

УДК 550.4+551.86+552.52(234.853)

DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-30-47

Геохимические особенности и условия образования раннедевонских кремнисто-глинистых сланцев разреза Ишкильдино и подстилающих их базальтов (восточный склон Южного Урала)

© 2019 г. А. М. Фазлиахметов

Институт геологии Уфимского научного центра РАН, 450077, г. Уфа, ул. К. Маркса 16/2,
e-mail: famrb@mail.ru

Поступила в редакцию 10.01.2018 г., принята к печати 12.02.2018 г.

Предмет исследований. В Западно-Магнитогорской зоне Южного Урала на окраине д. Ишкильдино обнажена последовательность базальтов и залегающих на них кремней и кремнисто-глинистых сланцев. Предполагается ордовикский возраст базальтов. Возраст вышележащих отложений – силурийско(?)–раннедевонский (до конодонтовой зоны *excavatus* включительно). Реконструкция условий формирования всех пород данного разреза по геохимическим данным является целью исследований. **Материалы и методы.** Проанализировано 5 образцов базальтов (методы РФА и ИСП-МС), 27 – кремнисто-глинистых сланцев и 10 – кремней (методы РФА и ИСП-АЭС). **Результаты.** По соотношению кремнекислоты и щелочей вулканогенные породы нижней части разреза являются базальтами и трахибазальтами. Их геохимический состав соответствует N-MORB и близок к составу базальтов поляковской свиты (средний–верхний ордовик). Судя по соотношению макроэлементов, кремнисто-глинистые сланцы состоят из кремнезема и гидрослюда с незначительной примесью органического вещества, гётита, обломочных зерен кварц-полевошпатового состава и др. Степень выветривания осадочного материала, в соответствии с величиной модулей CIA, CIW, ICV, умеренная. Величины модулей Страхова, Бострёма и цериевой аномалии соответствуют осадкам без примеси продуктов подводных гидротерм. Лишь в единичных пробах верхней части разреза по величинам модуля Страхова можно предполагать присутствие гидротермального вещества. Величины Cr/Al, V/Al и Zr/Al соответствуют отложениям глубоководных зон, удаленных от побережий континентов, островных дуг, базальтовых островов и областей, прилегающих к срединно-океаническим хребтам. Значения Ni/Co, V/Cr, Mo/Mn большинства проб свойственны отложениям хорошо аэрируемых бассейнов. В верхней части разреза, сопоставимой с конодонтовыми зонами *kitabicus* и *excavatus*, в нескольких образцах величины Ni/Co, V/Cr, Mo/Mn отвечают отложениям восстановительных обстановок. Предполагается, что их существование сопряжено с глобальным событием Bazal Zlichov. **Выводы.** В доэмских кремнисто-глинистых сланцах нет признаков вулканической деятельности в прилегающих областях. Изученные отложения соответствуют центральной части Уральского палеоокеана.

Ключевые слова: кремни, глинистые сланцы, базальты, N-MORB, ордовик, силур, нижний девон, ранний эмс, окислительно-восстановительные обстановки, океаническая кора, Bazal Zlichov

Geochemical features and formation conditions of Early-Devonian cherty-argillaceous shales and the underlying basalts in the Ishkildino section (eastern slope of the Southern Urals)

Alexander M. Fazliakhmetov

Institute of geology Ufa Science Centre of RAS, 16/2 Karl Marks st., Ufa 450077, Russia,
e-mail: famrb@mail.ru

Received 10.01.2018, accepted 12.02.2018

Research subject. The West Magnitogorsk zone of the Southern Urals in the vicinity of the Ishkildino village features a subaerially exposed basaltic sequence superposed by cherts and siliceous-clay shales. The basalts and the overlying shales

Для цитирования: Фазлиахметов А.М. (2019) Геохимические особенности и условия образования раннедевонских кремнисто-глинистых сланцев разреза Ишкильдино и подстилающих их базальтов (восточный склон Южного Урала). *Литосфера*, 19(1), 30–47. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-30-47

For citation: Fazliakhmetov A.M. (2019) Geochemical features and formation conditions of Early-Devonian cherty-argillaceous shales and the underlying basalts in the Ishkildino section (eastern slope of the Southern Urals). *Litosfera*, 19(1), 30–47. DOI: 10.24930/1681-9004-2019-19-1-30-47

are assumed to have formed during the Ordovician and Silurian (?)–Early Devonian (up to the conodont zone excavatus inclusive) periods, respectively. The aim of this research was to reconstruct, using geochemical data, the conditions under which the rocks present in this geological location were formed. *Materials and methods.* Five samples of the basalts (XRD and ICP-MS methods), 27 samples of the siliceous-clay shales and 10 samples of the cherts (XRD and ICP-AES methods) were analyzed. *Results.* According to the ratio of SiO_2 , Na_2O and K_2O , the volcanic rocks from the lower part of the section are represented by basalts and trachybasalts. Their geochemical composition corresponds to the N-MORB and is established to be similar to that of the basalts in the Polyakovskaya formation (the Middle–Upper Ordovician). In terms of main elements, the shales under study consist of quartz and illite with a slight admixture of organic matter, goethite, quartz-feldspar fragments, etc. The degree of the sedimentary material weathering according to the CIA, CIW and ICV index values is shown to be moderate. The values of Strakhov's and Boström's moduli correspond to sediments without the admixture of underwater hydrothermal vent products. The values of Cr/Al, V/Al and Zr/Al correspond to those characteristic of deposits in deep-water zones remote from the coasts of passive and active continental margins, basalt islands and areas adjacent to mid-ocean ridges. For most samples, the values of Ni/Co, V/Cr, Mo/Mn are typical of deposits formed under oxidative conditions. However, several samples from the upper part of the section, which is comparable to the kitabicus and excavatus conodont zones, demonstrate the Ni/Co, V/Cr, and Mo/Mn values corresponding to deposits formed under reducing atmospheres. An assumption is made that the existence of these deposits can be associated with the Bazal Zlichov event. *Conclusion.* The investigated pre-Emsian shales have shown no signs of volcanic activity in the adjacent areas. The studied deposits are established to correspond to the central part of the Ural Paleoocean.

Keywords: cherts, shales, basalts, N-MORB, the Ordovician, the Silurian, the Lower Devonian, the Early Emsian, redox conditions, oceanic crust, Bazal Zlichov

Acknowledgements

Author is heartily grateful to V.A. Maslov and O.V. Artyushkova for all-round assistance in conducting research, including for demonstrating the studied section. A huge appreciation is expressed to students and graduates of the Department of Geology and Mineral Resources of the Bashkir State University I.Kh. Safin, R.I. Zainullin, N.I. Timurshin, A.A. Gilyazov and Sh.K. Valitov, in different years participated in the selection and preparation of samples. Special gratitude is expressed to the analytical group of the IG UC RAS: A.M. Musina, S.A. Yagudina, Z.R. Biktimerova, F.R. Valiyeva and S.V. Michurin.

The research is carried out on the themes of state assignments No. 0252-14-0004 and No. 0246-2019-0118.

ВВЕДЕНИЕ

Нижнедевонские отложения широко распространены в области сочленения Главного Уральского разлома и Западно-Магнитогорской зоны (ЗМЗ) Южного Урала. Они представлены разнообразными вулканогенными и осадочными образованиями, слагающими, как правило, отдельные тектонически ограниченные блоки. Фрагментарность разрезов и сравнительно небольшое количество находок фауны не позволяют проводить детальную корреляцию внутри региона и, соответственно, реконструировать раннедевонскую историю. В связи с этим представляется важным сконцентрировать усилия на детальном изучении отложений, в которых уже известны находки ортостратиграфической фауны, позволяющие установить возраст отложений в сравнительно узком временном диапазоне. К таковым, в частности, относится разрез у д. Ишкильдино в Абзелиловском районе Республики Башкортостан. В нем обнажены ордовикско-силурийские(?) базальты и кремнистые и кремнисто-глинистые сланцы с конодонтами лохковского и нижней части эмского ярусов [Аристов и др., 2000, 2005; Артюшкова, Маслов, 2001]. Следовательно, отложения данного разреза могут нести следы геологических процессов, протекавших на протяжении достаточно длительного временного интервала – не менее

5–8 млн лет. Попытка распознать их и таким образом уточнить особенности развития ЗМЗ в раннем девоне, т.е. на этапе заложения Магнитогорской островодужной системы, предпринята автором данного сообщения.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЗРЕЗА

Изученный нами разрез расположен на юго-восточной окраине д. Ишкильдино Абзелиловского района Республики Башкортостан, на левом берегу р. Сума – правом притоке р. Бол. Кизил (рис. 1а–в). Здесь в черед скарпных выходов (рис. 2) западного и южного склонов горы с вершиной 607.0 м обнажена последовательность базальтов, кремнистых и кремнисто-глинистых сланцев.

Отложения, обнаженные в данном разрезе, расчленены многочисленными разрывными нарушениями (см. рис. 1г, д), пронизаны прожилками кварца и кальцита. Кремни иногда будинированы. Среди залегающих ниже по разрезу базальтов встречаются серпентиниты и биотит-плагиоклазовые сланцы. Столь значимые свидетельства тектонической переработки явно указывают на то, что разрез нарушен. Нельзя исключить вероятность того, что в нем в виде тектонических клиньев присутствуют блоки сходных, но разновозрастных пород. В связи с этим разрез, описание которого следует ниже, рассматривается как условно непрерывный.

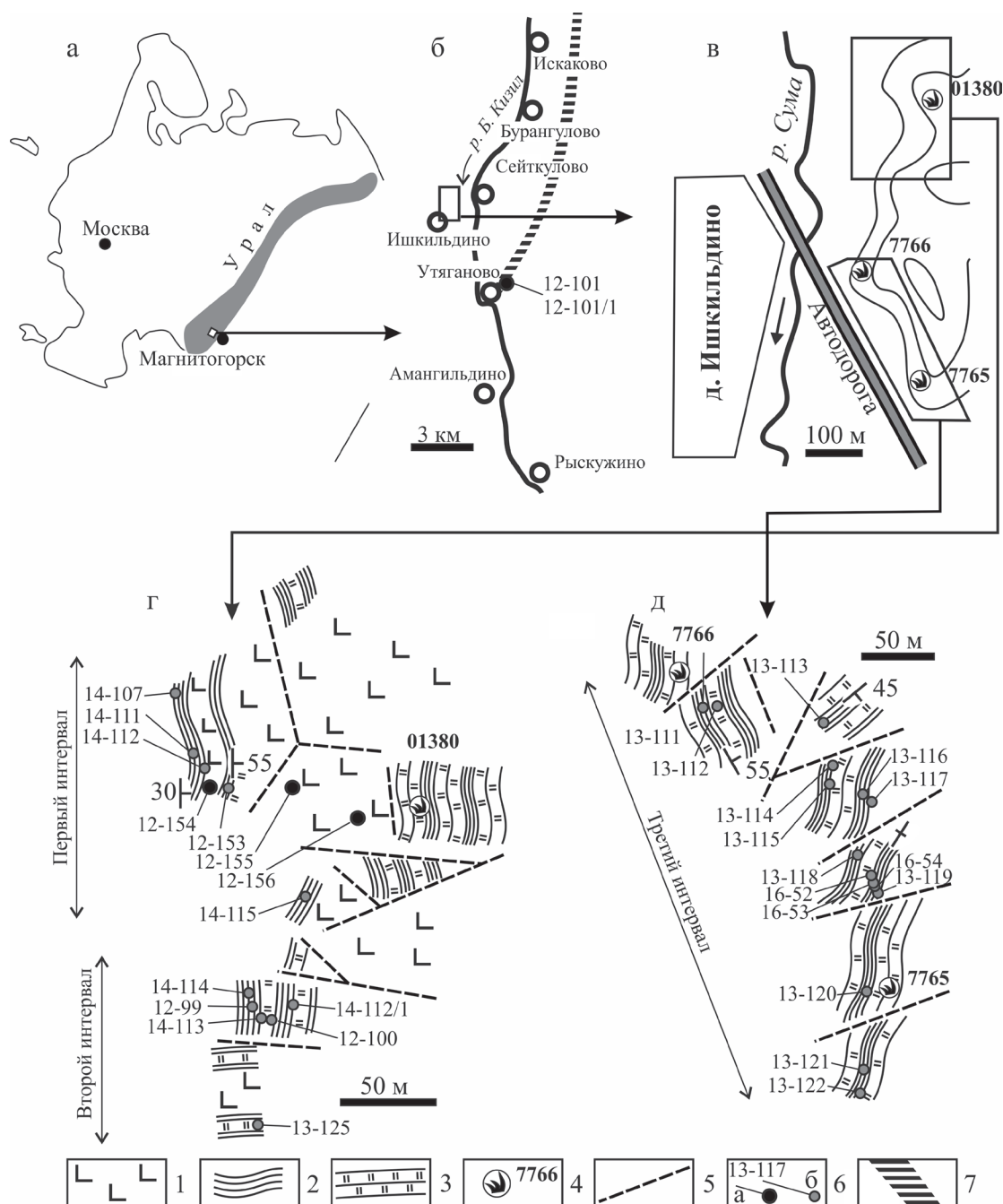


Рис. 1. Расположение и схема геологического строения разреза Ишкильдино.

