

Литохимические особенности глинистых пород венда Шкаповско-Шиханской впадины: в поисках камуфлированной пирокластики

А. В. Маслов^{1,2}

¹Институт геологии и геохимии Уральского отделения РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Акад. Вонсовского, 15, e-mail: amas2004@mail.ru

²Институт геологии и минералогии Сибирского отделения РАН, 630090, г. Новосибирск, пр-т Акад. Коптюга, 3
Поступила в редакцию 26.07.2020 г., принята к печати 12.10.2020 г.

Объект исследований – глинистые породы венда Шкаповско-Шиханской впадины, расположенной на востоке Волго-Уральской области, и вулканические туфы, присутствующие среди отложений венда (сыльвицкая и ашинская серии) западного склона Среднего и Южного Урала. *Материал и методы*. Материалом для исследований стали данные о содержании основных породообразующих оксидов всего примерно в 70 образцах глинистых пород и вулканических туфов. По этим данным выполнен расчет ряда индикаторных отношений (литохимических модулей), которые, как и содержания некоторых породообразующих оксидов, сопоставлены с аналогичными данными для вулканических туфов и известными в литературе пороговыми значениями, разделяющими “обычные осадочные породы” и породы, в которых предполагается присутствие камуфлированной пирокластики. *Результаты исследований* показали, что только по данным литохимии какой-либо определенный вывод относительно присутствия в составе глинистых пород старопетровской, салиховской и карлинской свит Шкаповско-Шиханской впадины камуфлированной пирокластики сделать невозможно. Скорее даже, что такой примеси в исследованной нами коллекции образцов практически нет или же количество ее невелико. *Выводы*. Для достоверного установления присутствия камуфлированной пирокластики среди отложений венда Шкаповско-Шиханской впадины исследования валового химического состава глинистых пород должны быть продолжены как на более представительных выборках, так и с использованием геохимических методов и подходов.

Ключевые слова: глинистые породы, венд, Шкаповско-Шиханская впадина, литохимия, камуфлированная пирокластика

Источник финансирования

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант 19-17-00099)

Lithochemical features of Vendian clay rocks of the Shkapovo-Shikhan depression: In search of camouflage pyroclastics

Andrey V. Maslov^{1,2}

¹A.N. Zavaritsky Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS, 15 Akad. Vonsovsky st., Ekaterinburg 620016, Russia, e-mail: amas2004@mail

²V.S. Sobolev Institute of Geology and Mineralogy, Siberian Branch of RAS, 3 Akad. Koptyug av., Novosibirsk 630090, Russia
Received 26.07.2020, accepted 12.10.2020

Research subject. Vendian clay rocks of the Shkapovo-Shikhan depression, which is situated in the east of the Volga-Ural region, and volcanic tuffs present among the Vendian deposits (Sylvitsa and Asha groups) on the western slope of the Middle and South Urals. *Material and methods*. The research was conducted using data on the content of the main rock-forming oxides in about 70 samples of clay rocks and volcanic tuffs. On this basis, a number of indicator ratios (lithochemical modules) were calculated. These calculated values, as well as the contents of some rock-forming oxides, were compared with both the available data on volcanic tuffs and literature threshold values, which differentiate “ordinary sedimentary rocks” from those presumably comprising camouflage pyroclastics. *Results*. It is impossible to draw any definite conclusion regarding the presence of camouflage pyroclastics in the clay rocks of the Staropetrovo, Salikhovo and Karlin formations of the Shkapovo-Shikhan depression based exclusively on lithochemical studies. It seems that the investigated samples either contain no camouflage pyroclastics, or its amount is rather small. *Conclusions*. In order to reliably establish the presence of camouflage pyroclastics in the Vendian deposits of the Shkapovo-Shikhan depression, research in-

Для цитирования: Маслов А.В. (2021) Литохимические особенности глинистых пород венда Шкаповско-Шиханской впадины: в поисках камуфлированной пирокластики. *Литосфера*, 21(2), 158–171. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-158-171

For citation: Maslov A.V. (2021) Lithochemical features of Vendian clay rocks of the Shkapovo-Shikhan depression: In search of camouflage pyroclastics. *Litosfera*, 21(2), 158–171. DOI: 10.24930/1681-9004-2021-21-2-158-171

to the bulk chemical composition of clay rocks should be continued both on a more representative sample collection and using geochemical methods.

