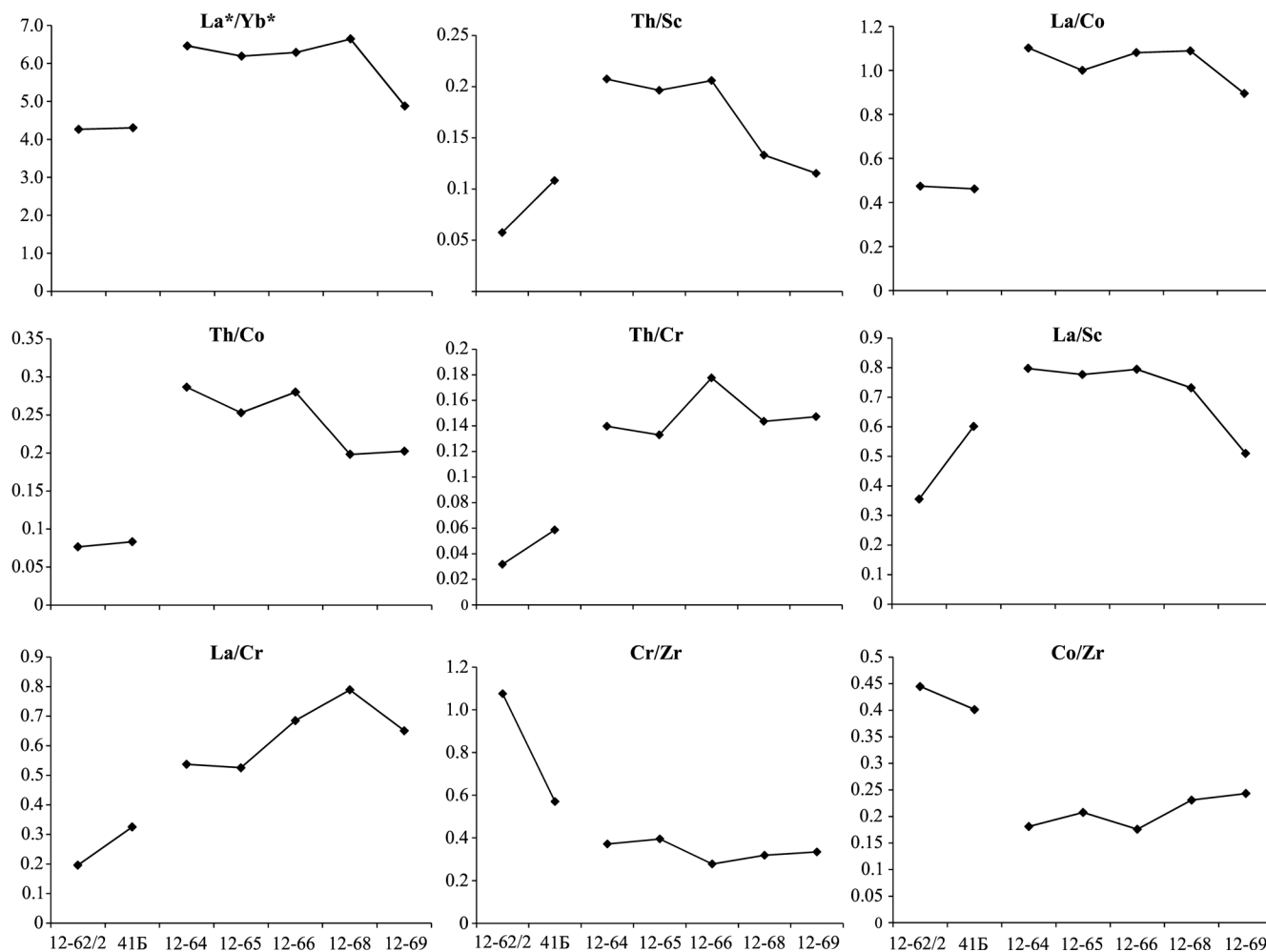


Рис. 13. Вариации геохимических параметров в песчаниках разреза Ильтибаново.