1 – базальты, 2 – глинистые сланцы, 3 – кремнистые сланцы, 4 – приблизительное положение находок нижнеэмских конodontов и их номера, 5 – предполагаемые разрывные нарушения, 6 – положение точек опробования базальтов (а) и сланцев (б) и их номера, 7 – распространение силурийской базальтовой формации по [Магадеев, 1974].

Fig. 1. Location and schematic geological structure of the section Ishkildino.

1 – basalts, 2 – shales, 3 – siliceous shales, 4 – approximate location of the Lower Emsian conodonts and their numbers, 5 – inferred faults, 6 – points sampling of basalts (a) and shales (b) and their numbers, 7 – distribution of the Silurian basaltic formation [Magadeev, 1974].

По составу пород и их макроскопическому облику в разрезе можно выделить три интервала.

Первый интервал обнажен в северной части разреза (см. рис. 1в, г; рис. 2а, б). Он представлен тре-

щиноватыми выветрелыми базальтами в верхней части с прослоями кремнисто-глинистых сланцев и кремней. Цвет кремней черный, кремнисто-глинистых пород – зеленовато-серый, иногда зеле-



Рис. 2. Фотографии обнажений разреза Ишкильдино с указанием точек опробования.

Fig. 2. Photographs of outcrops of the Ishkildino section showing points of sampling.

новато-коричневый. Мощность отдельных слоев 1–15 мм, пачек кремнисто-глинистых пород – 0.3–1.0 м. Видимая мощность интервала более 50 м.

Возраст отложений первого интервала остается неопределенным, поскольку данные о нем неоднозначны. Судя по описанию, приведенному в [Ари-

стов и др., 2005], в одном из прослоев плитчатых радиоляритов, залегающих в верхней части базальтов данного разреза, выделены фрагменты раннедевонских конодонтов. В этой же публикации приводятся данные о находках в кремнистых породах и известняках, переслаивающихся с базальтами, ордовикских конодонтов. По устному сообщению О.В. Артюшковой, в точке 01380 (см. рис. 1в, г, рис. 2б) в черных трещиноватых кремнях найдены единичные нижнедевонские конодонты. Контакт кремней с базальтами не ясен.

Второй интервал сложен черными и темно-серыми кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами. Породы перемяты, рассечены многочисленными мелкими разрывными нарушениями. Степень выветривания глинистых разностей сравнительно невысокая. По-видимому, к этому интервалу приурочены находки пражско-раннеэмских конодонтов [Аристов и др., 2005]. Мощность 10–15 м.

Третий интервал в нижней части плохо обнажен. На дневную поверхность выходят лишь кремни, образующие гривки, хорошо выдержанные на расстоянии. Верхняя половина интервала сложена кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами, но, в отличие от пород первого и второго интервалов, они имеют иной облик. Цвет глинистых разностей в большинстве случаев бежевый и рыжий, редко – темно-серый и черный. Они тонко рассланцованы и, как правило, рассыпаются в руках. Породы без признаков выветривания редки. Мощность около 100 м.

Характерной особенностью третьего интервала является наличие сравнительно мощных (1–5 м) пачек кремней. Цвет их серый и темно-серый, они будинированы и рассечены многочисленными трещинами и прожилками белого кварца. В этих кремнях обнаружены конодонты¹ зон *kitabicus* и *excavatus*, отвечающих нижней части эмского яруса [Стратиграфия и корреляция..., 1993; Артюшкова, Маслов, 2001; Аристов и др., 2005; Маслов, Артюшкова, 2010; Артюшкова, 2014].

Верхняя часть разреза задернована.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Всего проанализировано 5 образцов базальтов, 27 – кремнисто-глинистых сланцев и 10 – кремней.

Содержание главных элементов в базальтах определено методом РФА на спектрометре VRA-30 (ИГ УНЦ РАН, аналитики А.М. Мусина, Ф.Р. Валиева, С.В. Мичурин), малых элементов – методом ИСП-МС в центральной лаборатории ВСЕГЕИ (г. Санкт-Петербург) на масс-спектрометре ELAN-

¹ Приблизительное положение точек 7765, 7766 и 01380, где были найдены конодонты, было показано автору данного сообщения О.В. Артюшковой непосредственно в обнажении (см. рис. 1в–д).

DRC-6100. Разложение проб производилось путем сплавления их с метаборатом лития и дальнейшего растворения в кислотах в закрытой системе.

Содержание главных элементов, Sc, Zn, Sr, Ba, Ni в кремнисто-глинистых сланцах и в кремнях определено методом РФА (ИГ УНЦ РАН). Концентрация V, Co, Cr, Cu, Y, Zr и приближенное содержание Mo установлены методом ИСП-АЭС на спектрометре Shimadzu ICPE-9000 с кислотным разложением в открытой системе по методике [Мусина, Мичурин, 2016] (ИГ УНЦ РАН, ФГУП ИНФП, аналитик А.М. Мусина). Содержание Ni определено посредством атомно-абсорбционного анализа на спектрометре СПЕКТР-5 (ИГ УНЦ РАН, аналитик Н.Г. Христофорова). Термогравиметрический анализ выполнен на дериватографе Q-1500D (ИГ УНЦ РАН, аналитик Т.И. Черникова).

ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БАЗАЛЬТОВ

Три из пяти проанализированных образцов (12-154, 12-155, 12-156) базальтов были отобраны непосредственно из обнажений первого интервала разреза у д. Ишкильдино, как показано на рис. 1г. Две пробы (12-101, 12-101/1) отобраны в 4.5 км к юго-востоку от этого разреза, в коренных выходах у д. Утяганово (см. рис. 1б, координаты N 53°23'53.39", E 38°19'26.61"), где в сложных тектонических условиях залегают аналогичные базальты, кремнисто-глинистые и кремнистые сланцы с раннедевонскими конодонтами [Стратиграфия и корреляция..., 1993; Аристов и др., 2005].

Базальты трещиноватые, выветрелые. Цвет их темно-зеленый.

Структура пород диабазовая, наилучшим образом сохранилась в базальтах у д. Утяганово. В образцах, отобранных у д. Ишкильдино, структура существенно затушевана вторичными преобразованиями: плагиоклаз хлоритизирован и серицитизирован, пироксен хлоритизирован или эпидотизирован. Встречаются кальцитовые прожилки и жилы шириной от долей миллиметра до 10–12 см.

Все образцы имеют близкий геохимический состав (табл. 1, рис. 3).

По соотношению кремнекислоты и щелочей изученные породы относятся к натровым базальтам и трахибазальтам (SiO_2 – 47.2–49.0 %, $(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ – 3.1–5.1 %, $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ – 3.8–23.4).

Спектр распределения редкоземельных элементов, нормированных по хондриту [Тейлор, Мак-Леннан, 1988], показывает незначительный дефицит ЛРЗЭ (см. рис. 3а). Значение отношения $\text{La}/\text{Lu}_{(N)}$ варьирует в интервале 0.50–0.87, составляя в среднем 0.69.

Содержание большинства элементов в изученных базальтах близко к таковому в нормальных базальтах срединно-океанических хребтов (N-MORB)

[Sun, McDonough, 1989]. Исключение составляют Cs, Rb, Ba, K и Pb. Их концентрации существенно завышены (см. рис. 3б).

На треугольных диаграммах 2Nb–Zr/4–Y [Meschede, 1986] и Hf/4–Th–Ta [Wood, 1980], предназначенных для разделения базальтов разных геодинамических обстановок, все точки расположились в полях, отвечающих базальтам срединно-океанических хребтов.

Анализ опубликованных данных [Косарев, 2007, 2015; Косарев и др., 2003, 2005] показал, что по геохимическим характеристикам базальты разрезов Ишкильдино и Утяганово наиболее близки к базальтам поляковской свиты, возраст которой, согласно [Борисенок и др., 1998; Маслов, Артюшкова, 2000], – это средний–поздний ордовик.

ОСОБЕННОСТИ ЛИТОХИМИЧЕСКОГО И МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА СЛАНЦЕВ

Данные о химическом составе сланцев и кремней разреза Ишкильдино приведены в табл. 2 и на рис. 3.

Нормирование содержания оксидов породообразующих элементов в исследуемых сланцах по составу среднего постархейского австралийского сланца (РААС²) показывает, что породы разных интервалов разреза не имеют существенных различий. Исключение составляют единичные образцы. Для подавляющего большинства проб общим является повышенное относительно РААС содержание SiO₂, пониженное содержание TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MgO, K₂O и особенно CaO (рис. 4а). Na₂O и P₂O₅ присутствуют в количестве как большем, так и меньшем по сравнению с РААС.

В соответствии с литохимической классификацией Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис [2000], по величине гидролизатного модуля ГМ³ 25 образцов относятся к типу силитов (ГМ – 0.14–0.30), 7 из них – к классу нормосилитов (ГМ – 0.14–0.20), 18 – к классу миосилитов (ГМ – 0.21–0.3). Два образца (13–114, 13–125) по величине ГМ – более 0.31 – соответствуют типу сиаллитов и сиферлитов.

