ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОТЛИЧИЯ ВУЛКАНОКЛАСТИЧЕСКИХ ГРАУВАКК НИЖНЕГО И СРЕДНЕГО ДЕВОНА ЗАПАДНО-МАГНИТОГОРСКОЙ ЗОНЫ ЮЖНОГО УРАЛА

А. М. Фазлиахметов¹, Р. И. Зайнуллин^{1, 2}

¹Институт геологии Уфимского научного центра РАН, Уфа
famrb@mail.ru

²Башкирский государственный университет, Уфа

В Западно-Магнитогорской зоне Южного Урала широко распространены нижнедевонские отложения, часто представленные вулканокластическими граувакками. Они макроскопически схожи с граувакками и рендыкской свиты, что обусловило необходимость выявления их отличий по геохимическим параметрам. Данная задача была решена на примере отложений рыскужинской толщи нижнего девона.

Геохимическое опробование было проведено из разрезов, в которых возраст отложений установлен по фауне. Определение содержаний элементов в породах было выполнено методами РФА и ИСП-МС. В результате удалось установить, что граувакки рыскужинской толщи отличаются более высокими содержаниями U, Th, P₂O₅, LREE, Zr, Nb, Hf и значениями La/Y, Th/Zr, La/Yb, La/Co, La/Sc, Th/Co, Y/Co, а также более низкими величинами Sc/Zr, Co/Zr, Co/Th, Th/Sc, Yb/Th.

Ключевые слова: рыскужинская толща, ирендыкская свита, геохимия, граувакки, нижний девон, Южный Урал.

GEOCHEMICAL DISTINCTIVE CRITERIA OF LOWER AND MIDDLE DEVONIAN VOLCANICLASTIC GRAYWACKES FROM WESTERN MAGNITOGORSK ZONE OF SOUTH URALS

A. M. Fazliakhmetov¹, R. I. Zaynullin^{1, 2}

¹Institute of Geology Ufa Science Centre RAS, Ufa

²Bashkir State University, Ufa

Lower Devonian deposits, mainly represented by volcaniclastic greywackes, are widespread in the Western Magnitogorsk zone of South Urals. Their external features are similar to the Irendytskaya Formation greywackes. This led to the need to identify their differences in geochemical parameters. This problem was solved by the example of deposits of the Lower Devonian Ryskuzhinskaya Formation.

Geochemical sampling was conducted from the sections, which age was based on the fauna. The elemental composition was determined by XRF and ICP-MS. As a result, it was found that the greywackes from Ryskuzhinskaya formation have higher contents of U, Th, P₂O₅, LREE, Zr, Nb, Hf, Co, higher values of La/Y, Th/Zr, La/Yb, La/Co, La/Sc, Th/Co, Y/Co and lower values of Sc/Zr, Co/Zr, Co/Th, Th/Sc, Yb/Th.

Keywords: Ryskuzhinskaya formation, irendytskaya formation, geochemistry, greywacke, Lower Devonian, South Urals.

Введение

На Южном Урале в зоне сочленения Западно-Магнитогорской зоны и Главного Уральского разлома известны нижнедевонские отложения [2, 4]. Они представлены вулканокластическими граувакками раз-

личных гранулометрических классов, кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами, известняками, базальтами, андезитами и вулканитами иного состава, находящимися друг с другом в сложных взаимоотношениях, обусловленных как контрастными фази-

альными переходами, так и тектоническими нарушениями. Изучение нижнедевонских отложений велось на протяжении нескольких десятилетий разными исследователями при выполнении геолого-съемочных (И. С. Анисимов, М. Ш. Биков, Ш. Н. Кац, В. М.

Кривоносов, В. П. Москвичев, В. В. Павлов) и тематических [2, 5—7, 10, 12] работ. В результате накоплен достаточно объемный фактический материал, представленный преимущественно описаниями естественных обнажений, шурфов и буровых скважин, литогеохимическими данными. Немало также и находок фауны, но их недостаточно для детального сопоставления разрезов между собой и с Международной стратиграфической шкалой. По этой причине, а также из-за макроскопического сходства нижнедевонских граувакк с граувакками ирендыкской свиты нижнего эйфеля результаты исследований разных авторов противоречат друг другу. Примером могут служить геологические карты разных лет окрестностей озера Ускуль, где нижнедевонские отложения широко распространены [9]. Таким образом, на сегодняшний день площадное распространение, обстановки формирования и многие другие особенности нижнедевонских отложений являются спорными или не изученными вовсе.