Keywords: *clay rocks, Vendian, Shkapovo-Shikhan depression, lithochemistry, camouflage pyroclastics*

Funding information

The research was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation (grant No. 19-17-00099)

Acknowledgements

The author is sincerely grateful to M.V. Isherskaya, whose assistance contributed to the author's acquaintance with many Vendian sections of the Shkapovo-Shikhan depression, as well as to N.S. Glushkova for preparing illustrations for this article.

ВВЕДЕНИЕ

Под “литохимическими особенностями” осадочных пород мы понимаем те, что определяются содержанием и соотношением основных породообразующих оксидов. Соответственно, “геохимические особенности” – это особенности, контролируемые или определяемые редкими и рассеянными элементами. Может быть, эта формулировка и не совсем корректна, но мы принимаем ее для краткости и удобства.

В настоящей публикации рассмотрены литохимические особенности глинистых пород старопетровской, салиховской и карлинской свит верхнего венда Шкаповско-Шиханской впадины (восток Восточно-Европейской платформы) и выполнено их сопоставление с аналогичными характеристиками вулканических пеплов, присутствующих в разрезах сыльвицкой и ашинской серий венда Среднего и Южного Урала (для Шкаповско-Шиханской впадины это – смежные с востока регионы). Обусловлено такое сравнение тем, что объем поднятого при бурении глубоких скважин на территории названной впадины kernового материала был весьма небольшим и прослой вулканических пеплов просто могли не попасть в интервалы долбления. Диагностика вулканогенной примеси в осадочных породах, в том числе и “камуфлированной” пирокластике, является, как хорошо известно, одной из наиболее актуальных задач литохимии (Юдович, Кетрис, 2000; и др.).

ЛИТОСТРАТИГРАФИЯ ОТЛОЖЕНИЙ ВЕНДА ШКАПОВСКО-ШИХАНСКОЙ ВПАДИНЫ

На востоке Восточно-Европейской платформы в Волго-Уральской области вендские отложения выполняют Верхнекамскую и Шкаповско-Шиханскую впадины. В первой из них глубоким бурением вскрыты отложения как нижнего, так и верхнего венда, во второй присутствуют исключительно верхневендские образования, принадлежащие каировской и шкаповской сериям (Аксенов, 1998; Стратиграфическая схема..., 2000; Белоконов

и др., 2001; и др.). Верхневендские отложения центральной, северной и восточной частей Восточно-Европейской платформы часто рассматриваются как “туфогенно-терригенные” образования, что связано с довольно широким развитием в их разрезах как собственно туфовых прослоев и пачек, так и считающихся ассоциированными с ними красноцветных интервалов (Лагутенкова, 1963; Аксенов, 1998; Гражданкин, 2003; Гражданкин и др., 2009; и др.).

На северо-западе, западе и юго-западе Шкаповско-Шиханская впадина ограничена Татарским, Коми-Пермяцким и Оренбургским сводами (Лозин, 1994; Белоконов и др., 2001), а на востоке – открывается в сторону Складчатого Урала. Максимальная мощность отложений венда во впадине достигает 1.8 км. Современная западная граница распространения верхневендских отложений, по представлениям Т.В. Белоконова с соавторами (2001), достаточно точно отражает бывшее положение береговой линии бассейна.

Каировская серия объединяет байкибашевскую и старопетровскую свиты, шкаповская – салиховскую и карлинскую. Глинистые породы распространены преимущественно в трех верхних свитах разреза, поэтому речь далее пойдет только о них.

Старопетровская свита сложена зеленоватосерыми и реже буровато-коричневыми глинистыми и алевроглинистыми породами¹, содержащими переменное количество песчаного материала. Для восточной части впадины характерно присутствие в разрезах свиты алевролитов с карбонатным цементом и маломощных прослоев алевролитистых известняков. Все описываемые образования накапливались, вероятно, на мелководье, подверженном влиянию сильных волнений (Лагутенкова, Чепикова, 1982). Мощность свиты варьирует от 85 до 320 м и увеличивается с запада на восток и с севера на юг.

¹ Часть из этих образований является, по представлениям Н.С. Лагутенковой (1963) и других исследователей, витрокластическими туфами.

Салиховская свита включает буровато- и красновато-коричневые, а также зеленовато-серые песчаники и алевролиты с подчиненными прослоями зеленовато-серых и темно-коричневых аргиллитов. Мощность свиты изменяется от 100 до 450 м. Формирование отложений салиховской свиты происходило, скорее всего, в обстановках прибрежных участков мелководного морского бассейна (Нефтегазные..., 1969; Лагутенкова, Чепикова, 1982).