Согласно [Юдович, Кетрис, 2000], силиты являются преимущественно кремневыми или кварцевыми породами. По величинам ГМ, АМ и ФМ, т.е. модулей, в знаменателе которых присутствует SiO₂, сланцы разреза Ишкильдино занимают положение между средним составом кремнистых и глинистых пород (рис. 4б). Это, по всей видимости, обусловлено присутствием в них кремнезема в свободной форме (в среднем на 10% больше, чем в РААС), что, вероятно, вызвано одновременным накоплением и

Таблица 1. Содержание петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в базальтах

Table 1. Content of main (wt %) and trace (ppm) elements in basalts

Компонент	№ пробы				
	12-101	12-101/1	12-154	12-155	12-156
SiO ₂	47.2	48.5	49.0	47.6	47.4
TiO ₂	1.89	1.68	1.43	1.91	1.91
Al ₂ O ₃	14.1	14.2	14.4	14.2	13.7
Fe ₂ O ₃ *	15.4	13.1	14.6	15.8	14.8
MnO	0.23	0.27	0.21	0.23	0.23
MgO	5.1	6.1	5.7	4.7	6.2
CaO	7.1	9.0	7.0	5.1	5.7
Na ₂ O	4.3	2.9	3.9	2.9	4.8
K ₂ O	0.18	0.27	0.86	0.75	0.28
P ₂ O ₅	0.18	0.13	0.12	0.12	0.12
П.п.п.	2.2	2.5	1.8	4.2	4.1
Сумма	97.9	98.7	99.0	97.5	99.2
Cr	183	234	103	184	187
Co	43.4	47.4	58.2	70.6	41.8
Ni	58.6	78.6	52.4	61.7	49.1
Cu	83.0	74.3	92.2	97.9	96.3
Zn	95.8	105.0	95.3	119.0	101.0
Ga	19.1	16.9	16.0	15.7	16.1
Rb	5.5	5.6	19.7	20.4	6.5
Sr	33.3	64.2	65.8	70.3	74.9
Y	35.5	35.1	28.6	35.4	32.2
Zr	99.2	90.9	57.2	99.6	97.6
Nb	4.3	2.8	1.9	3.0	2.8
Cs	1.7	1.6	1.8	2.7	1.8
Ba	48.5	31.7	52.9	36.9	46.6
La	5.0	3.5	2.2	3.3	3.8
Ce	13.2	11.2	6.5	10.8	11.2
Pr	2.2	1.8	1.1	1.9	1.9
Nd	12.3	11.5	6.7	11.2	11.2
Sm	4.0	3.8	2.6	3.9	3.4
Eu	1.4	1.3	0.9	1.3	1.3
Gd	4.9	4.8	3.4	4.7	4.5
Tb	0.9	0.9	0.7	0.9	0.9
Dy	6.5	6.4	5.0	6.5	6.0
Ho	1.3	1.2	1.1	1.3	1.2
Er	4.0	3.9	3.3	3.9	3.5
Tm	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5
Yb	3.3	3.6	2.7	2.9	3.0
Lu	0.6	0.6	0.5	0.6	0.5
Hf	2.8	2.6	1.5	2.8	2.6
Ta	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3
Pb	1.7	2.6	1.1	1.1	4.8
Th	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2
U	0.11	<0.1	<0.1	0.12	<0.1

глинистого, и кремнистого материала, наличием отдельных слоев кремней и прожилков кварца.

О составе глинистой составляющей сланцев позволяет судить соотношение содержания калия, магния и алюминия. Для этого были применены диаграммы АКМ [Головенко, 1977] и К/Al–Mg/Al [Turgeon, Brumsack, 2006], на которых все точки, отвечающие составу изученных образцов, располо-

² Состав РААС по данным [Тейлор, МакЛеннан, 1988].

³ ГМ = (Al₂O₃ + TiO₂ + FeO + Fe₂O₃ + MnO)/SiO₂; АМ = Al₂O₃/SiO₂; ФМ = (Fe₂O₃ + FeO + MnO + MgO)/(SiO₂); ЖМ = (FeO + Fe₂O₃ + MnO)/(TiO₂ + Al₂O₃); ИЦМ = Na₂O/K₂O; ОИЦ = Na₂O + K₂O.

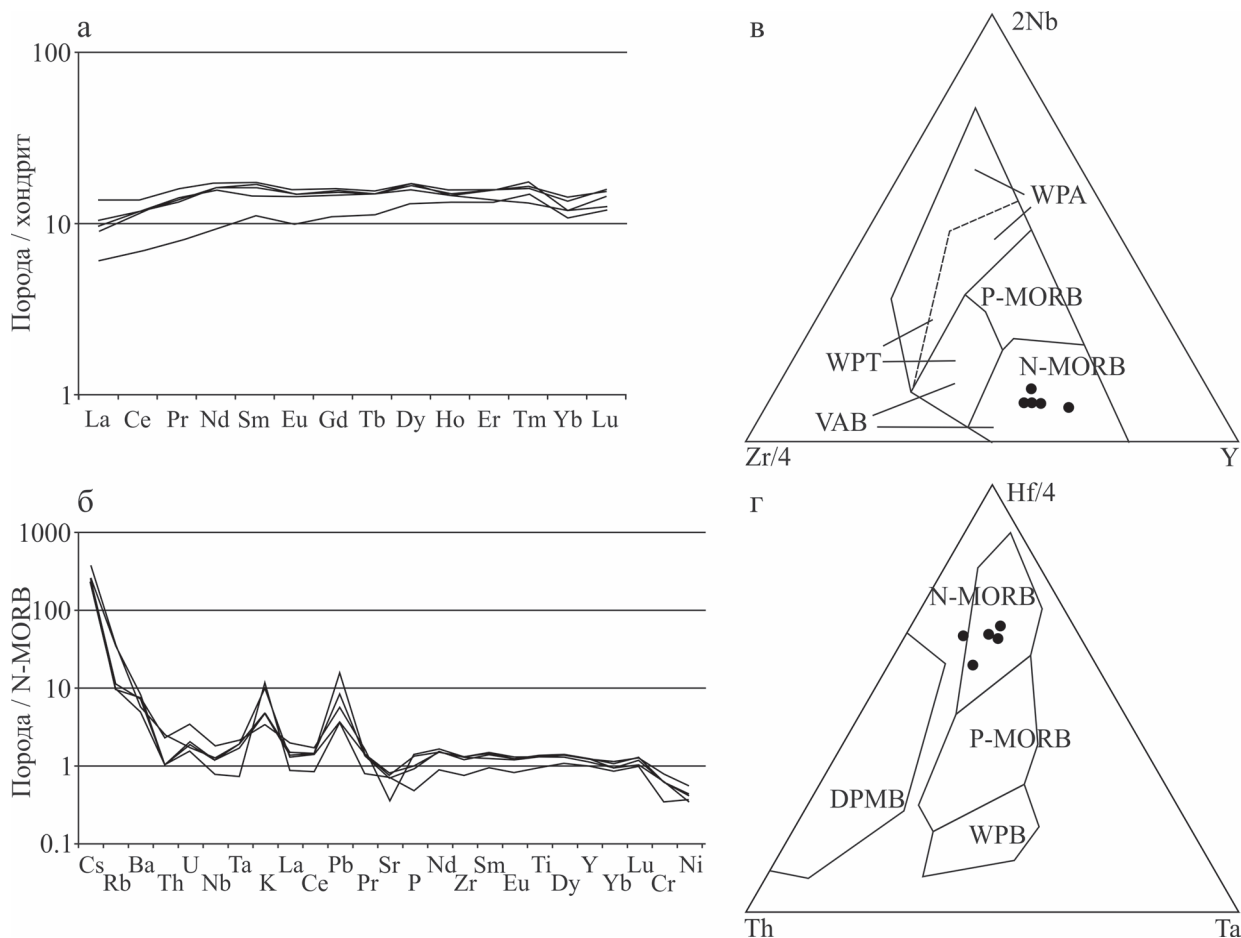


Рис. 3. Геохимическая характеристика базальтов.

а – распределение РЗЭ, нормированных по хондриту, состав хондрита по [Тейлор, МакЛеннан, 1988]; б – распределение микроэлементов, нормированных по N-MORB, состав N-MORB по [Sun, McDonough, 1989]; в – диаграмма 2Nb–Zr/4–Y по [Meschede, 1986]; г – диаграмма Hf/4–Th–Ta по [Wood, 1980].

Fig. 3. Geochemical characteristics of basalts.

а – REE distribution normalized to chondrite, the composition of the chondrite [Taylor, McLennan, 1988]; б – the distribution of trace elements normalized to N-MORB, the composition of N-MORB [Sun, McDonough, 1989]; в – diagram 2Nb–Zr/4–Y [Meschede, 1986]; г – diagram Hf/4–Th–Ta at [Wood, 1980].

жились в областях, характерных для гидрослюда (рис. 4в, г).

Термогравиметрический анализ, несмотря на слабое проявление эффектов, подтвердил и дополнил результаты обработки литохимических данных. По отрицательным эффектам на линии ДТГ при температуре 80–90 и 570–630°C в изученных породах была диагностирована гидрослюда. Ее приблизительное содержание достигает 33%. В восьми образцах отмечены положительные эффекты на линии ДТА в диапазоне температур 370–420°C при потере массы от 0.6 до 2.3%, что указывает на присутствие в них органического вещества. В восьми образцах по отрицательному эффекту на линии ДТГ при температуре 275–287°C обнаружен гётит в концентрации 2–8%. В трех пробах (13-114, 13-116, 13-121) по отрицательным пикам на линии ДТГ в интерва-

лах 80–100, 180–190 и 510–520°C предположительно установлен монтмориллонит.

Выше упоминалось, что два образца, в отличие от остальных, относятся к типу сиаллитов и сиферлитов. Остановившись на них отдельно, отметим, что обр. 13-114 имеет следующие литохимические параметры: ФМ – 0.18, магнезиальность – 3.3%, ЖМ – 0.69, ЩМ – 1.08, что свойственно классу псевдосиаллитов. Учитывая данные [Юдович, Кетрис, 2000], есть основания предполагать наличие в данном образце монтмориллонита. Это подтверждено результатами термогравиметрического анализа. Псевдосиаллиты, как правило, являются вулканогенными и вулканогенно-осадочными породами [Юдович, Кетрис, 2000]. Поскольку в обр. 13-114 отмечается повышенное относительно остальных проб содержание MgO, Cr, Ni и Co, можно пред-

Таблица 2. Содержание главных (мас. %) и редких (г/т) элементов в кремнисто-глинистых сланцах

Table 2. Content of main (wt %) and trace (ppm) elements in cherty-argillaceous shales