Одним из немногих районов, где некоторые проблемы геологии нижнего девона могут быть разрешены, является стратотипическая местность рыскужинской толщи нижнего девона. Она расположена в Абзелиловском районе республики Башкортостан, в верхнем течении реки Большой Кизил у деревень Рыскужино, Утяганово, Ишкильдино и др. (рис. 1). Отложения, относящиеся в настоящее время к рыскужинской толще, долгое время картировались в качестве нижней подсвиты ирендыкской свиты. История их изучения достаточно сложна и подробно изложена В. А. Масловым и О. В. Артюшковой [4], впервые выделившими рыскужинскую толщу в качестве самостоятельного стратиграфического подразделения.

Рыскужинская толща нижнего девона

Рыскужинская толща, согласно [1, 2, 4], сложена вулканокластическими граувакками среднеосновного состава, мраморизованными известняками, кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами общей мощностью не более 450 м, а возраст принят как нижний девон в полном объеме за исключением верхней части эмского яруса.

Наиболее широко в рыскужинской толще распространены вулканокластические граувакки, находящиеся в ассоциации с силицитами. Соотношение этих пород меняется от раз-

Рис. 1. Расположение района работ и точек опробования: А — расположение района работ на обзорной карте; Б — обзорная схема района работ; В—Г — положение точек опробования на детальных схемах.

Условные обозначения: 1 — песчаники (а) и алевролиты (б); 2 — силициты; 3 — базальты; 4 — шлаковые агломераты; 5 — положение точек опробования в разрезах, где возраст отложений установлен по фауне (а) или предполагается на основе геохимических данных (б), и их номера; 6 — места обнаружения конодонтов (а) и брахиопод (б); 7 — автодороги (а) и реки (б)

Fig. 1. Work site and sampling points: А — location of site on general map of site; Б — general map of site; В—Г — position of sampling points on detailed maps.

Legend: 1 — sandstones (a) and aleurolites (b); 2 — silicites; 3 — basalts; 4 — slag agglomerates; 5 — position of sampling points in the sections where the age of the deposits was determined by fauna (a) or assumed on the basis of geochemical data (b), and their numbers; 6 — occurrences of conodonts (a) and brachiopods (b); 7 — roads (a) and rivers (b)

реза к разрезу (рис. 2). В одних случаях преобладают песчаники грубо- и крупнозернистые, образующие слои от 0.5 до 1.5 м. Они имеют преимущественно массивную текстуру, иногда с хаотично размещенными обломками вулканитов или кремней псефитовой размерности. Градационная слоистость в них проявлена лишь иногда в верхней части слоя. Прослои кремней и кремнистых алевролитов редки, но встречаются слои гравийно-галечных микститов мощностью в первые

метры. В других случаях песчаники представлены крупно-, средне- и мелкозернистыми разностями. Ими сложены слои мощностью от первых сантиметров до 0.5—0.6 м с хорошо проявленной градационной сортировкой. Каждый слой песчаников отделен от выше- и нижележащего слоистыми кремнями или кремнистыми алевролитами мощностью от 0.05—0.1 до 1.0—1.2 м. Между двумя приведенными типами разрезов есть промежуточные разности.

Песчаники рыскужинской толщи, согласно классификации В. Д. Шутова [13], относятся к собственно грауваккам или полевошпатовым грауваккам. Они сложены обломками вулканитов среднего, основного, редко кислого состава, основным плагиоклазом, пироксенами. Постдиагенетические преобразования обусловили развитие вторичных минералов — преимущественно пренита и эпидота, что полностью скрыло структуры и текстуры пород, сделало невозможным применение методов петрографии для отличия рыскужинских граувакк от ирендыкских. В связи с этим представилось важным найти критерии геохимической идентификации, что потребовало проведения опробования в разрезах, где возраст отложений установлен по фауне.