Fig. 13. Variations of geochemical parameters in the sandstones of the section Ittibanovo.

гут быть определены с помощью дискриминационных диаграмм DF1–DF2 (Verma, Armsrong-Altgin, 2013), La/Sc–La/Y (Фазлиахметов, Зайнуллин, 2014) (рис. 14) и спайдер-диаграммы распределения микроэлементов, нормированных по N-MORB (см. рис. 12). Так, на дискриминационных диаграммах фигуративные точки всех изученных граувакк расположились в поле океанических островных дуг. При этом точки разрезов Ускуль и Талышман образуют единый кластер, отличающийся от кластера точек разреза Ильтибаново. На спайдер-диаграмме обнаруживаются хорошо выраженные отрицательные геохимические аномалии Rb, Ta, Nb, Zr, Ti, положительные – Ba, Th, Ce, что тоже указывает на принадлежность рассматриваемых граувакк к островодужному типу (Короновский, Демина, 2011).

Таким образом, источником вещества для нижнедевонских песчаников могла служить океаническая островная дуга. Результаты петрографических и геохимических исследований говорят о сходном

составе пород из разрезов Ускуль и Талышман, поэтому можно предположить, что у них был единый источник вещества и формировались они в относительно близких условиях. Упомянутые разрезы характеризуются ритмичным строением – переслаиванием кристалло- и литокластических песчаников и алевролитов с градационной сортировкой материала, угловатой, полуугловатой, реже округлой формы с достаточно четкими и хорошо сохраненными контурами. Петрографический состав литокластов сходен с вулканитами лавовых потоков, с которыми обломочные породы переслаиваются в разрезе. Все это позволяет предположить, что песчаники разрезов Ускуль и Талышман сложены преимущественно пирокластическим материалом (т.е. представляют собой тефроида), который после выпадения перемещался по склону к его подножию турбидными потоками. Возможно, при транспортировке материала к пирокластике частично примешивались обломки из разрушающихся лавовых потоков (лавокластический материал). Как показы-

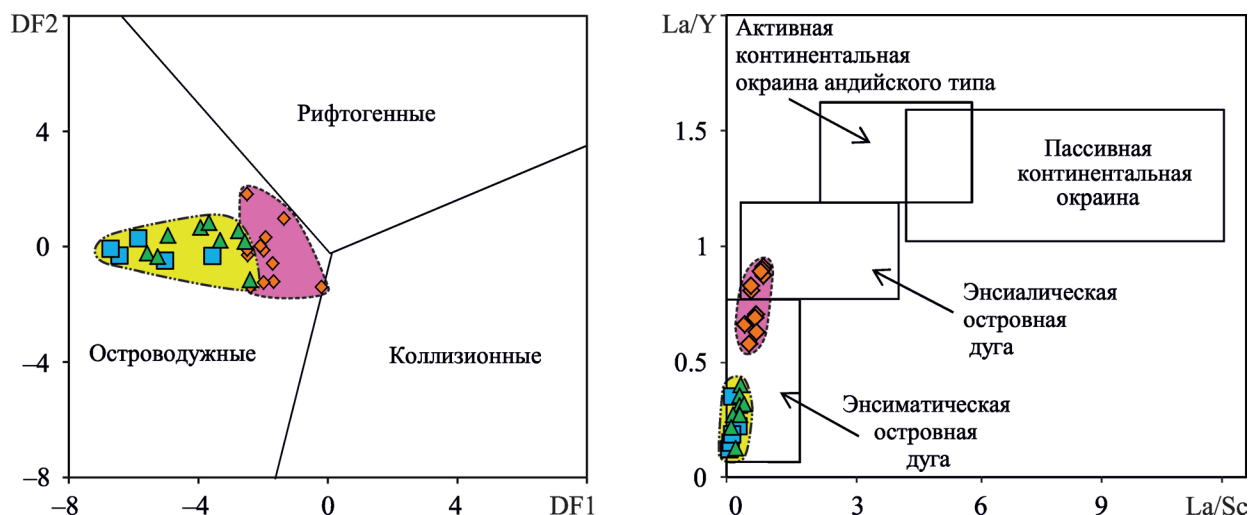


Рис. 14. Дискриминационные диаграммы для определения геодинамических обстановок образования песчанников.

