



© A.M. Fazliakhmetov

# GEOCHEMICAL FEATURES OF THE DEVONIAN SILICEOUS ROCKS OF THE WEST-MAGNITOGORSK ZONE OF THE SOUTHERN URALS

Institute of Geology,  
Federal Ufa Research Centre,  
Russian Academy of Sciences,  
16/2, ulitsa K. Marksa,  
450077, Ufa, Russian Federation,  
e-mail: famrb@mail.ru

The geochemical composition of siliceous rocks (jaspers, phtanites and cherts) reflects to the fullest extent the sedimentary environments that existed in the Devonian in the water area of the Magnitogorsk island arc system. Despite this fact, they have not been studied. The reason for this is probably a low level of the development of methods for interpreting the geochemical parameters of siliceous rocks. Consequently, the works to improve them is relevant and promising.

In contemporary oceanic sediments the Zr/Al, Cr/Al, V/Al, Ni/Al and (Fe + Mn)/Ti ratios are sensitive to sedimentation environments and vary widely, depending on the position relative to the coastal zones, mid-ocean ridges, basaltic intra-oceanic islands, and hydrothermally active zones. The purpose of this report is to find out whether these relations are applicable to the reconstruction of ancient sedimentation environments.

The subjects of the study are the Devonian siliceous rocks of the Western Magnitogorsk zone of the Southern Urals. These include the cherts of the Ryskhuzhino beds (Lower Devonian), jaspers of the Murtykty beds, Karamalytash and the Yarlykapovo Formations (Upper Eifelian) and cherts of the Ulutau Formation (Givetian - Lower Frasnian). Based on the distribution patterns of the above-mentioned ratios in sediments of the Indian and Pacific oceans, the sedimentary environments were established that existed in the Devonian in the deep-water area of the Magnitogorsk island-arc system. The new data confirm and supplement the results of previous sedimentological, paleovolcanological and paleogeodynamic studies, which allows us to conclude that the use of Zr/Al, Cr/Al, V/Al, Ni/Al and (Fe+Mn)/Ti ratios is an effective tool for reconstructing ancient sedimentary environments.

Key words: siliceous rocks, jaspers, cherts, geochemistry, deep-water sediments, the Devonian, island arc, Southern Urals

В разрезе девона Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала вулканиты занимают 68% мощности, вулканомиктовые разности – 23%, известняки – 6% [1]. На долю силицитов приходится всего лишь около 3%. Если абстрагироваться от мощности и в общих чертах оценить динамику образования этих пород, то станет ясным, что излияние лав и поступление в бассейн обломочного материала происхо-

дило периодически, импульсивно, тогда как накопление силицитов протекало практически непрерывно. Немаловажно то, что яшмы, фтаниты и кремни являются гидрогенными образованиями. Соответственно, их состав отражает седиментационные обстановки полнее, чем кластолиты и вулканиты, минералогические и геохимические особенности которых мало зависят от среды, в которой они накапливаются.



до первых метров. Седиментация протекала в глубоководных условиях. Четыре образца отобрано в окрестностях города Сибая, один – к северу от д. Салаватово.

Аналитические работы были выполнены в ИГ УФИЦ РАН (г. Уфа) и ФГУП ИНХП РБ (г. Уфа) методами ИСП-АЭС (спектрометр Shimadzu ICPE-9000, разложение проб в открытой системе) и РФА (спектрометр VRA-30). Аналитики – Биктимерова З.Р., Мусина А.М., Валиева Ф.Р., Мичурин С.В.

**2. Результаты работ.** Отношение Zr/Al варьирует в океанских осадках в широких пределах (здесь и далее, если не оговорено, вся информация об океанских осадках приводится по В.Н. Лукашину [5]). Наибольшие его значения, превышающие  $100 \times 10^{-4}$ , отмечаются в акваториях островов Цейлон и Кергелен, на восточном побережье Мадагаскара и на южной оконечности Африки. В остальных прибрежных районах величина Zr/Al немного ниже, но остается все же высокой, что обусловлено присутствием терригенного циркона. В центральной части океана отношение Zr/Al также высоко –  $20\text{--}100 \times 10^{-4}$ , однако в этих зонах, куда не поступает обломочный материал, Zr концентрируется за счет сорбции: его растворенные формы накапливают различные сорбенты, главными из которых являются окислы и гидроокислы железа.