Апробированные разрезы и методы исследования

Известны две находки фауны, непосредственно связанные с граувакками рыскужинской толщи. Первая принадлежит К. С. Иванову [3, 8] и представлена брахиоподами из 20-сантиметрового слоя среднезернистых туфопесчаников в карьере по добыче щебня на восточной окраине деревни Рыскужино, непосредственно к югу от автодороги Серменево — Аскарново (рис. 1, Г). По определению В. П. Сапельникова и Л. И. Мизенс, найденный комплекс брахиопод характерен для карпинского горизонта и сопоставим с нижней частью эмского яруса — конодонтовые зоны *gronbergi* — *serotinus*.

Вторая находка фауны, связанная с граувакками, представлена конодонтами верхней части эмского яруса. Они были обнаружены О. В. Артюшковой в прослое красных яшмовидных пород мощностью 0.5—1.0 м, вскрытых в районе д. Тирман в восточной выемке автодороги Серменево — Аскарново (рис. 1, В) [4]. Ниже по разрезу залегают породы мощностью не более 200 м, описанные И. В. Хворовой и М. Н. Ильинской [11] как «сильно кальцитизированные шлаковые агломераты, состоящие из обломков гематитизированных миндалекаменных вариолитов, шлаков и полностью окварцованных обломков с остатками «оолитоподобной» структуры». Они, по данным [4], сопоставимы с баймак-бурибайской свитой верхнего эмса. Стратиграфически ниже залегает последовательность граувакк с градационной сортировкой и силициторыскужинской толщи.

Рис. 2. Примеры разрезов отложений рыскужинской толщи к северу от д. Тирман: 1 — гравелиты (а), песчаники грубо- и крупнозернистые (б); 2 — песчаники среднезернистые (а), мелко- и тонкозернистые (б); 3 — алевролиты (а) и силициты (б); 4 — гальки силицитов. Длина одного деления вертикальной линейки соответствует 1 м

Fig. 2. Section samples of ryskuzhinskaya strata northward from Tirman Village: 1 — gravelites (a), coarse and large-grained sandstones (б); 2 — medium-grained sandstones (a), small- and fine-grained (б); 3 — aleurolites (a) and silicites (б); 4 — pebbles of silicites. The length of vertical scale division corresponds to 1 m

Упомянутые ранее красные яшмoids перекрыты отложениями ирендыкской свиты мощностью 1500—2000 м. Они представлены чередующимися вулканокластическими граувакками и в меньшей мере силицитами, практически неотличимыми

по макроскопическим признакам от пород рыскужинской толщи.

Всего из отложений рыскужинской толщи отобрано 15 образцов и 19 — из отложений ирендыкской свиты.

Содержание главных элементов определено методом рентгенофлуо-

ресцентного анализа на спектрометре VRA-30 в ИГ УНЦ РАН (Уфа). Анализируемые пробы предварительно истерили со связующим (ПВС-8) и прессовали при давлении 25–27 т на подложке из борной кислоты. Содержание малых элементов установлено методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. 28 образцов проанализировано в центральной лаборатории ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург) на масс-спектрометре ELAN-DRC-6100. Разложение проб при этом выполнено путем сплавления с метаболитом лития. Состав остальных шести проб определен в лаборатории ядерно-физических и масс-спектральных методов анализа ИПТМ РАН (Черноголовка) на масс-спектрометре X-7, где разложение проводилось методом кислотного растворения в закрытой системе. В качестве внешних стандартов использовались AGV-2, GSP-2.

Результаты сравнения

Сравнение граувакк проводилось как по содержаниям элементов, так и по их отношениям, наиболее часто применяемым для восстановления обстановок седиментации и состава пород источников сноса. Для этого сравниваемые величины или их средние значения выносились на графики или бинарные диаграммы. В результате было установлено, что содержания главных элементов, Sc, V, Cr, Ni, Cu, Zn, Ga, Rb, Sr, Y, Cs, Ba, HREE, Pb, величина европиевой аномалии и значения Sc/Cr, Ti/Zr, Cr/Th, Cr/V, Cr/Zr,

La/Cr, La/Th, La/V, Ni/Co, Rb/Ba, Rb/Sr, Th/Sm, Th/U, V/Ni, Y/Ni, Zr/Hf, Co/Ba, Ti/V практически одинаковы в граувакках рыскужинской толщи и ирендыкской свиты.