Карлинская свита сложена преимущественно зеленовато-серыми, значительно реже темно-коричневыми аргиллитами, содержащими прослойки и пакеты светлоокрашенных алевролитов, редко – песчаников. Мощность свиты варьирует от 0 до 600 м (малые мощности или отсутствие отложений связаны с предпалеозойским размывом). Рассматриваемые образования формировались, по всей видимости, в основном в мелководно-морских обстановках (Лагутенкова, Чепикова, 1982).

Предполагается, что источником терригенного материала во время формирования отложений каировской серии являлся Волго-Камский массив. Определенную роль играли также локальные поднятия внутри бассейна, поставившие рециклированный осадочный материал (Нефтегазные..., 1969; и др.). В шкаповское время источник питания существовал также и на востоке, где размывались преимущественно метаморфические и осадочные породы различных горизонтов рифея, нижнего и низов верхнего венда. По данным (Нефтегазные..., 1969), на Волго-Камском массиве в каировское время размывались в основном породы архея и в меньшей степени нижнего протерозоя. Присутствие в разрезах венда Шкаповско-Шиханской впадины полимиктовых песчаников с обломками эффузивных пород позволяет предполагать, что в размыв были вовлечены и вулканиты раннего венда (Маслов и др., 2006б; см. также ссылки в этой работе).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для литохимических исследований нами использованы данные о валовом химическом составе глинистых пород (коллекция М.В. Ишерской, всего 57 образцов) старопетровской, салиховской и карлинской свит, вскрытых глубокими скважинами Кипчак-1, Ахмерово-6 и Северокушкуль-1 (рис. 1). Определение содержания основных петрогенных оксидов в них выполнено рентгенфлуоресцентным методом на СРМ-18 в ИГГ УрО РАН (табл. 1).

Кроме того, привлечены данные о валовом химическом составе вулканических туфов (преимущественно пелитовых, всего 16 образцов) из разрезов венда западного склона Среднего и Южного Урала (сылвицкая и ашинская серии), полученные там же тем же методом (табл. 2).

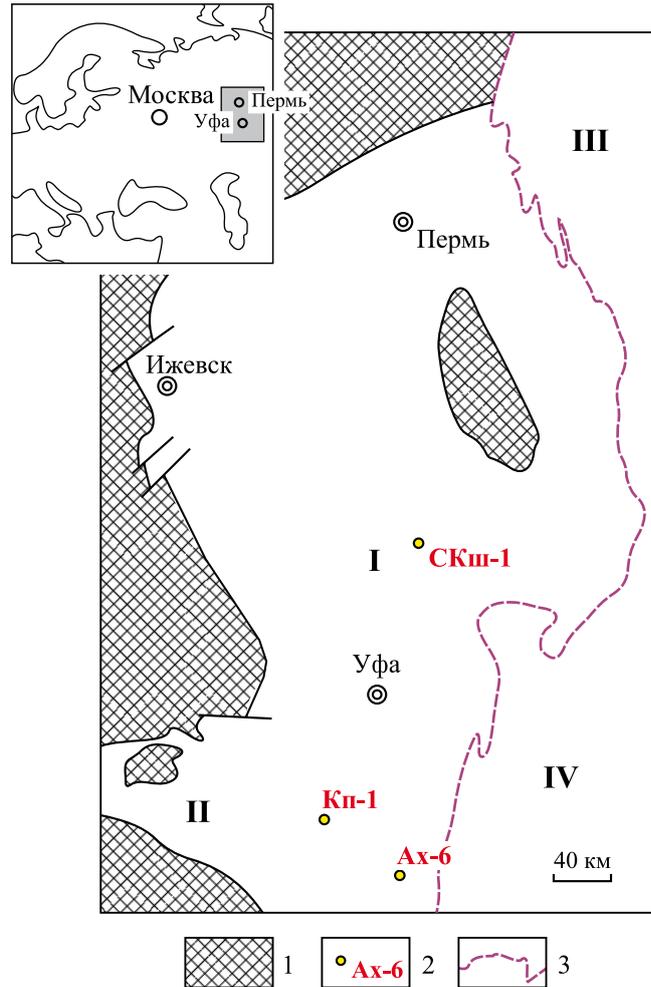


Рис. 1. Положение глубоких скважин, по (Белоконь и др., 2001), из которых отобраны образцы глинистых пород венда.

1 – зона отсутствия отложений нижнего рифея; 2 – глубокие скважины (СКш-1 – Северокушкуль-1, Кп-1 – Кипчак-1, Ах-6 – Ахмерово-6); 3 – западная граница складчатого Урала. I – Камско-Бельский авлакоген; II – Серноводско-Абдулинский авлакоген; III – западный склон Среднего Урала; IV – западный склон Южного Урала.