Компо- нент	Первый интервал						Второй интервал								
	№ пробы														
	14-107	14-109/1	14-111	14-112	12-153	14-115	14-114	12-99	14-113	12-100	14-112/1	13-125			
SiO ₂	74.3	71.3	71.1	69.7	65.4	76.1	77.5	74.4	77.1	74.7	74.7	63.5			
TiO ₂	0.48	0.50	0.50	0.55	0.53	0.41	0.42	0.42	0.35	0.39	0.47	0.55			
Al ₂ O ₃	11.1	11.3	12.5	13.3	13.3	7.3	11.2	11.0	10.4	9.8	12.9	14.5			
Fe ₂ O ₃ *	4.0	5.1	4.5	4.6	5.8	3.7	3.6	4.6	3.6	4.3	4.8	6.5			
MnO	0.05	0.05	0.07	0.05	0.05	0.03	0.03	0.02	0.03	0.05	0.03	0.02			
MgO	2.1	2.3	2.2	2.4	2.4	1.6	1.5	1.4	1.3	1.3	1.9	2.0			
CaO	0.4	0.9	0.5	0.4	1.2	0.1	0.1	0.3	0.0	0.3	0.2	0.3			
Na ₂ O	1.5	2.6	1.0	1.4	1.4	1.1	0.5	0.6	1.1	0.7	1.6	1.7			
K ₂ O	2.8	1.9	3.3	3.7	3.9	2.7	2.6	2.6	2.4	2.5	3.1	3.8			
P ₂ O ₅	0.08	0.26	0.10	0.09	0.35	0.08	0.04	0.12	0.02	0.07	0.05	0.13			
П.п.п.	3.3	4.3	4.1	3.8	4.9	2.9	2.7	3.2	3.3	4.1	3.7	5.6			
Сумма	100.1	100.5	99.9	100.0	99.2	96.1	100.2	98.6	99.7	98.4	103.4	98.5			
V	79	95	83	88	130	55	78	91	113	112	82	101			
Co	6.2	11.1	20.0	10.6	13.5	8.7	6.5	3.8	5.2	8.1	5.8	11.3			
Ni	27	44	84	47	85	41	26	38	68	81	39	48			
Cr	61	67	61	71	69	54	56	69	62	49	63	75			
Cu	58	61	66	62	77	27	56	69	103	89	63	105			
Zn	83	140	191	100	130	70	79	96	86	111	75	188			
Zr	83	87	89	96	98	78	78	81	75	77	86	120			
Mo	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0.8	0.1	Н.о.	Н.о.	1.2			
Ba	219	191	245	265	251	236	223	227	213	210	258	344			
Nb	11	11	11	11	11	11	11	11	12	12	11	10			
La	8	13	21	16	22	18	14	15	18	19	18	25			
Ce	12	23	40	31	33	35	28	24	37	39	30	42			
Nd	6	12	18	13	15	14	10	6	11	10	10	20			
Компо- нент	Третий интервал														
	№ пробы														
	13-111	13-112	13-113	13-114	13-115	13-116	13-117	13-118	16-52	16-53	16-54	13-119	13-120	13-121	13-122
SiO ₂	77.4	70.3	73.4	64.6	69.9	68.0	70.4	80.9	70.3	79.5	69.7	72.8	75.2	72.1	75.3
TiO ₂	0.23	0.37	0.33	0.30	0.27	0.29	0.32	0.24	0.30	0.17	0.35	0.46	0.28	0.42	0.29
Al ₂ O ₃	8.7	12.8	9.8	12.0	13.0	14.3	12.6	8.0	11.0	7.7	11.4	11.7	10.2	10.4	10.1
Fe ₂ O ₃ *	4.6	5.0	5.1	8.3	5.5	4.4	5.4	3.8	5.1	3.6	4.4	2.7	4.8	5.1	5.1
MnO	0.08	0.07	0.09	0.22	0.22	0.07	0.07	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.06	0.09
MgO	1.0	1.3	1.3	3.3	1.2	1.3	1.2	0.7	1.4	0.9	1.5	1.3	0.9	1.5	1.1
CaO	0.3	0.3	0.4	0.8	0.2	0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.5	0.2	0.1	0.7	0.2
Na ₂ O	1.0	2.2	2.1	2.0	1.8	1.5	1.4	2.2	0.7	0.5	0.5	0.9	1.4	0.7	0.7
K ₂ O	1.6	2.5	1.9	1.8	2.6	3.3	2.4	1.4	2.5	1.5	2.7	3.0	2.0	2.2	1.6
P ₂ O ₅	0.09	0.11	0.19	0.17	0.15	0.08	0.12	0.12	0.32	0.26	0.30	0.15	0.22	0.27	0.11
П.п.п.	3.3	3.2	3.8	4.2	3.5	4.8	4.5	2.3	5.1	2.8	5.5	6.6	3.8	5.0	3.5
Сумма	98.3	98.2	98.4	97.8	98.3	98.3	98.7	99.8	97.1	97.3	96.8	99.9	98.9	98.4	97.9
V	51	57	91	130	116	69	50	36	127	63	148	760	101	150	45
Co	10.5	11.4	8.3	23.1	29.0	12.0	9.6	5.9	4.8	2.2	2.8	0.5	5.2	9.3	12.3
Ni	35	44	29	141	38	43	39	19	43	27	36	77	19	61	32
Cr	44	54	48	124	68	54	59	45	55	43	60	90	57	58	56
Cu	70	77	77	95	111	55	64	52	72	55	81	55	117	118	73
Zn	102	97	70	119	91	117	126	47	89	76	73	14	89	180	96
Zr	49	73	68	110	78	85	70	46	81	39	89	115	61	79	56
Mo	Н.о.	Н.о.	Н.о.	1.7	4.3	1.3	Н.о.	Н.о.	2.4	1.6	1.0	12.7	0.5	Н.о.	Н.о.
Ba	169	222	188	172	250	296	252	147	229	182	262	285	139	215	163
Nb	11	11	11	11	11	11	11	12	11	12	10	13	11	10	6
La	12	17	15	44	36	34	15	11	24	14	30	25	16	19	11
Ce	21	31	28	24	34	32	27	23	5	0.2	23	25	26	34	20
Nd	7	12	11	19	21	18	9	8	14	5	19	21	12	15	8

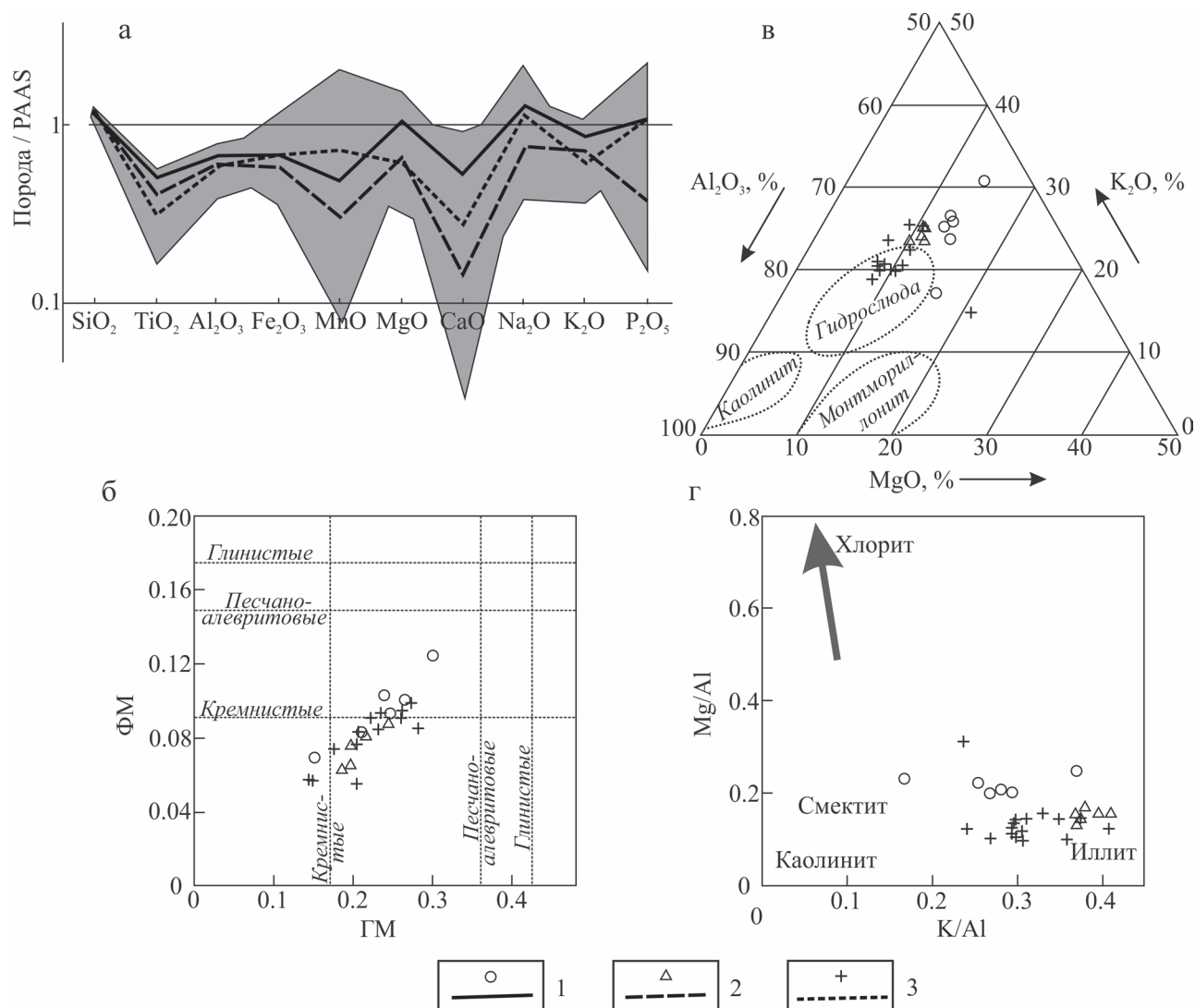


Рис. 4. Геохимическая характеристика кремнисто-глинистых сланцев.

а – распределение оксидов петрогенных элементов, нормированных по PAAS, состав PAAS по [Тейлор, МакЛеннан, 1988]; б – диаграмма ГМ–ФМ с вынесенными средними значениями для различных пород по [Юдович, Кетрис, 2000]; в – диаграмма Al₂O₃–MgO–K₂O по [Головенко, 1977]; г – диаграмма K/Al–Mg/Al по [Turgeon, Brumsack, 2006]. 1–3 – фигуративные точки состава и линии среднего состава сланцев первого (1), второго (2) и третьего (3) интервалов разреза.

Fig. 4. Geochemical characteristics of siliceous-clay shale.

а – distribution of oxides of major elements normalized on PAAS, the PAAS composition according to [Taylor, McLennan, 1988]; б – diagram of GM–FM with the adopted average values for different species [Yudovich, Ketris, 2000]; в – diagram Al₂O₃–MgO–K₂O [Golovenko, 1977]; г – diagram K/Al–Mg/Al [Turgeon, Brumsack, 2006]. 1–3 – figurative point of the composition and the line of an average shale composition of the first (1), second (2) and third (3) intervals of the section.

положить в нем примесь материала основного или ультраосновного состава.

Образец 13-125 имеет высокие значения ОЩ – 5.53, ФМ – 0.13, ЩМ – 0.4, что позволяет отнести его к классу гипосиллитов, которые, по утверждению [Юдович, Кетрис, 2000], чаще всего оказываются не столько глинистыми, сколько обломочными породами, например глинистыми алевролитами. Присутствие в данном образце и глинистого, и

алевритового или песчаного материала подтверждается относительно повышенными потерями при прокаливании, высоким содержанием TiO₂, Al₂O₃, Ba, Zn, Sc, Zr и пониженным SiO₂ (см. табл. 2).