Геохимические параметры, по которым сравниваемые породы отличаются, немногочисленны. Отложениям рыскужинской толщи свойственны более высокие содержания (г/т): U (0.96 против 0.34), Th (2.09 против 0.59), P_2O_5 (0.25 против 0.06), LREE (57.3 против 17.4), Zr (55.9 против 28.3), Nb (2.7 против 1.2), Hf (1.7 против 0.9) и значения La/Y (0.73 против 0.25), Th/Zr (0.038 против 0.021), La/Yb (6.84 против 2.23), La/Co (0.453 против 0.096), La/Sc (0.330 против 0.082), Th/Co (0.083 против 0.019), LREE/HREE (5.41 против 2.38), Y/Co (0.61 против 0.39), а также более низкие величины: Sc/Zr (0.63 против 1.48), Co/Zr (0.46 против 1.21), Co/Th (12.6 против 56.5), Th/Sc (0.061 против 0.016), Yb/Th (0.79 против 2.37).

Выявленные отличия позволяют более обоснованно относить граувакки из разрезов, неохарактеризованных фауной, к рыскужинской толще или к ирендыкской свите. Наиболее удобны для этого бинарные диаграммы La/Yb—Sc/Th, Sc/Zr—Co/Y и P_2O_5 —U (рис. 3), на которых точки, отвечающие составу кластолитов разного возраста, образуют изолированные друг от друга кластеры. Например, граувакки, обладающие геохимическими параметрами, свойственными грауваккам рыскужинской толщи, установлены в четырех разрезах

к северу и к западу от д. Тирман (точки III—VI на рис. 1, Б). Важно отметить, что в одном из них впервые обнаружен согласный контакт граувакк с известняками (точка V на рис. 1, Б), в другом граувакки переслаиваются с порфирами андезитового и андезибазальтового состава (точка III на рис. 1, Б). Последующее изучение порфиров и известняков, в том числе поиск конодонтов в последних, позволит существенно уточнить историю геологического развития Западно-Магнитогорской зоны в раннем девоне.

Граувакки, близкие по составу к грауваккам ирендыкской свиты (рис. 3), были обнаружены к юго-западу от д. Казмашево (точки I, II на рис. 1, Б).

Заключение

Вулканокластические граувакки рыскужинской толщи и ирендыкской свиты, неотличимые по макроскопическим признакам, по большинству геохимических параметров также схожи. Исключение составляют содержания U, Th, P_2O_5 , LREE, Zr, Nb, Hf, Co, отношения La/Y, Th/Zr, La/Yb, La/Co, La/Sc и др. Наиболее удобны для разделения граувакк разного возраста бинарные диаграммы La/Yb—Sc/Th, Sc/Zr—Co/Y и P_2O_5 —U. Их применение позволило уточнить возраст отложений в некоторых разрезах.

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

Рис. 3. Положение фигуративных точек состава граувакк рыскужинской толщи и ирендыкской свиты на диаграммах: 1 — ирендыкской свиты к северо-востоку от д. Тирман; 2 — рыскужинской толщи разрезов у д. Тирман и д. Рыскужино; 3 — ирендыкской свиты у д. Казмашево; 4, 5 — в карьерах по добыче камня к северу от д. Тирман, точки III (4) и IV (5) на рис. 1, Б; 6, 7 — на левом берегу р. Б. Кизил в точках V (7) и VI (6) на рис. 1, Б