Условные обозначения см. на рис. 7 и 11.

Fig. 14. Discriminatory diagram to determine the geodynamic conditions of sandstone formation.

For the legend see in Fig. 7 and 11.

вают исследования (Малеев, 1980), такое смещение весьма распространено вблизи действующих подводных вулканов. Тефроиды формировали пачки турбидитов мощностью в 15–20 м, которые в последующем перекрывались лавовыми потоками мощностью 10–15 м.

Породы из разреза Ильтибаново 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, известняков и реже кварцитов. Размерность частиц варьирует в широких пределах – от мелко- до грубозернистой в псаммитолитах и гравийно-галечной с блоками кремней в микститах. Перечисленное позволяет предположить, что песчаники из разреза Ильтибаново сложены преимущественно вулканомиктовым (вулканотерригенным) материалом. К нему также мог примешиваться и тефрогенный материал (установить это в древних измененных отложениях трудно) (Хворова, 1980). Кластический материал под силой тяжести и/или при тектонических толчках сносился вниз по склону турбидными и обломочными потоками (debris flow). У подножия склона формировались турбидитовые и микститовые отложения. Обломочные потоки, являясь более высокоплотными, эродировали дно бассейна и захватывали слаболитифицированные блоки силицитов. Турбидные потоки могли захватывать и транспортировать силициты только гравийно-галечной и более тонкой размерности, а также об-

ломки известняков и кварцитов. Таким образом, формировались преимущественно кластические отложения с ритмичным строением и пачки микститов с многочисленными обломками кремней. В периоды, когда обломочный материал не поступал, происходило накопление тонкого кремнистого материала.

ВЫВОДЫ

1. Нижнедевонские песчаники являются полевошпатовыми граувакками и собственно граувакками петрокластической разновидности. Песчаники разрезов Ускуль и Талышман имеют практически одинаковый состав. Они сложены обломками вулканитов основного состава, кристаллокластами плагиоклаза, пироксена, иногда присутствуют зерна кварца (менее 1%). Обломки вулканитов представлены порфировыми разновидностями, в которых встречаются вкрапленники плагиоклаза, пироксена, иногда оливина. Упомянутые обломки по составу идентичны вулканитам лавовых потоков, с которыми песчаники переслаиваются в разрезе.

2. Песчаники разреза Ильтибаново отличаются от описанных более разнообразным составом. Они сложены обломками плагиоклазовых порфиритов, среди которых присутствуют фрагменты кремней, известняков, плагиоклазов, единичные зерна кварца и кварцитов.

3. Разрезы Ускуль и Талышман располагаются практически в пределах одной субмеридиональной полосы и состоят из схожего набора отложений (известняки, силициты, вулканокластические

песчаники, вулканические породы). Песчаники в обоих разрезах имеют одинаковый петрографический и химический состав. Можно предположить, что эти разрезы находятся на одном стратиграфическом уровне.

4. По литогеохимическим данным все песчаники состоят из обломков вулканических пород основного и среднего состава. При этом песчаники разрезов Ускуль и Талышман образуют на диаграммах единый кластер и тяготеют к породам основного состава, тогда как песчаники разреза Ильтибаново ближе к породам среднего состава.

5. В песчаниках разреза Ильтибаново вверх по разрезу наблюдается тенденция в изменении петрографического и химического состава. Возможно, это связано с изменением состава источника вещества или с воздействием на бассейн седиментации двух питающих провинций.

6. Главным источником вещества для всех изучаемых песчаников была островная дуга. Песчаники разрезов Ускуль и Талышман являются тефроидами, формировавшимися за счет пирокластического материала, который транспортировался суспензионными потоками и накапливался на склоне и у подножья островной дуги, образуя турбидитовые отложения.