СТЕПЕНЬ ВЫВЕТРИВАНИЯ МАТЕРИАЛА

В практике литохимических исследований для оценки интенсивности выветривания обломочно-

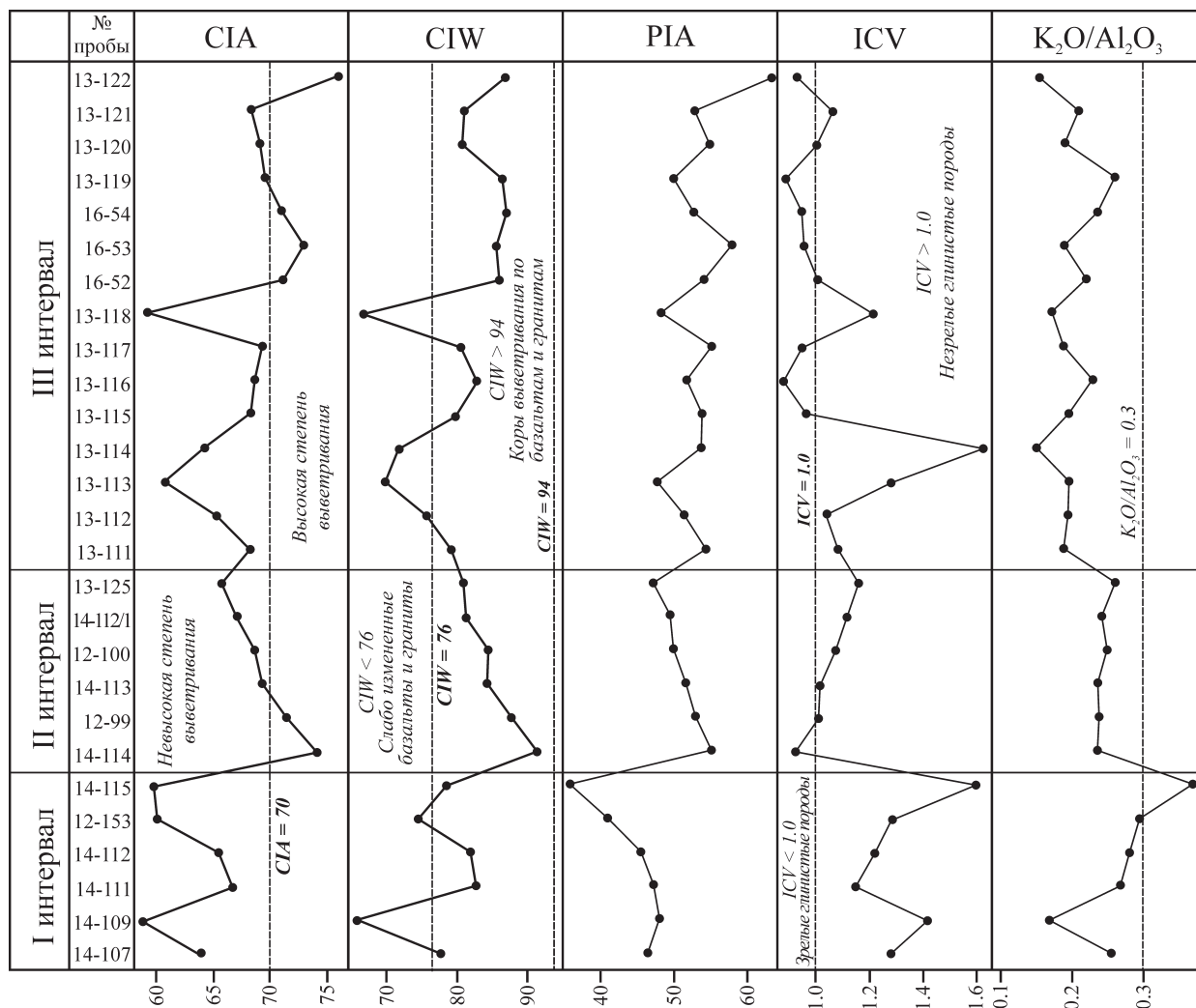


Рис. 5. Вариации литохимических параметров зрелости осадочного вещества в кремнисто-глинистых сланцах разреза Ишкильдино.

Fig. 5. Variations of lithochemical parameters of maturity of sedimentary matter in the cherty-argillaceous shales Ishkildino section.

го материала на палеоводосборе служит ряд индексов и модулей. Наиболее востребованными из них являются индекс химического выветривания (CIA)⁴ [Nessbit, Young, 1982], химический индекс выветривания (CIW) [Harnois, 1988], индекс изменения состава (ICW) [Cox et al., 1995], индекс изменения плагиоклаза (PIA) [Fedo et al., 1995] и др. Перечисленные показатели позволяют определить степень выветривания осадочного алюмосиликокластического материала, формирующего коры выветривания или поступающего в область седиментации.

⁴ $CIA = 100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$, $CIW = 100Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O)$, $ICW = (Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO + MgO + TiO_2) / Al_2O_3$, $PIA = 100(Al_2O_3 - K_2O) / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$. Все приведенные здесь индексы рассчитываются по молекулярным количествам оксидов.

Величина индекса химического выветривания, согласно [Nessbit, Young, 1982], не превышает 70 в незрелых осадках областей с аридным или нивальным климатом. Значения CIA более 70 свойственны продуктам глубокого выветривания и характерны для отложений гумидных зон. В сланцах разреза Ишкильдино CIA колеблется в интервале 59–74, составляя в среднем 67 (рис. 5). Эти значения соответствуют неглубоким преобразованиям, при этом наименьшие значения CIA установлены в первом интервале разреза. Во втором и третьем интервалах значения CIA несколько повышены, но, за исключением единичных образцов, остаются по-прежнему ниже 70.

Индекс CIW рассчитывается почти по той же формуле, что и CIA, с той лишь разницей, что в расчет не берется K_2O . “Ориентирами” при интерпре-

тации CIW, согласно [Harnois, 1988], служат две величины. Значения данного индекса менее 76 характерны для неизмененных базальтов и гранитов, а более 94 – для кор выветривания по упомянутым магматическим породам. В сланцах первого интервала разреза индекс CIW составляет в среднем 77 (см. рис. 5), что указывает на низкую степень выветривания. Точки, отвечающие сланцам второго интервала, расположились в диапазоне значений между 76 и 94. Это свидетельствует о средней степени гипергенных изменений исходного осадочного материала. В верхней части разреза большинство точек также попало в поле промежуточных значений, но четыре все же характеризуются пониженными величинами CIW.

Результаты, близкие к приведенным, получены при анализе PIA, ICV и K_2O/Al_2O_3 . Стоит лишь отметить, что по величине ICV > 1 большинство образцов первого и второго интервалов отвечает незрелым глинистым породам с примесью неглинистых силикатных минералов. В противоположность этому в половине проб из третьего интервала индекс ICV < 1, что указывает на повышенную интенсивность процессов выветривания. Кроме этого, судя по величине K_2O/Al_2O_3 > 0.3, в обр. 14-115 присутствует примесь калиевого полевого шпата.

ОБСТАНОВКИ СЕДИМЕНТАЦИИ

Имеющиеся в нашем распоряжении результаты определения литогеохимического состава сланцев дают возможность детализировать некоторые параметры обстановок седиментации. К таковым, в частности, относится наличие или отсутствие в осадках продуктов подводных гидротерм. Судить об этом позволяет отношение $(Fe + Mn)/Ti$. Согласно Н.М. Страхову [1979], в тех отложениях, где значение данного модуля превышает 25, можно предполагать присутствие гидротермального материала. В исследованных сланцах величина отношения $(Fe + Mn)/Ti$ меняется. Она минимальна (в среднем 11.6) в отложениях двух нижних интервалов разреза (рис. 6). В сланцах верхнего интервала данный модуль в среднем равен 19.8, но в обр. 13-114,

13-115, 16-53 его величина превышает пороговое значение в 25 и составляет 33.4, 25.4 и 25.3 соответственно. Кроме этого, в последних двух образцах повышены содержания Co (23 и 29 г/т по сравнению со средним содержанием по разрезу 9.5 г/т) и MnO (по 0.22 % в каждом образце, тогда как среднее по разрезу – 0.06 %).

В кремнях третьего интервала, образцы которых отбирались в непосредственной близости от образцов сланцев (имеют такие же номера, но с литерой “к” в табл. 3), средняя величина отношения $(Fe + Mn)/Ti$ составляет 23.3. При этом в трех пробах из девяти значение данного модуля достигают 26.9, 27.0 и 29.4 (см. рис. 6).

Судить о положении области седиментации относительно зон спрединга и побережий позволяет величина аномалии церия (Ce/Ce^*). В донных осадках она закономерно увеличивается в направлении от срединно-океанических хребтов к периферии океанов от 0.2–0.3 до 0.9–1.3 [Murray et al., 1990]. Величина данного показателя в сланцах изученного разреза составляет в среднем 0.94, в кремнях – 1.2 (см. рис. 6), т.е. соответствует отложениям, удаленным от СОХ. Однако в единичных пробах сланцев аномалия церия снижается до значений 0.2–0.4, что может указывать на наличие в осадках либо гидротермального, либо органогенного фосфатного материала [Геохимия..., 1980].

Помимо аномалии церия, модулей Страхова и Бострёма, широко применяемых при реконструкциях древних седиментационных обстановок, представляется интересным проанализировать отношения Cr/Al , V/Al и Zr/Al . Их величины в осадках современных океанов существенно меняются в зависимости от положения относительно прибрежных и пелагических зон, срединно-океанических хребтов и океанских (базальтовых) островов [Лукашин, 1981; Геохимия..., 1980]. Сопоставление с ними параметров нижнедевонских сланцев представляется полезным для понимания географической позиции того участка древнего седиментационного бассейна, которому отвечает разрез Ишкильдино.

Отношение Cr/Al в исследованных сланцах в среднем составляет $10.5 \cdot 10^{-4}$. Аналогичные показатели, по данным В.Н. Лукашина [1981], имеют

Таблица 3. Содержание некоторых петрогенных (мас. %) и редких (г/т) элементов в кремнях

Table 3. Content of some main (wt %) and trace (ppm) elements in cherts

Элемент	Номер пробы								
	111к1	111к3	112к	115к	116к	117к	120к1	120к2	122к2
Al	0.78	0.84	1.28	0.60	0.84	1.05	0.98	1.00	1.13
Ti	0.04	0.03	0.06	0.03	0.03	0.04	0.04	0.04	0.05
Fe	0.74	0.92	1.15	0.50	0.86	0.91	0.67	1.40	1.11
Mn	0.03	0.04	0.02	0.01	0.03	0.02	0.01	0.01	0.03
La	3.5	3.4	5.7	3.5	3.2	5.3	4.4	4.7	4.2
Ce	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1
Nd	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1

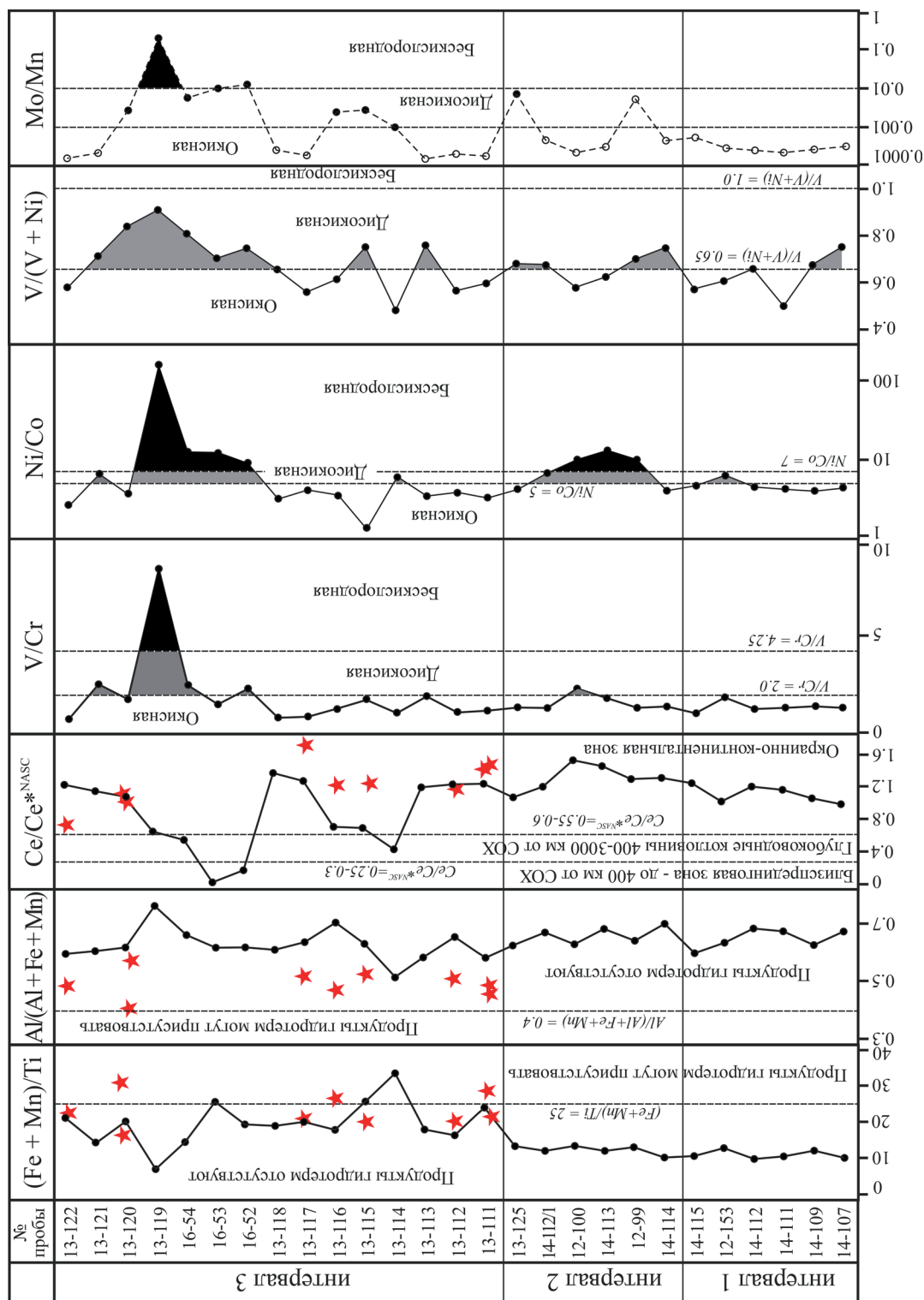


Рис. 6. Вариации литогеохимических индикаторов присутствия гидротермального материала и окислительно-восстановительных обстановок в кремнисто-глинистых сланцах разреза Ишкильдино.