Fig. 3. Position of data points of grauwackes of the Ryskuzhinskaya series and the Irendytskaya suite on diagrams: 1 — Irendytskaya suite north-eastward from the Tirman Village; 2 — Ryskuzhinskaya strata near the Tirman Village and Ryskuzhino Village; 3 — Irendytskaya suite near the Kazmashevo Village; 4, 5 — in stone quarries northward from Tirman Village, points III (4) and IV (5) in Fig. 1, Б; 6, 7 — on the left bank of the B. Kizil River in points V (7) and VI (6) in Fig. 1, Б

Литература

1. Артюшкова О. В. Девонские конодонты из вулканогенно-кремнистых отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: Дизайн-Пресс, 2014. 152 с.
 2. Артюшкова О. В., Маслов В. А. Нижнедевонские (доверхнеэмские) отложения Магнитогорской мегазоны // Геологический сборник № 2. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2001. С. 80—87.
 3. Иванов К. С., Бикбаев А. З., Мизенс Л. И., Сапельников В. П. Первые находки брахиопод в вулканогенно-осадочных породах ирендыкской свиты на Южном Урале // Ежегодник-1996: Информационный сборник научных трудов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 1997. С. 13—15.
 4. Маслов В. А., Артюшкова О. В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: Дизайн-Полиграф Сервис, 2010. 288 с.
 5. Маслов В. А., Черкасов В. Л., Тищенко В. Т., Смирнова И. А., Артюшкова О. В., Павлов В. В. Стратиграфия и корреляция среднепалеозойских вулканогенных комплексов основных медноколчеданных районов Южного Урала. Уфа: УНЦ РАН, 1993. 217 с.
 6. Мизенс Г. А. Редкие элементы и особенности источников сноса обломочного материала осадочных формаций девона и карбона в восточных зонах Южного Урала // Геохимия. 2009. № 12. С. 1259—1278.
 7. Мизенс Г. А., Ронкин Ю. Л., Лепихина О. П., Попова О. Ю. Редкие и редкоземельные элементы в девонских обломочных комплексах Магнитогорской мегазоны Южного Урала // Геохимия. 2006. № 3. С. 1—21.
 8. Сапельников В. П., Мизенс Л. И., Иванов К. С., Бикбаев А. З. Брахиоподы из туфопесчаников ирендыкской свиты (нижний эмс, Южный Урал) // Материалы по стратиграфии и палеонтологии Урала: Сб. научн. труд. Вып. 2. Екатеринбург, 1999. С. 149—159.
 9. Фазлиахметов А. М. Нижнедевонские известняки района озера Ускуль (север Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала) // Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий: Материалы III Всероссийской молодежной геологической конференции. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2015. С. 99—103.
 10. Фазлиахметов А. М., Зайнуллин Р. И. Вариации индикаторных геохимических параметров на примере ниже- и среднедевонских вулканитовых песчаников Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2014. № 1 (84). С. 56—62.
 11. Хворова И. В., Ильинская М. Н. Сравнительная характеристика двух вулканогенно-осадочных формаций Южного Урала // Вулканогенно-осадочные и терригенные формации. М.: Изд-во Академии наук. 1963. С. 87—160.
 12. Чибрикова Е. В. Стратиграфия девонских и более древних палеозойских отложений Южного Урала и Приуралья (по растительным микрофоссилиям). М.: Наука, 1977. 160 с.
 13. Шутов В. Д. Классификация песчаников // Литология и полезные ископаемые. 1967. № 5. С. 86—103.
- References**
1. Artyushkova O. V. *Devonskie konodonty iz vulkanogenno-kremnistykh otlozhenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* (Devonian conodonts from igneous siliceous rocks of Magnitogorsk anomaly in South Urals). Ufa, DizainPress, 2014, 152 pp.
 2. Artyushkova O. V., Maslov V. A. *Nizhnedevonskie (doverhneemsskie) otlozheniya Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* (Lower Devonian (Pre-upper Emsian) deposits of Magnitogorsk megaxone). *Geologicheskii sbornik № 2*. Ufa, IG USC RAS, 2001, pp. 80—87.