Серым контуром на карте-врезке показана исследованная территория.

Fig. 1. The position of deep wells, according to (Belokon' et al., 2001), from which samples of Vendian clayey rocks were taken.

1 – zone of Lower Riphean deposits absence; 2 – deep wells (СКш-1 – Severokushkul-1; Кп-1 – Kipchak-1; Ах-6 – Akhmerovo-6); 3 – western border of the folded Urals. I – Kama-Belsk aulacogen; II – Sernovodsko-Abdulinsky aulacogen; III – western slope of the Middle Urals; IV – western slope of the South Urals.

The gray outline on the inset map shows the investigated area.

Таблица 1. Содержание основных породообразующих оксидов в глинистых породах старопетровской, салиховской и карлинской свит Шкаповско-Шиханской впадины, мас. %

Table 1. The content of the main rock-forming oxides in clay rocks of the Staropetrovo, Salikhov and Karlin formations of the Shkapovo-Shikhanskaya depression, wt %

Образец	Компоненты											Сумма
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	
	Старопетровская свита											
ИШ-10	53.34	1.00	18.91	9.01	0.13	3.27	0.38	5.01	2.20	0.21	5.66	99.11
ИШ-11	51.67	1.02	18.55	8.29	0.07	4.89	0.50	5.63	1.85	0.16	6.02	98.67
ИШ-12	52.47	0.87	20.10	9.91	0.06	2.89	0.72	2.96	2.00	0.19	7.40	99.57
ИШ-13	62.32	0.76	14.49	7.26	0.14	2.90	1.64	3.36	1.95	0.24	5.06	100.12
ИШ-14	60.66	0.75	16.64	8.21	0.12	2.84	0.30	4.06	1.85	0.12	4.98	100.52
ИШ-15	54.29	0.74	19.50	8.12	0.06	2.78	0.37	4.59	1.50	0.16	6.69	98.80
ИШ-16	59.72	0.71	17.32	6.32	0.05	2.98	0.69	4.68	1.20	0.09	6.04	99.81
ИШ-17	56.96	0.75	17.91	7.25	0.05	3.27	0.55	5.41	1.10	0.10	6.29	99.65
ИМ-6	59.19	0.72	16.20	8.58	0.07	2.79	1.36	2.97	2.80	0.18	3.59	98.47
ИМ-9	63.52	0.69	13.95	6.35	0.11	2.66	2.87	2.10	2.20	0.14	4.21	98.79
ИМ-10	58.49	0.86	17.29	7.94	0.07	2.83	0.61	3.09	2.15	0.12	5.19	98.63
ИМ-28	59.32	0.76	16.96	7.69	0.10	2.72	0.46	3.96	2.15	0.12	4.78	99.02
ИМ-29	58.79	0.78	16.77	8.14	0.07	2.77	0.48	3.68	2.31	0.12	5.11	99.02
ИМ-30	59.15	0.76	17.22	8.06	0.10	2.71	0.37	4.11	2.31	0.11	4.79	99.70
ИМ-31	53.58	0.68	18.45	9.22	0.28	2.67	1.13	4.34	1.72	0.47	7.87	100.42
ИМ-42	62.74	0.68	13.36	7.50	0.07	2.64	0.97	2.40	2.83	0.15	7.18	100.53
ИМ-43	60.69	0.81	15.99	7.44	0.07	2.58	1.01	3.43	2.46	0.31	4.49	99.30
Среднее	58.05	0.78	17.04	7.96	0.10	2.95	0.85	3.87	2.03	0.18	5.61	99.42
СО	3.72	0.10	1.87	0.93	0.06	0.54	0.65	1.01	0.48	0.10	1.19	0.69
Минимум	51.67	0.68	13.36	6.32	0.05	2.58	0.30	2.10	1.10	0.09	3.59	98.47
Максимум	63.52	1.02	20.10	9.91	0.28	4.89	2.87	5.63	2.83	0.47	7.87	100.53
	Салиховская свита											
ИШ-7	58.10	0.72	16.51	6.41	0.11	3.02	2.25	4.82	2.50	1.37	4.79	100.60
ИШ-8	59.59	0.84	15.01	8.87	0.11	3.30	0.48	3.77	2.90	0.30	3.86	99.04
ИШ-9	49.41	1.26	18.54	10.65	0.20	4.42	1.16	6.04	1.85	0.35	5.28	99.15
ИМ-40	65.90	0.83	14.18	6.55	0.11	2.53	0.46	2.92	2.83	0.16	2.83	99.31
ИМ-41	58.35	0.82	15.80	7.87	0.07	3.01	1.70	3.48	2.31	0.89	4.85	99.15
ИМ-44	59.35	0.78	15.43	8.88	0.11	3.10	0.34	4.21	2.71	0.14	3.39	98.45
ИМ-45	58.20	0.92	17.72	7.31	0.11	3.01	0.53	3.90	2.96	0.11	3.81	98.59
ИМ-46	60.76	0.77	15.67	7.82	0.12	2.86	0.29	3.93	3.08	0.11	3.14	98.55
ИМ-23	65.82	0.67	14.46	5.99	0.08	2.34	0.53	3.84	2.40	0.12	3.22	99.47
ИМ-24	56.94	1.06	17.87	7.21	0.11	2.82	0.49	5.00	2.71	0.19	4.19	98.58
ИМ-25	62.80	0.69	15.42	6.81	0.12	2.70	0.56	3.62	2.71	0.13	3.07	98.64
ИМ-26	57.10	0.73	16.71	6.29	0.11	2.78	2.18	4.81	2.71	1.22	4.35	99.00
ИМ-27	59.31	0.75	16.42	7.68	0.11	2.57	0.99	3.57	2.46	0.15	4.87	98.88
ИМ-1	63.13	0.93	15.35	7.32	0.09	2.22	0.21	3.88	2.50	0.10	2.77	98.50
ИМ-2	64.32	0.69	15.99	5.65	0.08	2.02	0.19	4.66	2.80	0.09	3.09	99.58