Использованы приближенные содержания Mo. Белыми точками показаны пробы, в которых Mo не обнаружен, а отношение Mo/Mn рассчитано по концентрации Mo = 0.1 г/т, т.е. по нижнему пределу обнаружения метода ИСП-АЭС. Звездочками показаны значения некоторых параметров в кремнистых сланцах.

Fig. 6. Variations of lithogeochemical indicators of the presence of hydrothermal material and the redox conditions in cherty-argillaceous shales Ishkildin sections. Used the approximate content of Mo. White dots represent samples in which Mo is not detected, and the ratio of Mo/Mn is calculated according to the concentration of Mo = 0.1 ppm, i.e., the lower detection limit of the method ICP-AES. Asterisks show the values of some parameters in cherty shales.

современные пелагические осадки, существенно удаленные от побережья континентов, срединно-океанических хребтов и базальтовых вулканических островов, где величины Cr/Al в осадках на порядок выше.

Величина V/Al в осадках Индийского океана постепенно возрастает от береговых зон в направлении к Срединно-Индийскому хребту от $10 \cdot 10^{-4}$ до $100 \cdot 10^{-4}$, т.е. минимально оно в терригенных и вулканотерригенных (островодужных) осадках, а максимально – в отложениях активных хребтов [Лукашин, 1981]. Среднее значение отношения V/Al в сланцах разреза Ишкильдино составляет $15.3 \cdot 10^{-4}$, что явно указывает на осадконакопление на удалении от области спрединга.

В современных осадках Индийского океана, согласно [Лукашин, 1981], величина отношения Zr/Al имеет максимальные значения (более $20 \cdot 10^{-4}$, а иногда и более $100 \cdot 10^{-4}$) в терригенных разностях, что связано с примесью циркона. В пелагических зонах растворенный в воде Zr накапливается за счет сорбции, прежде всего, гидроокислами Fe . В результате величины Zr/Al в глубоководных осадках центральной части океана сопоставимы с таковыми в прибрежных зонах. Среднее значение Zr/Al в сланцах разреза Ишкильдино составляет $13.4 \cdot 10^{-4}$, что соответствует областям, удаленным как от побережий, так и от пелагических зон, примыкающих к срединно-океаническим хребтам.

Реконструкцию окислительно-восстановительных обстановок в древних седиментационных бассейнах проводят на основе целого ряда геохимических параметров. Исследования Б. Джонса и А. Маннинга [1994] показали, что наиболее точных результатов позволяет достичь применение следующих пяти параметров: степени пиритизации осадков, “аутигенного U ”, Ni/Co , V/Cr и U/Th . К сожалению, имеющиеся аналитические данные позволяют применить лишь два из них в отношении сланцев разреза Ишкильдино – Ni/Co и V/Cr . Согласно упомянутым авторам, осадки окисной зоны характеризуются значениями данных отношений менее 5 и 2 соответственно. Для осадков, формирующихся в бескислородных условиях, характерны величины более 7 и 4.25 соответственно. Промежуточные значения свойственны дисокисным обстановкам.

Большинство проб из разреза Ишкильдино характеризуется низкими значениями Ni/Co и V/Cr , отвечающими окислительным обстановкам (см. рис. 6). Исключением является ряд образцов из второго и верхней части третьего интервалов.

Во втором интервале три из пяти образцов имеют значение Ni/Co , соответствующее восстановительным условиям, при этом лишь один из них имеет величину V/Cr , характерную для отложений дисокисных обстановок. В остальных образцах этого интервала значения V/Cr не превышают 2, т.е. отвечают окислительным условиям.

В верхней части третьего интервала бескислородным обстановкам отвечают четыре образца по величине Ni/Co и один образец по величине V/Cr . Три пробы характеризуются отношением V/Cr , соответствующим дисокисным условиям.

Информативным при выявлении окислительно-восстановительных обстановок является также коэффициент стагнации Mo/Mn [Холодов, Наумов, 1991]. В окисной зоне величина его не превышает 0.00n, тогда как в бассейнах с сероводородным заражением возрастает до 0.0n и 0.n.

В исследуемых образцах содержание Mo оказалось меньше предела чувствительности метода ИСП-АЭС, т.е. менее 0.1 г/т, однако в тех образцах, в которых приблизительное содержание Mo было установлено, величина коэффициента стагнации оказалась менее 0.01 (см. рис. 6), что указывает на хорошую аэрацию придонного слоя воды. Лишь в двух образцах (13-119 и 16-52) из верхней части разреза эта величина превысила 0.01, что является признаком бескислородных обстановок осадконакопления.

Отношение $\text{V}/(\text{V}+\text{Ni})$ было отнесено Б. Джонсом и А. Маннингом [Jones, Manning, 1994] к числу малоинформативных для реконструкции окислительно-восстановительных условий, но отметим, что его повышенные значения, свойственные отложениям дисокисных зон, встречаются периодически по всему разрезу и наиболее часто в верхней его части, где восстановительные условия предполагаются на основании величин Ni/Co , V/Cr и Mo/Mn .

ОБСУЖДЕНИЕ

Приступая к обсуждению полученных новых фактических данных, необходимо остановиться на вопросах распространения базальтов на прилегающей к изучаемому участку территории, их возраста и возможных взаимоотношений с перекрывающими кремнистыми и кремнисто-глинистыми сланцами.

Базальты, макроскопически сходные с базальтами нижней части разреза Ишкильдино, широко распространены на прилегающей территории, что отмечалось Б.Д. Магадеевым [1974] и подтверждается нашими полевыми наблюдениями. Однако принадлежность их к какому-либо стратиграфическому подразделению (общему или местному) или определенному этапу (режиму) геодинамического развития остается неясной. В одних случаях принимается ордовикский возраст базальтов [Косарев и др., 2003; Аристов и др., 2005], в других – силурийский [Магадеев, 1974], в третьих – раннеэмский [Князев, 2006; Маслов, Артюшкова, 2010]. Анализ немногочисленных фондовых и опубликованных работ и наши данные позволяют отнести базальты и сланцы разреза Ишкильдино к силурийской базальтовой формации, выделенной Б.Д. Магадеевым (здесь и далее термин “силурийская” рас-

сматривается лишь как часть названия формации, но не ее возраст). Данное предположение основано на следующем.

Во-первых, базальты нижней части разреза Ишкильдино по содержанию петрогенных элементов близки к базальтам силурийской формации и отличаются от эффузивов иного возраста, закартированных Б.Д. Магадеевым [Магадеев и др., 1963; Магадеев, 1974] на территории верхнего течения р. Бол. Кизил.

Во-вторых, два образца базальтов из разреза у д. Утяганово были отобраны в поле распространения силурийской базальтовой формации. По геохимическим параметрам они не отличимы от базальтов первого интервала разреза Ишкильдино (см. рис. 3).

В-третьих, разрез Ишкильдино и силурийская базальтовая формация имеют идентичное строение: вулканы перекрываются пачкой кремнистых и кремнисто-глинистых сланцев с раннедевонскими конодонтами (деревни Ишкильдино, Утяганово и Искаково).

Важно особо отметить, что в четырех пунктах (два у д. Искаково, по одному у д. Утяганово и бывш. хут. Ядгарский) в сланцах, перекрывающих базальты, были обнаружены силурийские граптолиты (сборы Б.М. Садрисламова, Б.Д. Магадеева, определение Б.М. Садрисламова), что и послужило основанием для ее датирования [Магадеев, 1974].

Таким образом, обобщая изложенный материал, можно предположить, что в разрезе Ишкильдино и на прилегающей территории базальты ордовикского и/или силурийского возраста перекрываются силурийско-нижнедевонскими кремнисто- и кремнисто-глинистыми сланцами. Этому противоречат находки раннедевонских конодонтов в сланцах, переслаивающихся с базальтами первого интервала разреза Ишкильдино [Аристов и др., 2005]. Однако, ввиду того, что их точная привязка не приведена, они исключены из рассмотрения.

Единственное, что не вызывает сомнения в изложенной гипотезе, – это раннеэмский возраст отложений третьего интервала разреза Ишкильдино.

Начало эмского времени и ранний девон в целом являются наименее изученным периодом в истории геологического развития Магнитогорской мегазоны. Между тем именно в раннем девоне началось заложение зоны субдукции и последующее формирование Магнитогорской островодужной системы [Пучков, 2000; Косарев и др., 2005; Косарев, 2007 и др.].

Наиболее ранним проявлением магматизма, связанного с заложением зоны субдукции, считается мостостроевский вулканический комплекс [Косарев, 2007]. Однако в последнее время появляются сведения о наличии в Присакмаро-Вознесенской подзоне лохковско-пражских интрузивных образований, характеризующихся островодужными геохимическими параметрами [Грабежев, 2009; Косарев и др., 2014]. С началом субдукции связывают

также образование олистостром, например, в районе д. Байгускарово [Пучков, 2000; Косарев и др., 2005; Косарев, 2007]. Возможно, с ним же сопряжено накопление обломочных отложений нижней (лохковской) части ильтибановской толщи и нескольких горизонтов микситов и граувакк, обнаруженных в районе д. Мансурово на севере ЗМЗ.

Обобщая опубликованные данные о геологических процессах, происходивших на изучаемой территории в допозднеэмское время, можно заключить, что свидетельств широкого распространения островодужного или спредингового вулканизма и повсеместных масштабных тектонических перестроек нет, по крайней мере, они не обнаружены. Данное заключение согласуется с результатами изучения кремнистых и кремнисто-глинистых сланцев разреза Ишкильдино. Их последовательность в целом монотонна. Состав не испытывает существенных изменений. На протяжении всего времени их формирования (ранний девон и, по-видимому, часть силура) поступал глинистый материал невысокой степени выветривания. Область седиментации была удалена от источников, оказывающих существенное влияние на состав осадков (континентальные окраины различных типов, базальтовые острова и др.). По величинам аномалии церия, модулей Страхова и Бострёма проявлений гидротермальной активности не отмечается. Редкие случаи соответствия указанных параметров осадкам, обогащенным продуктами подводных гидротерм, сопоставляются с формированием мостостроевского вулканического комплекса.