 3. Ivanov K. S., Bikbaev A. Z., Mizens L. I., Sapel'nikov V. P. *Pervye nahodki brachiopod v vulkanogenno-osadochnykh porodakh irendykskoi svity na Yuzhnogo Urala* (First findings of brachiopods in igneous sediments of irendyyskaya suite in South Urals). *Ezhegodnik 1996*. Ekaterinburg, IGG UB RAS, 1997, pp. 13—15.
 4. Maslov V. A., Artyushkova O. V. *Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozhenii Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* (Stratigraphy and correlation of Devonian sediments of Magnitogorsk megazone). Ufa, Dizain Poligraf Servis, 2010, 288 pp.
 5. Maslov V. A., Cherkasov V. L., Tischenko V. T., Smirnova I. A., Artyushkova O. V., Pavlov V. V. *Stratigrafiya i korrelyatsiya srednepaleozoiskikh vulkanogennykh kompleksov osnovnykh mednokolchedannykh raionov Yuzhnogo Urala* (Stratigraphy and correlation of Middle Paleozoic igneous complexes of basic copper-sulphide complexes). Ufa, Ufa SC RAS, 1993, 217 pp.
 6. Mizens G. A. *Redkie elementy i osobennosti istochnikov snosa oblomochnogo materiala osadochnykh formatsii devona i karbona v vostochnykh zonah Yuzhnogo Urala* (Rare elements and features of source area of Devonian and Carboniferous formations in eastern parts of South Urals). *Geohimiya*, 2009, No. 12, pp. 1259—1278.
 7. Mizens G. A., Ronkin Yu. L., Lepikhina O. P., Popova O. Yu. *Redkie i redkozemelnye elementy v devonskikh oblomochnykh kompleksakh Magnitogorskoi megazony Yuzhnogo Urala* (Rare and rare earth elements in Devonian clastic complexes of Magnitogorsk megazone of South Urals). *Geohimiya*, 2006, No. 3, pp. 1—21.
 8. Sapel'nikov V. P., Mizens L. I., Ivanov K. S., Bikbaev A. Z. *Brachiopody iz tufopeschanikov irendykskoi svity (nizhnii ems, Yuzhnyi Ural)* (Brachiopods from tuff sandstones of irendyyskaya suite (Lower Emsian, South Urals). *Materialy po stratigrafii i paleontologii Urala. Sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 2*. Ekaterinburg, 1999, pp. 149—159.
 9. Fazliahmetov A. M., *Nizhnedevonskie izvestnyaki raiona ozera Uskul' (sever Zapadno-Magnitogorskoi zony Yuzhnogo Urala)* (Lower Devonian limestones near the Uskul Lake (North of Western Magnitogorsk anomaly in South Urals)). *Geologiya, geoekologiya i resursnyi potentsial Urala i sopredel'nykh territorii*. Proceedings. Ufa, IG USC RAS, 2015, pp. 99—103.
 10. Fazliahmetov A. M., Zainullin R. I. *Variatsii indikatornykh geohimicheskikh parametrov na primere nizhne- i srednedevonskikh vulkanitovykh peschanikov Zapadno-Magnitogorskoi zony Yuzhnogo Urala* (Variations of indicator geochemical parameters on example of Lower and Middle Devonian vulcanite sandstones of Western Magnitogorsk anomaly of South Urals). *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2014, No. 1 (84), pp. 56—62.
 11. Hovorova I. V., Ilinskaya M. N. *Sravnitel'naya harakteristika dvuh vulkanogenno-osadochnykh formatsii Yuzhnogo Urala* (Comparative characteristics of two volcanogenic sedimentary formations in South Urals). *Vulkanogenno-osadochnye i terrigennye formatsii*. Moscow, 1963, pp. 87—160.
 12. Chibrikova E. V. *Stratigrafiya devonskikh i bolee drevnykh paleozoiskikh otlozhenii Yuzhnogo Urala i Priuralya (po rastitel'nykh mikrofosiliyam)* (Stratigraphy of Devonian and more ancient Paleozoic sediments of South Urals and Sub-Ural areas (by plant microfossils)). Moscow, Nauka, 1977, 160 pp.
 13. Shutov V. D. *Klassifikatsiya peschanikov* (Classification of sandstones). *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 1967, No. 5, pp. 86—103.

Рецензент

к. г.-м. н. И. В. Козырева