В зоне перехода от прибрежных областей к пелагическим величина отношения Zr/Al снижается до значений менее  $20 \times 10^{-4}$ .

В осадочных породах девона величина Zr/Al меняется в пределах  $10\text{--}262 \times 10^{-4}$  (табл. 1, рис. 1). В нижнедевонских отложениях данное отношение минимально, что вызвано как отсутствием источника обломочного циркона, так и относительно высокими скоростями кремненакопления, препятствующими концентрированию циркония сорбентами.

В породах эйфельского и живетского ярусов содержание Zr превышает 150 г/т, достигая в одном из образцов 200 г/т. Это

обуславливает высокие значения отношения Zr/Al – максимально до  $262 \times 10^{-4}$ , в среднем –  $144 \times 10^{-4}$ . По данным [5; 15] такие концентрации не характерны обломочным осадкам островных дуг, следовательно, Zr в данном случае концентрируется за счет сорбции. Несколько пониженная величина Zr/Al в улутауских отложениях обусловлена примесью кластического материала, содержащего Al.

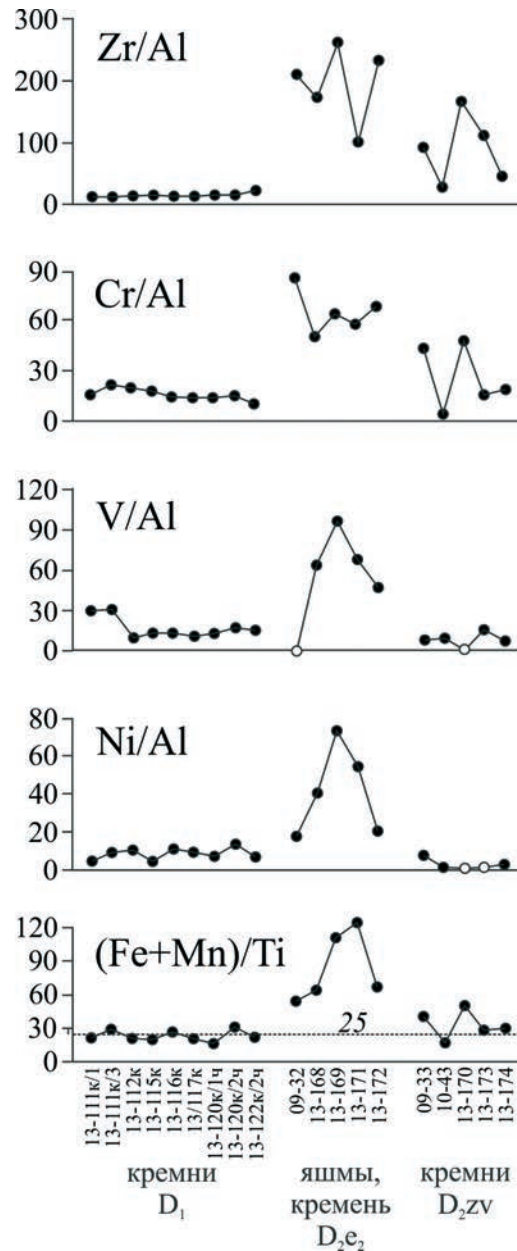


Рис. 1. Геохимические особенности девонских силицитов Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала.

Белые точки – содержание элемента в числителе ниже предела обнаружения

Таблица 1 – Геохимические особенности девонских силицитов Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала

№ образца	Рыскужинская толща									Карамалыташская, ярлыкаповская свиты, муртыктинская толща					Улутауская свита					
	111/1	111/3	112	115	116	117	120/1	120/2	122/2	09-32	168	169	171	172	13-02	09-33	10-43	170	173	174
Al	0,8	0,8	1,3	0,6	0,8	1,0	1,0	1,0	1,1	0,9	1,1	0,7	1,6	0,8	0,0	2,1	7,1	1,1	1,9	4,8
Cr	12	18	25	11	12	14	14	81	11	79	54	43	92	58	92	92	26	56	28	92
Ni	4	8	14	3	9	10	7	14	8	17	44	50	88	17	но	15	6	но	но	13
V	23	26	14	8	11	12	13	18	18	но	69	66	109	40	38	15	64	но	29	35
Zr	11	11	20	10	12	15	16	17	27	195	186	179	163	196	142	191	180	194	212	217
Zr/Al	14	13	15	16	15	15	17	17	24	210	173	262	102	233	11374	93	25	169	114	45
Cr/Al	16	21	20	18	15	14	14	81	10	85	50	63	57	68	7339	45	4	49	15	19
V/Al	30	31	11	14	13	11	13	18	16	–	64	97	68	47	3037	7	9	–	16	7
Ni/Al	5	9	11	4	11	9	7	14	7	18	41	74	55	20	–	7	1	–	–	3
(Fe+Mn)/Ti	22	29	21	20	27	21	16	31	23	55	63	111	141	71	767	45	21	50	27	34