Таблица 1. Окончание
Table 1. Ending

Образец	Компоненты											Сумма
	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	П.п.п.	
ИМ-3	61.66	0.85	15.07	7.83	0.12	2.98	0.34	3.67	2.80	0.17	2.92	98.39
ИМ-4	61.18	0.95	16.36	6.42	0.12	2.70	0.29	4.76	2.80	0.13	3.26	98.97
ИМ-5	64.12	0.85	14.70	6.91	0.11	2.36	0.35	3.93	2.80	0.19	2.70	99.02
ИМ-20	60.79	0.81	15.55	7.81	0.13	3.33	0.86	3.93	2.40	0.26	3.39	99.28
ИМ-21	63.72	0.68	14.75	6.85	0.12	2.88	0.80	3.36	2.80	0.16	2.57	98.69
Среднее	60.53	0.83	15.88	7.36	0.11	2.85	0.75	4.10	2.65	0.32	3.62	98.99
СО	3.81	0.14	1.17	1.16	0.03	0.51	0.62	0.72	0.28	0.38	0.83	0.51
Минимум	49.41	0.67	14.18	5.65	0.07	2.02	0.19	2.92	1.85	0.09	2.57	98.39
Максимум	65.90	1.26	18.54	10.65	0.20	4.42	2.25	6.04	3.08	1.37	5.28	100.60
Салиховская свита												
ИШ-1	61.23	0.63	13.29	6.64	0.66	2.19	3.44	3.53	1.85	0.15	6.39	99.99
ИШ-4	64.30	0.75	14.77	6.46	0.08	2.62	0.74	3.09	1.80	0.14	5.01	99.75
ИШ-5	59.57	0.90	16.19	7.72	0.10	3.22	0.26	4.28	1.60	0.12	6.80	100.76
ИШ-6	64.47	0.70	15.10	6.70	0.09	2.29	0.46	3.70	2.30	0.12	3.68	99.61
ИМ-7	65.40	0.66	13.94	5.39	0.06	2.35	0.59	3.20	1.95	0.10	5.26	98.89
ИМ-8	65.65	0.56	13.75	5.64	0.11	2.58	0.44	3.28	2.20	0.12	4.04	98.35
ИМ-12	61.03	0.80	16.00	8.00	0.17	2.38	0.56	4.22	1.80	0.19	5.19	100.34
ИМ-13	61.73	0.82	15.75	6.60	0.06	2.80	0.31	3.49	1.70	0.08	5.40	98.75
ИМ-14	67.21	0.57	12.07	5.32	0.12	2.04	2.88	2.38	1.80	0.10	4.32	98.80
ИМ-15	67.63	0.70	13.67	6.03	0.06	2.41	0.31	2.65	1.75	0.08	4.77	100.05
ИМ-16	62.70	0.79	15.29	6.54	0.07	2.80	0.29	3.33	1.80	0.09	5.26	98.94
ИМ-17	59.58	0.75	17.01	6.72	0.12	2.62	0.81	5.51	2.15	0.11	3.51	98.90
ИМ-18	63.55	0.79	15.13	6.41	0.06	2.72	0.23	3.05	1.90	0.10	5.28	99.22
ИМ-19	65.47	0.68	15.28	5.62	0.10	2.17	0.79	3.78	2.30	0.13	3.06	99.37
ИМ-33	65.31	0.74	15.09	5.75	0.05	2.48	0.40	3.43	2.15	0.11	3.92	99.42
ИМ-34	54.54	0.43	10.02	3.58	0.40	2.06	13.09	2.30	1.85	0.42	12.04	100.73
ИМ-35	66.00	0.74	13.77	5.75	0.06	2.35	0.66	2.92	2.45	0.11	4.42	99.24
ИМ-36	64.56	0.78	15.05	6.24	0.06	2.69	0.36	3.41	2.15	0.09	4.39	99.78
ИМ-37	64.65	0.73	15.25	6.10	0.06	2.53	0.47	3.43	2.15	0.10	4.82	100.29
ИМ-38	64.43	0.87	14.71	6.42	0.08	2.26	0.55	3.57	2.71	0.12	3.21	98.94
Среднее	63.45	0.72	14.56	6.18	0.13	2.48	1.38	3.43	2.02	0.13	5.04	99.51
СО	3.11	0.11	1.55	0.92	0.15	0.29	2.88	0.71	0.28	0.07	1.91	0.69
Минимум	54.54	0.43	10.02	3.58	0.05	2.04	0.23	2.30	1.60	0.08	3.06	98.35
Максимум	67.63	0.90	17.01	8.00	0.66	3.22	13.09	5.51	2.71	0.42	12.04	100.76