Анализ геохимических индикаторов окислительно-восстановительных условий показал, что седиментация протекала преимущественно в окислительной среде. Исключением являются два уровня. Первый соответствует средней части второго интервала разреза, где лишь отношение Ni/Co отвечает бескислородным зонам. Второй уровень накопления осадков в бескислородных обстановках выделяется достаточно определенно по нескольким индикаторным отношениям (см. рис. 6). Важно отметить, что выше и ниже по разрезу известны находки конодонтов, которые указывают на раннеэмский возраст отложений, а именно время, соответствующее конодонтовым зонам *kitabicus* и *excavatus* [Маслов, Артюшкова, 2010]. В этот временной интервал, согласно [Becker et al., 2012], произошло глобальное геологическое событие Basal Zlichov.

Событие Basal Zlichov было впервые описано И. Хлупачем и З. Кукалом в 1988 г. в Богемии (Чешская Республика). О. Валлизер [Walliser, 1995] и Х. Гарсия-Альгальде [García-Alcalde, 1997], обобщая материалы названных выше исследователей, указывают, что оно было локальным и не является значимым. Причины данного события тектонические (tectonically-controlled event), а само оно про-

явлено разнообразными литологическими переходами, сочетающими различные геологические процессы, в том числе трансгрессии и регрессии в пределах одного бассейна.

Х. Гарсия-Альгальде [Garcia-Alcalde, 1997] утверждает, что событие Basal Zlichov отчетливо и с легкостью прослеживается далеко за пределы Богемии. В Испании, в частности, оно проявлено резкой литологической границей, обусловленной трансгрессивным импульсом. Сходные данные приведены в обобщающей статье [Becker et al., 2012], где указано, что событию Basal Zlichov соответствует короткая по длительности трансгрессия. Вполне возможно, что с ней же связаны изменения обстановок седиментации и установление восстановительных условий в конце формирования кремнисто-глинистых отложений разреза Ишкильдино.

ВЫВОДЫ

1. Кремнисто-глинистые сланцы разреза Ишкильдино, учитывая результаты термогравиметрического анализа, соотношения содержаний оксидов калия, алюминия и магния, величины гидролизатного и фемического модулей, состоят преимущественно из гидрослюда и кремнезема. В виде несущественной примеси в них содержатся гетит, представляющий собой продукт выветривания, и органическое вещество. В единичных образцах обнаружены монтмориллонит и алевро-псаммитовый обломочный материал.

2. Анализ CIA, CIW, IGV и других модулей показал, что в область седиментации поступал материал, степень выветривания которого в целом не была высокой, за исключением нескольких образцов. Сопоставление глинистых сланцев нижней и верхней частей разреза позволяет увидеть незначительное увеличение степени зрелости материала, накапливавшегося в позднем эмсе (третий интервал разреза).

3. Осадконакопление протекало преимущественно в окислительных условиях. По величине $Ni/Co > 7$ можно лишь предполагать существование бескислородных обстановок при накоплении осадков средней части второго интервала. Наличие в верхней части разреза темноокрашенных сланцев с повышенным значением Mo/Mn , V/Cr , Ni/Co и др. явно указывает на бескислородные условия. Вероятно, их становление сопряжено с глобальным событием Basal Zlichov, хотя нельзя исключить и какие-либо причины, вызванные региональными факторами.

4. По величинам отношений Zr/Al , Cr/Al , V/Al , модулей Страхова, Бодрёма и аномалии церия изученные сланцы и кремни накапливались в глубоководных условиях на удалении от береговых зон, базальтовых океанических островов и срединно-океанических хребтов. Несущественное повышение

модуля Страхова и понижение величины аномалии церия в единичных пробах из верхней части разреза могут быть сопряжены с формированием мостостроевского вулканического комплекса.

5. Базальты, залегающие в основании изученного разреза, по своим геохимическим характеристикам соответствуют нормальным базальтам срединно-океанических хребтов (N-MORB).

6. Обобщение полученных данных, фондовых и опубликованных материалов позволило предложить гипотезу, согласно которой базальты (первый интервал разреза) являются ордовикско-силурийскими, а перекрывающая их сланцевая толща (второй и третий интервалы) – силурийско-нижнеэмской. Принадлежность базальтов к типу N-MORB и последующее длительное накопление перекрывающих глубоководных осадков позволяют предположить, что разрез Ишкильдино соответствует центральным частям Уральского палеоокеана.

Автор сердечно благодарен В.А. Маслову и О.В. Артюшковой за всестороннюю помощь в проведении исследований, в том числе за демонстрацию изученного разреза. Особо признателен студентам и выпускникам кафедры геологии и полезных ископаемых Башкирского госуниверситета И.Х. Сафину, Р.И. Зайнуллину, Н.И. Тимуршину, А.А. Гилязову и Ш.К. Валитову, в разные годы участвовавшим в отборе и подготовке проб. Отдельно благодарен аналитической группе ИГ УНЦ РАН: А.М. Мусиной, С.А. Ягудиной, З.Р. Биктимеровой, Ф.Р. Валиевой, Т.И. Черниковой и С.В. Мичурину.

Исследования выполнены по темам государственных заданий № 0252-14-0004 и 0246-2019-0118.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аристов В.А., Ружинцев С.В., Дегтярев К.Е., Борисенок Д.В., Латышева И.В. (2000) Стратиграфия девона Сакмарской и Сакмаро-Вознесенской зон Южного Урала. *Общие и региональные вопросы геологии. Динамика формирования, структура, вещественный состав и полезные ископаемые складчатых систем и осадочных бассейнов различной геодинамической позиции. Вып. 2.* М.: ГЕОС, 46-58.
- Аристов В.А., Борисенок Д.В., Ружинцев С.В. (2005) Конодонтовая стратиграфия девонских отложений западного склона Южного Урала. *Очерки по региональной тектонике. Т. 1. Южный Урал.* М.: Наука, 36-55.
- Артюшкова О.В. (2014) Девонские конодонты из вулканогенно-кремнистых отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПресс, 152 с.
- Артюшкова О.В., Маслов В.А. (2001) Нижнедевонские (доверхнеэмские) отложения Магнитогорской мегазоны. *Геол. сб. № 2.* Уфа: ИГ УНЦ РАН, 80-87.
- Борисенок В.И., Курковская Л.А., Рязанцев А.В. (1998) Ордовикские конодонты в кремнисто-базальтовом комплексе Южного Урала (результаты научно-иссле-

- довательских работ на Уральском учебном полигоне). *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология*, (3), 52-55.
- Геохимия элементов гидролизатов (1980) (А.П. Лисицын, Е.Г. Гурвич, В.Н. Лукашин, Е.М. Емельянов, И.Б. Зверинская, А.Д. Куринов) М.: Наука, 240 с.
- Головенко В.К. (1977) Высокоглиноземистые формации докембрия. Л.: Недра, 267 с.
- Грабежев А.И. (2009) Sr-Nd-C-O-H-S изотопно-геохимическая характеристика медно-порфировых флюидно-магматических систем Южного Урала: вероятные источники вещества. *Литосфера*, (6), 66-89.
- Дубинин А.В. (2006) Геохимия редкоземельных элементов в океане. М.: Наука, 360 с.
- Князев Ю.Г. (2006) Отчет о производстве ГДП 1 : 200 000, создании и подготовке к изданию Госгеолкарты-200 (новая серия) листа N-40-XXIII (Белорецкая площадь) (Заключительный отчет). Кн. 1. Уфа, БГТФ, Инв. № 13690.
- Косарев А.М. (2015) Геология и геохимические особенности раннепалеозойских вулканитов Сакмарской и Вознесенско-Присакмарской зон на юге Южного Урала. *Литосфера*, (2), 40-64.
- Косарев А.М. (2007) Умереннощелочной и щелочной вулканизм раннеэмского времени на Южном Урале: геохимические особенности и геодинамические реконструкции. *Литосфера*, (6), 54-70.
- Косарев А.М., Знаменский С.Е., Серавкин И.Б., Родичева З.И. (2003) Особенности химизма вулканитов Вознесенско-Присакмарской зоны. *Геол. сб. № 3. Информ. мат.-лы.* Уфа: ИГ УНЦ РАН, 152-161.
- 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 медно-порфировых проявлений зоны Главного Уральского разлома на Южном Урале. *Докл. Акад. наук*, **459**(1), 62-66.
- Косарев А.М., Пучков В.Н., Серавкин И.Б. (2005) Петролого-геохимические особенности раннедевонско-эйфельских островодужных вулканитов Магнитогорской зоны в геодинамическом контексте. *Литосфера*, (4), 22-41.
- Лукашин В.Н. (1981) Геохимия микроэлементов в процессах осадкообразования в Индийском океане. М.: Наука, 184 с.
- Магадеев Б.Д. (1974) Геология и рудоносность западной части Абзелиловского района (Южный Урал). Дис. ... канд. геол.-мин. наук. Уфа, 233 с. БГТФ. Инв. №. 9732.
- Магадеев Б.Д., Терехин А.С., Ящинин С.Б. (1963) Отчет о результатах поисковых работ в верховьях рек Большой и Малый Кизил за 1960-63 гг. Т. 1. Кусимовский рудник – п. Геофизик, 1963. БГТФ. Инв. № 6467.
- Маслов В.А., Артюшкова О.В. (2000) Стратиграфия палеозойских образований Учалинского района Башкирии. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 140 с.
- Маслов В.А., Артюшкова О.В. (2010) Стратиграфия и корреляция девонских отложений Магнитогорской мегазоны Южного Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 288 с.
- Мусина А.М., Мичурин С.В. (2016) Определение элементного состава методом ИСП-МС при разложении горных пород открытым способом. *Геология, геоэкология и ресурсный потенциал Урала и сопредельных территорий. Мат.-лы IV Всерос. молодежной конф.* Уфа, СПб: Свое издательство, 39-44.
- Пучков В.Н. (2000) Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 146 с.
- Стратиграфия и корреляция среднепалеозойских вулканогенных комплексов основных медно-колчеданных районов Южного Урала (1993) (В.А. Маслов, В.А. Черкасов, В.Т. Тищенко, И.А. Смирнова, О.В. Артюшкова, В.В. Павлов) Уфа: УфНЦ РАН, 217 с.
- Страхов Н.М. (1979) Соотношение терригенного и вулканогенного материалов в питании океанов. Формы миграции веществ. *Океанология. Химия океана. Т. 2. Геохимия донных осадков.* М.: Наука, 9-29.
- Тейлор С.Р., МакЛеннан С.М. (1988) Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 384 с.
- Холодов В.Н., Наумов Р.И. (1991) О геохимических критериях появления сероводородного заражения в водах древних водоемов. *Изв. АН СССР. Сер. геол.*, (12), 74-82.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб: Наука, 479 с.
- Becker R.T., Gradstein F.M., Hammer O. (2012) The Devonian Period. *The Geological Time Scale*. Amsterdam: Elsevier, 559-601.
- Boström K. (1973) Origin and fate of ferromanganese active ridge sediments. *Stockholm Contrib. Geol.*, **27**(2), 148-243.
- Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. (1995) The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in southern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, (59), 2919-2940.
- Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. (1995) Unraveling the effect of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implication for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, (23), 921-924.
- Garcia-Alcalde J.L. (1997) North Gondwanan Emsian events. *Episodes*, **20**(4), 241-246.
- Harnois L. (1988) The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sed. Geol.*, **55**(3-4), 319-322.
- Jones B., Manning D.A.C. (1994) Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, **111**, 111-129.
- Meschede M. (1986) A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, (56), 207-218.
- Murray R.W., Buchholtz ten Brink M.R., Jones D.L. (1990) Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*, (18), 268-271.
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, (299), 715-717.
- Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and systematic of oceanic basalts: implication for mantle compositions and processes. *Magmatism in the ocean basins*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 313-345.
- Turgeon S., Brumsack H.-J. (2006) Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbri-Marche basin of central Italy. *Chem. Geol.*, (234), 321-339.
- Walliser O.H. (1996) Global Events in the Devonian and