Примечание – Содержание алюминия приведено в процентах, остальных элементов – в граммах на тонну, отношений – в 10<sup>-4</sup>.

Отношение Cr/Al в осадочном чехле Индийского океана достигает максимальных значений, вероятно,  $n,0–n,00 \times 10^{-4}$  (в монографии [5] не приведена карта распределения величин Cr/Al, дано лишь её краткое описание), в терригенных осадках, осадках хребтов, приразломных областей и вблизи вулканических (базальтовых) островов. Минимальные значения ( $0, n–n,0 \times 10^{-4}$ ) характерны кремнистым отложениям южной части океана, красным глубоководным глинам и вулканотерригенным осадкам акваторий островных дуг.

Отношение Cr/Al относительно невелико в образцах всех трех групп девонских силицитов. Особенно оно понижено в отложениях нижнего девона и в трех пробах из улутауской свиты. По всей видимости, это является показателем удалённости от каких-либо источников поступления хрома. В позднеэффельских яшмах и двух образцах из улутауской свиты данное отношение незначительно повышено, что вызвано, как крайне низким содержанием Al, так и, по всей видимости,

присутствием базальтового материала в верхнеэффельских яшмах.

Отношение V/Al возрастает постепенно от береговых зон к Срединно-Индийскому хребту от менее  $10 \times 10^{-4}$  до более  $100 \times 10^{-4}$ , т. е. минимально оно в терригенных и вулканотерригенных осадках, а максимально – в осадочном покрове активных хребтов.

Практически во всех изученных нами пробах отношение V/Al невысокое. Лишь в яшмах оно достигает 97, составляя в среднем 69. Причиной тому служит, во-первых, относительно повышенное содержание V, обусловленное, вероятно, наличием базальтового материала. Во-вторых, крайне малое содержание Al.

Отношение Ni/Al имеет максимальное значение ( $25–50 \times 10^{-4}$  и более) в пелагических глинах и осадках котловин, прилегающих к Срединно-Индийскому хребту. Если для хрома и ванадия повышенное содержание обеспечивается в данной области базальтовым материалом, биогенным карбонатом и



органическим веществом и лишь в незначительном количестве сорбированной фазой, то в накоплении Ni основную роль играет именно сорбированные водородные формы. Ni особо не накапливается на подводных поднятиях, в терригенных айсберговых и кремнистых диатомовых осадках. В этих и прибрежных областях величина Ni/Al опускается ниже  $10 \times 10^{-4}$ .

В нижнеэмских и живетских породах величины Ni/Al малы, что может являться признаком, во-первых, удаленности от гидротермальных источников, во-вторых, положением области седиментации вне котловин, в-третьих, скоростью седиментации, препятствующей долгому контакту осадков с водой. Повышено отношение Ni/Al лишь в яшмах, что вызвано сорбционными процессами.

Отношение (Fe+Mn)/Ti является эффективным «инструментом» реконструкции обстановок накопления современных и древних осадочных образований [4]. Этот модуль был введен академиком Н.М. Страховым для идентификации осадков, расположенных в зоне влияния рудоносных растворов срединно-океанических хребтов. Установлено, что величина этого отношения превышает 25 при наличии в осадках примеси гидротермального материала. Например, в отложениях Восточно-Тихоокеанского поднятия она может достигать 300 и более, тогда как в периферийных, удаленных от СОХ частях океанов, в некоторых морях (Белое, Балтийское, Каспийское, Черное) и озерах (Балхаш, Байкал) оно имеет значения 10–20 [4].

В девонских отложениях величина (Fe+Mn)/Ti варьирует в пределах от 16 до 141. В нижнеэмских отложениях разреза Ишкильдино они минимальны – в среднем 23, но в трех образцах превышает 25, что является признаком присутствия гидротермального материала и коррелируется с формированием в начале эмского века Мостостроевского вулканического комплекса.