Примечание. Здесь и в табл. 2: СО – стандартное отклонение. Fe₂O₃* – суммарное железо.

Note. Here and in Table 2: CO – standard deviation. Fe₂O₃* – total iron.

Таблица 2. Содержание основных породообразующих оксидов в вулканических пеплах, присутствующих среди отложений сылвицкой и ашинской серий, мас. %

Table 2. The content of the main rock-forming oxides in volcanic ashes present among the rocks of the Sylvitsa and Asha groups, wt %

Образец	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ *	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅
13-10-01	55.54	0.416	21.04	4.01	4.00	0.63	6.48	0.40	0.09
Sp-1	56.54	2.56	22.14	3.89	1.60	0.70	3.40	4.40	0.11
Sp-2	56.71	1.98	22.10	3.97	1.91	0.80	3.77	4.90	0.11
03-U _s -30	61.57	0.93	14.86	8.60	3.02	0.37	3.27	2.10	0.09
03-U _s -31	59.49	2.39	18.42	3.57	1.75	0.58	2.58	6.30	0.11
03-U _s -34	61.52	0.81	14.90	7.22	2.82	1.13	3.17	2.10	0.15
03-U _s -35	61.73	0.83	15.50	7.21	2.80	0.96	3.37	2.10	0.14
Pr-1	53.36	1.81	14.40	12.81	1.18	1.12	1.17	4.90	0.79
03-U _s -27	54.50	1.80	23.60	3.46	1.79	0.72	4.98	3.90	0.12
03-U _s -25	54.27	1.86	24.14	3.39	1.87	1.21	4.78	3.70	0.13
Ck-1	53.54	0.99	23.11	5.21	2.44	0.54	6.86	1.20	0.11
Mz-18-3	62.07	1.15	14.58	7.04	1.87	1.50	1.91	4.60	0.15
Ck-2	54.25	1.78	23.78	3.72	1.80	0.79	5.02	3.90	0.13
Ck-3	54.73	1.81	23.18	3.61	1.67	0.73	4.57	4.70	0.15
02Syl-11	56.90	0.75	15.39	7.30	2.88	3.76	4.07	2.55	0.37
Mz-16-6	62.03	0.71	14.27	6.02	2.11	2.97	3.47	2.00	0.16
Среднее	57.55	1.48	18.96	5.80	2.10	1.19	3.76	3.56	0.19
СО	3.47	0.62	4.20	2.64	0.55	0.94	1.39	1.46	0.18
Минимум	53.36	0.71	14.27	3.39	1.18	0.37	1.17	1.20	0.09
Максимум	62.07	2.56	24.14	12.81	3.02	3.76	6.86	6.30	0.79

ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ГЛИНИСТЫХ ПОРОД И ВУЛКАНИЧЕСКИХ ТУФОВ

По данным рентгеноструктурных исследований (дифрактометр ДРОН-3, Су_{ка} (Маслов и др., 2006б)), глинистые породы венда Шкаповско-Шиханской впадины содержат примесь зерен кварца, плагиоклаза и микроклина. В некоторых образцах из салиховской и карлинской свит присутствует рутил. Глинистые минералы представлены преимущественно иллитом (смесь модификаций 2M₁ и 1M), а также смешаннослойным минералом типа иллит-сметтит, железисто-магнезиальным хлоритом и каолинитом.