- Carboniferous. *Global Events and Event Stratigraphy in the Paleozoic*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, N.Y., 255-250.
- Wood D.A. (1980) The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **50**(1), 11-30.
- ### REFERENCES
- Aristov V.A., Borisenok D.V., Ruzhintsev S.V. (2005) Conodont stratigraphy of the Devonian deposits of the Western Slope of the Southern Urals. *Ocherki po regionalnoi tektonike T. 1. Yuzhnyi Ural* [Essays on regional tectonics. T. 1. Southern Urals]. Moscow, Nauka Publ., 36-55. (In Russian)
- Aristov V.A., Ruzhintsev S.V., Degtyarev K.E., Borisenok D.V., Latysheva I.V. (2000) Stratigraphy of the Devonian Sakmara and Sakmaro-Voznesenka zones of the Southern Urals. *Obshchie i regionalnye voprosy geologii. Dinamika formirovaniya, struktura, veshchestvennyi sostav i poleznye iskopaemye skladchatykh sistem i osadochnykh basseinov razlichnoi geodinamicheskoi pozitsii* [General and regional issues of geology. Dynamics of formation, structure, material composition and minerals of folded systems and sedimentary basins of various geodynamic positions] V. 2. Moscow, GEOS Publ., 46-58. (In Russian)
- Artyushkova O.V. (2014) *Devonskie konodonty iz vulkano-genno-kremnistykh otlozhenii Magnitogorskoj megazony Yuzhnogo Urala* [Devonian conodonts from volcanogenic-siliceous deposits of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals]. Ufa, DizaynPress Publ., 152 p. (In Russian)
- Artyushkova O.V., Maslov V.A. (2001) The Lower Devonian (Pre-Upper Emsian) deposits of the Magnitogorsk megazone. *Geologicheskii sbornik № 2*. [Geological collection No 2]. Ufa, IG USC RAS, 80-87. (In Russian)
- Becker R.T., Gradstein F.M., Hammer O. (2012) The Devonian Period. *The Geological Time Scale*. Amsterdam: Elsevier, 559-601.
- Borisenok V.I., Kurkovskaya L.A., Ryazantsev A.V. (1998) Ordovician conodonts in the siliceous-basaltic complex of the Southern Urals (results of scientific research at the Ural training ground). *Vestn. Mosc. Univ. Ser. 4. Geol.*, (3), 52-55. (In Russian)
- Boström K. (1973) Origin and fate of ferromanganoan active ridge sediments. *Stockholm Contrib. Geol.* **27**(2), 148-243.
- Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. (1995) The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in southern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta.*, (59), 2919-2940.
- Dubinin A.V. (2006) *Geokhimiya redkozemelnykh elementov v okeane* [Geochemistry of rare earth elements in the ocean]. Moscow, Nauka Publ., 360 p. (In Russian)
- Fedo C.M., Nesbitt H.W., Young G.M. (1995) Unraveling the effect of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implication for paleoweathering conditions and provenance. *Geology*, (23), 921-924.
- Garcia-Alcalde J.L. (1997) North Gondwanan Emsian events. *Episodes*, **20**(4), 241-246.
- Geokhimiya elementov gidrolizatsion* (1980) (A.P. Lisitsyn, E.G. Gurvich, V.N. Lukashin, E.M. Emel'yanov, I.B. Zverinskaya, A.D. Kurinov) [Geochemistry of elements of hydrolysates Moscow, Nauka Publ., 240 p. (In Russian)]
- Golovenok V.K. (1977) *Vysokoglinozemistye formatsii dokembriya* [High-alumina formations of the Precambrian]. Leningrad, Nedra Publ., 267 p. (In Russian)
- Grabezhev A.I. (2009) Sr-Nd-C-O-H-S isotope-geochemical characteristics of copper-porphyry fluid-magmatic systems of the Southern Urals: probable sources of matter. *Lithosphere*, (6), 66-89. (In Russian)
- Harnois L. (1988) The CIW index: a new chemical index of weathering. *Sed. Geol.*, **55**(3-4), 319-322.
- Jones B., Manning D.A.C. (1994) Comparison of geochemical indices used for the interpretation of paleoredox conditions in ancient mudstones. *Chem. Geol.*, **111**, 111-129.
- Kholodov V.N., Naumov R.I. (1991) On the geochemical criteria for the occurrence of hydrogen sulfide contamination in the waters of ancient reservoirs. *Izv. Akad. Nauk SSSR, Ser. Geol.* (12), 74-82. (In Russian)
- Knyazev Yu.G. (2006) *Otchet o proizvodstve GDP 1 : 200 000, sozdaniy i podgotovke k izdaniyu Gosgeol-karty-200 (novaya seriya) lista N-40-XXIII (Beloret-skaya ploshchad') (Zaklyuchitelnyi otchet). Kn. 1* [Report on the production of the GDP 1 : 200 000, the creation and preparation for the publication of the State Geology Map-200 (new series) of sheet N-40-XXIII (Beloret-skaya Square) (Final Report)]. Ufa, BSTF, No. 13690. (In Russian, unpublished)
- Kosarev A.M. (2007) Moderately alkaline and alkaline volcanism of the Early Emsian time in the Southern Urals: geochemical features and geodynamic reconstructions. *Litosfera*, (6), 54-70. (In Russian)
- Kosarev A.M. (2015) Geology and geochemical features of the Early Paleozoic volcanites of the Sakmara and Voznesenka-Prisakmara zones in the south of the Southern Urals. *Litosfera*, (2), 40-64. (In Russian)
- Kosarev A.M., Znamenskii S.E., Seravkin I.B., Rodicheva Z.I. (2003) Osobennosti himizma vulkanitov Voznesensko-Prisakmarskoi zony. *Geologicheskii sbornik № 3*. [Geological collection number 2]. Ufa, IG USC RAS, 152-161. (In Russian)
- Kosarev A.M., Puchkov V.N., Ronkin Yu.L., Seravkin I.B., Kholodov V.V., Grabezhev A.I. (2014) New data on the age and geodynamic position of copper-porphyry manifestations of the zone of the Main Ural Fault in the Southern Urals. *Dokl. Acad. Nauk*, **459**(1), 62-66. (In Russian)
- Kosarev A.M., Puchkov V.N., Seravkin I.B. (2005) Petrological-geochemical features of the Early Devonian-Eifelian island arc volcanics of the Magnitogorsk zone in the geodynamic context. *Litosfera*, (4), 22-41. (In Russian)
- Lukashin V.N. (1981) *Geokhimiya mikroelementov v protsessakh osadkoobrazovaniya v Indiiskom okeane* [Geochemistry of trace elements in the processes of sedimentation in the Indian Ocean]. Moscow, Nauka Publ., 184 p. (In Russian)
- Magadeev B.D. (1974) *Geologiya i rudonosnost' zapadnoi chasti Abzelilovskogo raiona (Yuzhnyi Ural)*. Dis. cand. geol.-min. nauk [Geology and ore content of the western part of the Abzelilovo District (the Southern Urals). Cand. geol. and min. sci. diss.]. Ufa, 233 p. BSTF, No. 9732. (In Russian, unpublished)
- Magadeev B.D., Terekhin A.S., Yashchin S.B. (1963) *Otchet o rezul'tatakh poiskovykh rabot v verkhov'yakh*

- rek Bolshoi i Malyy Kizil za 1960-63 gody. T. 1* [Report on the results of prospecting works in the upper reaches of the Bolshoi and Malyy Kizil rivers for the 1960–63. V. 1]. Kusimovskii rudnik – p. Geofizik, 1963. BSTF, No. 6467. (In Russian, unpublished)
- Maslov V.A., Artyushkova O.V. (2010) *Stratigrafiya i korrelyatsiya devonskikh otlozhenii Magnitogorskoj megazonoy Yuzhnogo Urala* [Stratigraphy and correlation of the Devonian deposits of the Magnitogorsk megazone of the Southern Urals]. Ufa, DizaynPoligrafServis Publ., 288 p. (In Russian)
- Maslov V.A., Artyushkova O.V. (2000) *Stratigrafiya paleozoiskikh obrazovaniy Uchalinskogo raiona Bashkirii* [Stratigraphy of Paleozoic formations of Uchaly district of Bashkiria]. Ufa, IG USC RAS, 140 p. (In Russian)
- Meschede M. (1986) A method of discriminating between different types of mid-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb-Zr-Y diagram. *Chem. Geol.*, (56), 207-218.
- Murray R.W., Buchholtz ten Brink M.R., Jones D.L. (1990) Rare earth elements as indicators of different marine depositional environments in chert and shale. *Geology*, (18), 268-271.
- Musina A.M., Michurin S.V. (2016) Determination of the elemental composition by the ISP-MS method at the decomposition of rocks by the open method. *Geologiya, geoekologiya i resursnyi potentsial Urala i sopredelnykh territorii. Materialy IV Vserossiyskoi molodezhnoi konferentsii* [Geology, geoecology and resource potential of the Urals and adjacent territories. Materials of the IV All-Russian Youth Conference]. Ufa, St.Petersburg: Svoe izdatel'stvo Publ., 39-44. (In Russian)
- Nesbitt H.W., Young G.M. (1982) Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, (299), 715-717.
- Puchkov V.N. (2000) *Paleogeodinamika Yuzhnogo i Srednego Urala* [Paleogeodynamics of the Southern and Middle Urals]. Ufa, Dauriya Publ., 146 p. (In Russian)
- Strakhov N.M. (1979) Ratio of terrigenous and volcanogenic materials to ocean nutrition. *Formy migratsii veshchestv. Okeanologiya. Khimiya okeana. T. 2. Geokhimiya donnykh osadkov* [Forms of migration of substances. Oceanology. Chemistry of the ocean. V. 2. Geochemistry of bottom sediments]. Moscow, Nauka Publ., 9-29. (In Russian)
- Stratigrafiya i korrelyatsiya srednepaleozoiskikh vulkanogennykh kompleksov osnovnykh medno-kolchedannyykh raionov Yuzhnogo Urala* (1993) (V.A. Maslov, V.A. Cherkasov, V.T. Tishchenko, I.A. Smirnova, O.V. Artyushkova, V.V. Pavlov) [Stratigraphy and correlation of the Middle Paleozoic volcanogenic complexes of the main copper-pyrite regions of the Southern Urals]. Ufa, IG USC RAS, 217 p. (In Russian)
- Sun S.S., McDonough W.F. (1989) Chemical and systematic of oceanic basalts: implication for mantle compositions and processes. *Magmatism in the ocean basins*. Geol. Soc. London Spec. Publ., 313-345.
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1988) *Kontinental'naya kora: ee sostav i evolyutsiya* [The continental crust: its composition and evolution]. Moscow, Mir Publ., 384 p. (In Russian)
- Turgeon S., Brumsack H.-J. (2006) Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian-Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbri-Marche basin of central Italy. *Chem. Geol.*, (234), 321-339.
- Walliser O.H. (1996) Global Events in the Devonian and Carboniferous. *Global Events and Event Stratigraphy in the Paleozoic*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, N.Y., 255-250.
- Wood D.A. (1980) The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province. *Earth Planet. Sci. Lett.*, **50**(1), 11-30.
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2000) *Osnovy litokhimii* [Fundamentals of lithochemistry]. St.Petersburg, Nauka Publ., 479 p. (In Russian)