Значения (Fe+Mn)/Ti максимальны в яшмах (в среднем 88), поскольку их накопление сопровождал вулканизм, гидротермы и формирование колчеданных месторождений. Значения более 25 имеет модуль Страхова и в отложениях улутауской свиты, что можно объяснить гидротермальной активностью, сопровождавшей вулканизм в сопредельной Восточно-Магнитогорской зоне.

Из вышеприведенного обзора был исключен один образец яшмы из муртыктинской толщи. Он был отобран на севере Учалинского района Башкортостана из карьера Кураминского марганцевого месторождения. Данные о нем приводятся отдельно, поскольку все анализируемые параметры в данном образце существенно повышены: модуль Страхова – 767; Zr/Al –  $11374 \times 10^{-4}$ ; Cr/Al –  $7339 \times 10^{-4}$ ; V/Al –  $3036 \times 10^{-4}$ ; Ni/Al – не рассчитано ввиду содержания Ni ниже предела обнаружения. Очевидно, что столь высокие значения большинства указанных параметров и крайне низкое содержание Ni вызваны близким расположением к гидротермальным рудоносным источникам.

**3. Обсуждение.** Отношения Zr/Al, Cr/Al, V/Al, Ni/Al и (Fe+Mn)/Ti существенно варьируют в девонских силицитах Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала. Интерпретация этих величин на основе данных, полученных при изучении современных океанских осадков, позволяет сделать следующие заключения.

Кремни рыскужинской толщи не содержат примеси вулканического материала основного состава, их накопление протекало на существенном удалении от береговой зоны, но, по всей видимости, с относительно повышенной скоростью, препятствующей сорбентам долгое время контактировать с морской водой, получая из нее Zr, Ni и прочие элементы. Учитывая повышенное значение (более 25) в трех образцах модуля Страхова, можно предполагать несущественное поступление в осадок продуктов подводных гидротерм.

В силицитах (преимущественно в яшмах) позднеэфельского возраста все анализируемые отношения имеют максимальные значения, свойственные областям подводной гидротермальной активности. Седиментация протекала в глубоководных условиях, куда не поступал обломочный материал с континентальной суши, но присутствовали в большом количестве сорбенты, вероятно, окислы и гидроокислы железа и марганца. Возможна примесь базальтовой вулканокластики.

В кремнях улутауской свиты значения большинства изученных геохимических параметров варьируют в достаточно широких пределах. Это может быть обусловлено несколькими способами концентрирования анализируемых элементов в осадках: принос вулканокластики, сорбция и др. Повышенное содержание Al связано, по-видимому, с тефрогенным материалом андезитового состава. Поступление базальтовой вулканокластики не происходило. Некоторое влияние на состав осадков оказывали подводные гидротермы. Поставляемые ими окислы и гидроокис-

лы железа и марганца сорбировали некоторые металлы.

Данные результаты не только не противоречат, но и подтверждают и дополняют ранее полученные выводы [2–3; 8–10; 12–14] об обстановках седиментации в акватории девонской Магнитогорской островодужной системы.

**4. Выводы.** Анализ отношений Zr/Al, Cr/Al, V/Al, Ni/Al и (Fe+Mn)/Ti в силицитах рыскужинской, ярлыкаповской, карамалыташской, улутауской свит и муртыктинской толщи позволил детализировать обстановки седиментации.

Результаты реконструкций, полученные путем сравнения указанных индикаторных отношений в девонских силицитах и в современных океанских осадках, согласуются с ранее установленными данными об обстановках седиментации в акватории Магнитогорской островодужной системы. Соответственно, данный подход может применяться для восстановления древних седиментационных обстановок.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Маслов В.А., Артюшкова О.В. Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 288 с.
2. Мизенс Г.А., Кузнецова Е.В., Ронкин Ю.Л., Лепихина О.П., Попова О.Ю. Редкоземельные элементы в девонских осадочных и вулканогенно-осадочных отложениях Южного Урала // Доклады Академии наук. 2005. Т. 403. № 3. С. 382–387.
3. Кузнецова Е.В. Петрохимические модули в применении к среднепалеозойским силицитам Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Ежегодник–2005 / Институт геологии и геохимии им. Акад. А.Н. Заварицкого: Информационный сборник научных трудов. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2005. С. 63–67.
4. Океанология. Химия океана. Том 2. Геохимия донных осадков / отв. ред. Волков И.И. М.: Наука, 1979. 536 с.
5. Лукашин В.Н. Геохимия микроэлементов в процессах осадкообразования в Индийском океане. М.: Наука, 1981. 184 с.
6. Стратиграфия и корреляция среднепалеозойских вулканогенных комплексов основных медно-колчеданных районов Южного Урала / Маслов В.А., Черкасов В.А., Тищенко В.Т., Смирнова И.А., Артюшкова О.В., Павлов В.В. Уфа: УфНЦ РАН, 1993. 217 с.
7. Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.
8. Косарев А.М. Умереннощелочной и щелочной вулканизм раннеэмского времени на Южном Урале: геохимические особенности и геодинамические реконструкции // Литосфера. 2007. № 6. С. 54–70.
9. Маслов В.А., Артюшкова О.В. Особенности осадконакопления в Магнитогорской мегазоне в эфельском веке // Терригенные осадочные последовательности Урала и сопредельных территорий: седименто- и литогенез,