7. Обломочные породы разреза Ильтибаново сложены преимущественно вулканомиктовым материалом. Материал (терригенный и, возможно, частично пирокластический) сносился вниз по склону, формируя турбидитовые отложения и микститы у его подножья. В периоды, когда обломочный материал не поступал, происходило осаждение кремней.

8. С учетом новых данных (Косарев и др., 2014; Ферштатер и др., 2007; и др.) можно предположить, что островодужный вулканизм на этой территории начал проявляться раньше баймак-бурибаевского времени (до середины эмса).

Исследования выполнены по теме государственного задания № 0252-2014-0003.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Артюшкова О.В., Маслов В.А. (2001) Нижнедевонские (доверхнеэмские) отложения Магнитогорской мегазоны. *Геологический сборник*, (2). Уфа: ИГ УНЦ РАН, 80-87.
- Зайнуллин Р.И. (2012) Состав и условия формирования ильтибановской толщи нижнего девона Западно-Магнитогорской зоны (Южный Урал). *Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента*. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 71-74.
- Зайнуллин Р.И. (2014) Особенности источника сноса нижнедевонских песчаников разреза "Талышман" (Север Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала). *Геология, полезные ископаемые и проблемы геологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий*. Уфа: ДизайнПресс, 54-57.
- Интерпретация геохимических данных (2001) (Под ред. Е.В. Склярова). М.: Интермет Инжиниринг, 288 с.
- Кокшина Л.В. (2013) Особенности катагенеза девонских петрокластических граувакк Магнитогорской мегазоны (Южный Урал). *Литосфера*, (5), 26-41.
- Короновский Н.В., Демина Л.И. (2011) Магматизм как индикатор геодинамических обстановок. М.: КДУ, 234 с.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Ронкин Ю.Л., Серавкин И.Б., Холоднов В.В., Грабежев А.И. (2014) Новые данные о возрасте и геодинамической позиции меднопорфировых проявлений зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале. *Докл. АН*, **459**(1), 62-66.
- Малеев Е.Ф. (1980) Вулканыты. М.: Недра, 240 с.
- Маслов В.А., Артюшкова О.В. (2010) Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграф-Сервис, 288 с.
- Мизенс Г.А. (2009) Редкие элементы и особенности источников обломочного материала осадочных формаций девона и карбона в восточных зонах юга Урала. *Геохимия*, (12), 1259-1278.
- Мурдмаа И.О. (1987) Фации океанов. М.: Наука, 303 с.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
- Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов. (1998) (Под ред. В.Н. Шванова). СПб.: Недра, 351 с.
- Стратиграфические схемы Урала (докембрий, палеозой). (1993) Екатеринбург, МСК.
- Фазлиахметов А.М. (2014) Особенности формирования нижнедевонских известняков разреза "Талышман" (Западно-Магнитогорская зона Южного Урала). *Геология, полезные ископаемые и проблемы геозоологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий*. Уфа: ДизайнПресс, 89-92.
- Фазлиахметов А.М. (2015) Нижнедевонские известняки района озера Ускуль (север Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала). *Геология, геозоология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий*. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 99-103.
- Фазлиахметов А.М., Зайнуллин Р.И. (2014) Вариации индикаторных геохимических параметров в вулканических песчаниках на примере нижне- и среднедевонских отложений Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала. *Вестник ИрГТУ*, **84**(1), 56-62.
- Ферштатер Г.Б., Краснобаев А.А., Беа Ф. Монтеро П., Бородин Н.С., Холоднов В.В., Зинькова Е.А., Шардакова Г.Ю., Прибавкин С.В. (2007) Этапы палеозойского интрузивного магматизма Уральского орогена и их геодинамическая интерпретация. *Геодинамика, магматизм, метаморфизм и рудообразование*. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 89-120.
- Хабаков А.В. (1946) Об индексах окатанности галечников. *Сов. геология*, (10), 98-99.
- Хворова И.В. (1980) Вулканизм и осадкообразование. *Литология в исследованиях Геологического института АН СССР*. М.: Наука, 9-53.
- Чибрикова Е.В. (1977) Стратиграфия девонских и более древних палеозойских отложений Южного Урала и Приуралья по растительным микрофоссилиям. М.: Наука, 191 с.