Присутствие в составе аргиллитов каолинита и смешаннослойного минерала типа иллит-сметтит не противоречит предположениям о формировании верхневендских отложений Шкаповско-Шиханской впадины в зоне прибрежного морского мелководья, куда из кор выветривания поступал незначительно измененный в морской воде каолинит.

Вулканические туфы, присутствующие в разрезах верхнего венда западного склона Среднего и Южного Урала, сложены фрагментами вулканических пород и стекла (размер обломков 0.02–0.20 мм), а также плагиоклазов (Маслов и др., 2006а). Они имеют угловатую или угловато-округленную форму. Обломки вулканических пород характеризуются микролитовой и интерсертальной структурой, иногда в них наблюдаются

многочисленные мелкие поры. Кристаллы плагиоклаза имеют угловатые или идиоморфные очертания. Некоторые из них целиком замещены тонкочешуйчатым серицитом, хлоритом, пренитом и, возможно, монтмориллонитом, но есть и почти свежие разности. Обломки стекла имеют угловатые или округлые очертания и часто также обнаруживают мелкопористое строение. Стекло часто замещено глинистыми или рудными минералами. В туфах встречаются округлые зерна хлорита с агрегатной структурой и редкие зерна обломочного кварца. Все указанные обломочные компоненты в различной степени замещены глинистыми минералами, возможно, с существенной долей смектита.

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ И ЕГО ОБСУЖДЕНИЕ

На модульной диаграмме (K₂O + Na₂O)/Al₂O₃–(Fe₂O₃* + MgO)/SiO₂ (диаграмма НКМ–ФМ² (Юдович, Кетрис, 2000)) подавляющая часть фигуративных точек всех имеющихся в нашем распоряжении

² Здесь и далее: НКМ – модуль нормированной щелочности (Na₂O + K₂O)/Al₂O₃, ФМ – фемический модуль (Fe₂O₃* + MgO)/SiO₂, ТМ – титановый модуль TiO₂/Al₂O₃, ЖМ – железный модуль (Fe₂O₃* + MnO)/(Al₂O₃ + TiO₂), ГМ – гидролизатный модуль (Al₂O₃ + TiO₂ + Fe₂O₃* + MnO)/SiO₂, ЩМ – щелочной модуль Na₂O/K₂O, НМ – натриевый модуль Na₂O/Al₂O₃, КМ – калиевый модуль K₂O/Al₂O₃, АМ – алюмокремниевый модуль Al₂O₃/SiO₂ (Юдович, Кетрис, 2000).