- минерагения. Материалы 5 Уральского регионального литологического совещания. Екатеринбург, 2002. С. 155–156.
10. Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте // Литосфера. 2005. № 4. С. 22–41.
  11. Косарев А.М., Артюшкова О.В. Джусинский палеовулканический комплекс: стратиграфическое положение, геохимические особенности, геодинамические реконструкции // Геологический сборник № 6. Информационные материалы. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2007. С. 174–180.
  12. Маслов В.А., Артюшкова О.В., Барышев В.Н. Стратиграфия рудовмещающих девонских отложений Сибайского района. Уфа: БФАН СССР, 1984. 100 с.
  13. Мизенс Г.А. Седиментационные бассейны и геодинамические обстановки в позднем девоне – ранней перми юга Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. 192 с.
  14. Фазлиахметов А.М. Условия седиментации улутауской свиты Западно-Магнитогорской зоны Южного Урала // Литосфера. 2011. № 2. С. 42–52.
  15. Геохимия элементов гидролизатов / Лисицын А.П., Гурвич Е.Г., Лукашин В.Н., Емельянов Е.М., Зверинская И.Б., Куринов А.Д. М.: Наука, 1980. 240 с.

## REFERENCES

1. Maslov V.A., Artyushkova O.V. Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozheniy Magnitogorskoy megazony Yuzhnogo Urala [Stratigraphy and correlation of the Devonian deposits in the Magnitogorsk Megazone of the Southern Urals]. Ufa, DizajnPoligrafServis, 2010, 288 p. (In Russian).
2. Mizens G.A., Kuznetsova E.V., Ronkin Yu.L., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. Redkozemelnye elementy v devonskikh osadochnykh i vulkanogenno-osadochnykh otlozheniyakh Yuzhnogo Urala [Rare-earth elements in the Devonian sedimentary and volcano-sedimentary deposits of the Southern Urals]. Doklady. Earth Sciences, 2005, vol. 403, no. 3, pp. 382–387. (In Russian).
3. Kuznetsova E.V. Petrokhimicheskie moduli v primeneni k srednepaleozoyskim silitsitam Magnitogorskoy megazony (Yuzhnyy Ural) [Petrochemical indices in application to the Middle Paleozoic siliceous rocks of the Magnitogorsk Megazone (Southern Urals)]. Ezhegodnik-2005 / Institut geologii i geokhimii im. akad. A.N. Zavaritskogo [Yearbook 2005 / Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry]. Information collection of scientific papers. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 2005, pp. 63–67. (In Russian).
4. Okeanologiya. Khimiya okeana. [Oceanology. Ocean chemistry]. Vol. 2. Geokhimiya donnykh osadkov. [Geochemistry of bottom sediments]. Moscow, Nauka, 1979, 536 p. (In Russian).
5. Lukashin V.N. Geokhimiya mikroelementov v protsessakh osadkoobrazovaniya v Indiyском океане [Geochemistry of trace elements in the sedimentation processes in the Indian Ocean]. Moscow, Nauka, 1981, 184 p. (In Russian).
6. Maslov V.A., Cherkasov V.A., Tishchenko V.T., Smirnova I.A., Artyushkova O.V., Pavlov V.V. Stratigrafiya i korrelyatsiya srednepaleozoyskikh vulkanogennykh kompleksov osnovnykh mednokolchedannykh rayonov Yuzhnogo Urala [Stratigraphy and correlation of the Middle Paleozoic volcanogenic complexes of the main copper-pyrite regions of the Southern Urals]. Ufa, UNTS RAN, 1993, 217 p. (In Russian).
7. Puchkov V.N. Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Dauriya, 2000, 146 p. (In Russian).
8. Kosarev A.M. Umerennoshchelochnoy i shchelochnoy vulkanizm ranneemsskogo vremeni na Yuzhnom Urale: geokhimicheskie osobennosti i geodinamicheskie rekonstruktsii [Subalkaline and alkaline volcanism of the Early Emsian time in the Southern Urals: Geochemical features and geodynamic reconstructions]. Litosfera – Lithosphere, 2007, no. 6, pp. 54–70. (In Russian).
9. Maslov V.A., Artyushkova O.V. Osobennosti osadkonakopleniya v Magnitogorskoy megazone v eyfelskom veke [Specific features of sedimentation in the Magnitogorsk Megazone in the Eifelian time]. Terrigenye osadochnye posledovatelnosti Urala i sopredelnykh territoriy: sedimento- i litogenez, minerageniya [Terrigenous sedimentary sequences of the Urals and adjacent areas: Sedimento- and lithogenesis minerageny]. Materialy 5 Uralskogo regionalnogo litologicheskogo soveshchaniya – Proceedings of the 5th Ural Regional Lithological Conference. Ekaterinburg, 2002, pp. 155–156. (In Russian).
10. Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. Petrologo-geokhimicheskie osobennosti rannedevonско-eyfelskikh ostrovoduzhnykh vulkanitov Magnitogorskoy zony v geodinamicheskom kontekste [Petro-geochemical features of the Early Devonian – Eifelian island arc volcanites of the