- Cullers R.L. (2002) Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo CO, USA. *Chem. Geol.*, **191**(4), 305-327.
- Langmuir C.H., Vocke R.D.Jr., Hanson G.H., Hart S.R. (1978) A general mixing equation with applications to Icelandic basalts. *Earth Planet Sci. Lett.*, **37**, 380-392.
- 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. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* (Eds M.J. Johnsson, A. Basu), 21-40.
- Taylor S.T., McLennan S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews Geophysics*, **33**(2), 241-265.
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. (2013) New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chem. Geol.*, **355**, 17-133.
- Winchester J.A., Floyd P.A. (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, **20**, 325-343.

Composition and distinctive features of Lower Devonian volcanoclastic sediments formation of the West-Magnitogorsk zone, the Southern Urals

R.I. Zainullin

*Institute of Geology Ufa Science Centre of RAS
Bashkir State University*

Results of the study of volcanoclastic sandstones of the Uskul' and Il'tibanovo strata of the Lower Devonian are presented. Sandstones are of feldspathic greywacke and greywacke lithoclastic types after classification V.N. Shvanov. They are composed primarily of fragments of basic and intermediate composition volcanic rocks, crystals of plagioclase and pyroxene. Greywacke of Il'tibanovo section are distinguished by the presence of fragments metamorphic, carbonate rocks. These rocks are different from sandstones of the sections Uskul and Talyshman by the composition and distribution of small elements. Island arc is a source of material for the sandstones. The clastic material was transported by turbidite flows.

Key words: *sandstone, greywacke, petrographic and geochemical composition, the Lower Devonian, West-Magnitogorsk zone, island arc.*

REFERENCES

- Artyushkova O.V., Maslov V.A. (2001) Lower Devonian (Pre-Upper Emsian) deposits of the Magnitogorsk megazone. *Geologicheskii sbornik*, **2**, Ufa, 80-87. (In Russian)
- Zainullin R.I. (2012) The composition and formation conditions Il'tibanovo strata of the Lower Devonian West-Magnitogorsk zone (South Urals). *Struktura, veshchestvo, istoriya litosfery Timano-Severoural'skogo segmenta*. Syktyvkar, IG Komi SC UB RAS, 71-74. (In Russian)
- Zainullin R.I. (2014) Features source of the demolition of Lower Devonian sandstones section "Talyshman" (Northern part West Magnitogorsk zone Southern Urals area). *Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geokologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nykh territorii*. Ufa, DizainPress Publ., 54-57. (In Russian)
- Interpretatsiya geohimicheskikh dannyykh* (2001) The interpretation of geochemical data. (Ed. E.V. Sklyarov). Moscow, Internet Inzhiniring Publ., 288 p. (In Russian)
- Kokshina L.V. (2013) Features of petroklastic graywackes katagenesis in Devonian Magnitogorsk megazone (Southern Urals). *Litosfera*, (5), 26-41. (In Russian)
- Koronovskii N.V., Demina L.I. (2011) Magmatism as an indikator of geodynamic environments. Moscow, KDU, 234 p. (In Russian)
- Kosarev A.M., Puchkov V.N., Ronkin Yu.L., Seravkin I.B., Holodnov V.V., Grabezhev A.I. (2014) New data on the age and geodynamic position of copper-porphyry manifestations of the Main Uralian Fault zone in the Southern Urals. *Dokl. Akad. Nauk*, **459**(1), 62-66. (In Russian)
- Maleev E.F. (1980) *Vulkanity* [Volcanics]. Moscow, Nedra Publ., 240 p. (In Russian)
- Maslov V.A., Artyushkova O.V. (2010) *Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozhenii Magnitogorskoj megazonny Yuzhnogo Urala* [Stratigraphy and correlation of Devonian deposits in Magnitogorsk megazone of Southern Urals]. Ufa, DizajnPoligrafServis Publ., 288 p. (In Russian)
- Mizens G.A. (2009) Rare elements and features sources of clastic material of sedimentary formations of the Devonian and Carboniferous in the East part of the Southern Urals. *Geokhimiya*, (12), 1259-1278. (In Russian)
- Murdmaa I.O. (1987) *Fatsii okeanov* [Facies of the oceans]. Moscow, Nauka Publ., 303 p. (In Russian)

- Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Dauriya Publ., 146 p. (In Russian)
- Sistematika i klassifikatsiya osadochnykh porod i ikh analogov* (1998) (Red. V.N. Shvanov) [Systematics and classification of sedimentary rocks and their analogues]. St.Petersburg, Nedra Publ., 351 p. (In Russian)
- Stratigraficheskie skhemy Urala (dokembrii, paleozoi)* (1993) [Stratigraphic schemes of the Urals (Precambrian, Paleozoic)]. Ekaterinburg, MSC. (In Russian)
- Fazliakhmetov A.M. (2014) Features of formation of the Lower Devonian limestone's section "Talyshman". *Geologiya, poleznye iskopaemye i problemy geoekologii Bashkortostana, Urala i sopredel'nykh territorii*. Ufa, DizainPress Publ., 89-92. (In Russian)
- Fazliakhmetov A.M. (2015) Lower Devonian limestones of the Lake Uskul' (the Northern part of the West Magnitogorsk zone, southern Urals). *Geologiya, geoekologiya i resursnyi potentsial Urala i sopredel'nykh territorii*. Ufa, IG USC RAS, 99-103. (In Russian)
- Fazliakhmetov A.M., Zainullin R.I. (2014) Variations of indicator geochemical parameters in the volcanic sandstones on the example of the Lower and Middle Devonian deposits of the West Magnitogorsk zone, the Southern Urals. *Vestnik INRTU*, **84**(1), 56-62. (In Russian)
- Fershtater G.B., Krasnobaev A.A., Bea F. i dr. (2007) Stages of Paleozoic intrusive magmatism of the Uralian orogen and their geodynamic interpretation. *Geodinamika, magmatizm, metamorfizm i rudoobrazovanie*. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 89-120. (In Russian)
- Habakov A.V. (1946) About indexes of roundness of pebbles. *Sovetskaya Geologiya*, (10), 98-99. (In Russian)
- Hvorova I.V. (1980) Volcanism and sedimentation. *Litologiya v issledovaniyakh Geologicheskogo instituta AN SSSR*. Moscow, Nauka Publ., 9-53. (In Russian)
- Chibrikova E.V. (1977) *Stratigrafiya devonskikh i bolee drevnih paleozoiskikh otlozhenii Yuzhnogo Urala i Priural'ya (po rastitel'nykh mikrofosiliyam)* [Stratigraphy of the Devonian and of more ancient Paleozoic deposits of Southern Ural and near Urals after vegetable fossil]. Moscow, Nauka Publ., 191 p. (In Russian)
- Cullers R.L. (2002) Implications of elemental concentrations for provenance, redox conditions, and metamorphic studies of shales and limestones near Pueblo, CO, USA. *Chem. Geol.*, **191**(4), 305-327.
- Langmuir C.H., Vocke R.D. Jr., Hanson G.H., Hart S.R. (1978) A general mixing equation with applications to Icelandic basalts. *Earth Planet Sci. Lett.*, **37**, 380-392.
- 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. *Geol. Soc. Am. Spec. Pap.* (Eds. M.J. Johnsson, A. Basu), **284**, 21-40.
- Taylor S.T., McLennan S.M. (1995) The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews Geophysics*, **33**(2), 241-265.
- Verma S.P., Armstrong-Altrin J.S. (2013) New multi-dimensional diagrams for tectonic discrimination of siliciclastic sediments and their application to Precambrian basins. *Chem. Geol.*, **355**, 117-133.
- Winchester J.A., Floyd P.A. (1977) Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chem. Geol.*, **20**, 325-343.