- Magnitogorsk zone in the geodynamic context]. *Litosfera – Lithosphere*, 2005, no. 4, pp. 22–41. (In Russian).
11. Kosarev A.M., Artyushkova O.V. Dzhusinskiy paleovulkanicheskiy kompleks: stratigraficheskoe polozhenie, geohimicheskie osobennosti, geodinamicheskie rekonstruktsii [Dzhusa paleovolcanic complex: Stratigraphic position, geochemical features, geodynamic reconstructions]. The geological collection – *Geologicheskij sbornik*, Information materials. Ufa, IG UNTs RAN, 2007, no. 6, pp. 174–180. (In Russian).
  12. Maslov V.A., Artyushkova O.V., Baryshev V.N. Stratigrafiya rudovmeshchayushchikh devonskikh otlozheniy Sibayskogo rayona [Stratigraphy of the Devonian ore-bearing deposits of the Sibay region]. Ufa, BFAN SSSR, 1984, 100 p. (In Russian).
  13. Mizens G.A. Sedimentatsionnye basseyny i geodinamicheskie obstanovki v pozdnem devone – ranney permi yuga Urala [Sedimentary basins and geodynamic conditions in the Late Devonian – Early Permian of the southern Urals]. Ekaterinburg, IGG UrO RAN, 2002. 192 p. (In Russian).
  14. Fazliahmetov A.M. Usloviya sedimentatsii ulutauskoy svity Zapadno-Magnitogorskoy zony Yuzhnogo Urala [Sedimentation conditions of the Ulutau Formation of the West-Magnitogorsk Zone of the South Urals]. *Litosfera – Lithosphere*, 2011, no. 2, pp. 42–52. (In Russian).
  15. Lisitsyn A.P., Gurvich E.G., Lukashin V.N., Emelyanov E.M., Zverinskaya I.B., Kurinov A.D. Geokhimiya elementov gidrolizatorov [Geochemistry of hydrolyzate elements]. Moscow, Nauka, 1980, 240 p. (In Russian).

*Автор выражает глубокую благодарность [д.г.-м.н. В.А. Маслову] и д.г.-м.н. О.В. Артюшковой за консультации и демонстрацию большинства опробованных разрезов; студентам и выпускникам кафедры геологии и геоморфологии БашГУ И.Х. Сафину, Р.И. Зайнуллин, А.Г. Атнагулов, Н.И. Тимуришину и Ш.К. Валитову, в разные годы участвовавшим в опробовании и пробоподготовке. Особая признательность выражается аналитической группе ИГ УНЦ РАН: к.х.н. А.М. Мусиной, З.Р. Биктимеровой, Ф.Р. Валиевой и к.г.-м.н. С.В. Мичурину.*

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