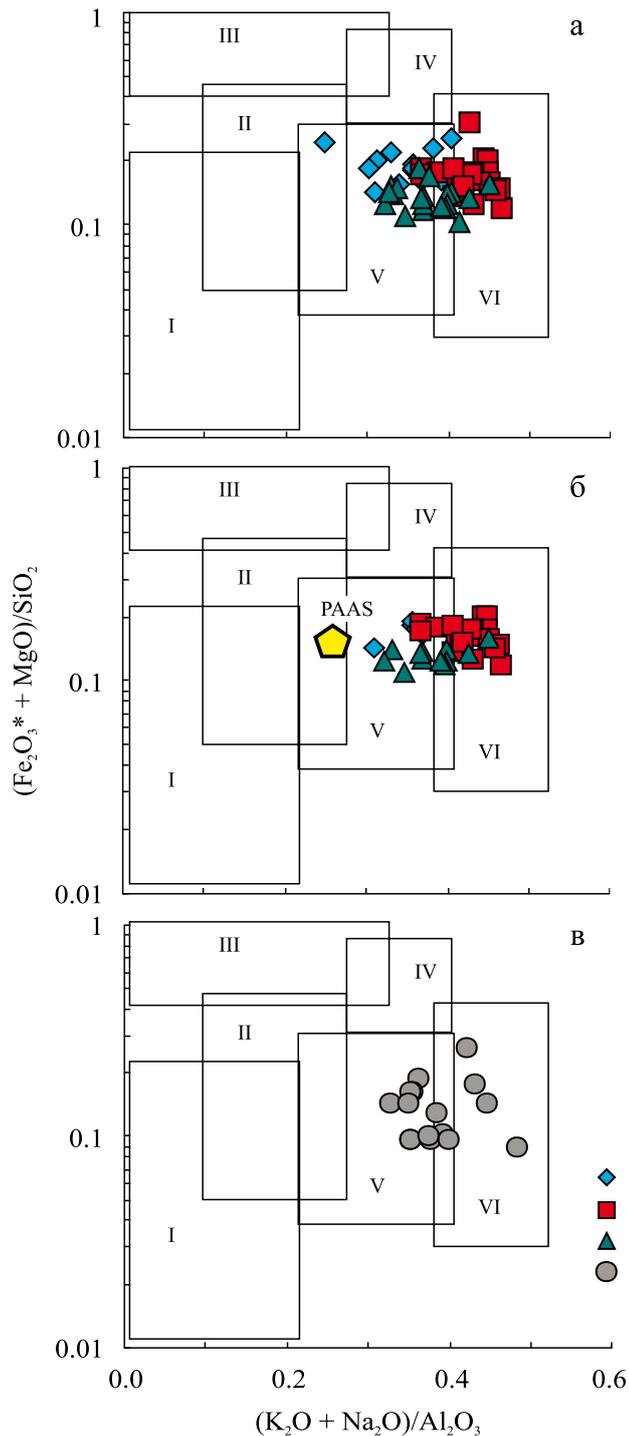


Рис. 2. Положение на диаграмме $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ всех фигуративных точек состава глинистых пород старопетровской, салиховской и карлинской свит (а); точек глинистых пород с п.п.п. < 5 мас. % (б); вулканических пеплов (в).

1–3 – свиты: 1 – старопетровская, 2 – салиховская, 3 – карлинская; 4 – точки состава вулканических пеплов. Поля состава глинистых пород: I – преимущественно каолинитовые, II – преимущественно смектитовые с примесью каолинита и иллита, III – преимущественно

но хлоритовые с примесью Fe-иллита, IV – хлорит-иллитовые, V – хлорит-смектит-иллитовые, VI – иллитовые со значительной примесью дисперсных полевых шпатов.

Fig. 2. Position on the diagram $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ of all data points of the clay rocks of the Staropetrovo, Salikhovo and Karlin formations (а), points of clay rocks with loss of ignition < 5 wt % (б) and volcanic ash (в).

1–3 – formations: 1 – Staropetrovo, 2 – Salikhovo, 3 – Karlin; 4 – data points of the volcanic ash.

Fields of the clay rock compositions: I – mostly kaolinite, II – mainly smectite with an admixture of kaolinite and hydromica, III – mainly chlorite with an admixture of Fe-hydromica, IV – chlorite-hydromica, V – chlorite-smectite-hydromica, VI – hydromica with a significant admixture of dispersed feldspars.

образцов глинистых пород старопетровской, салиховской и карлинской свит (здесь и везде далее по тексту этой работы мы не делаем между ними разграничения на красно- и зеленоцветные разности) локализована в полях V (стандартная трехкомпонентная система хлорит+смектит+иллит) и VI (глинистые породы преимущественно иллитового состава, имеющие значительную примесь тонкозернистых обломков полевых шпатов) (рис. 2а). Если исключить из данной выборки образцы с величиной потерь при прокаливании (п.п.п.) более 5 мас. %, то и в таком случае (рис. 2б) основная часть фигуративных точек будет сосредоточена в областях V и VI (это можно трактовать и как отсутствие необходимости использовать далее только анализы с п.п.п. < 5 мас. %). В этих же областях расположены и точки вулканических туфов (рис. 2в). Референтная точка среднего постархейского глинистого сланца (PAAS (Taylor, McLennan, 1985)) занимает на диаграмме $(K_2O + Na_2O)/Al_2O_3 - (Fe_2O_3^* + MgO)/SiO_2$ несколько иное, чем точки глинистых пород и вулканических туфов, положение – она расположена в зоне перекрытия областей II (преимущественно смектитовые глины с примесью каолинита и иллита) и V.

При литохимических исследованиях всех достаточно древних осадочных последовательностей актуален вопрос о влиянии на состав глинистых пород процессов калиевого метасоматоза (Cox, Lowe, 1995; Cox et al., 1995; Bolnar et al., 2005; и др.). Был ли он проявлен в тех или иных разрезах и структурах, определяются разными методами и подходами, среди которых одним из наиболее информативных является анализ распределения фигуративных точек состава глинистых пород на диаграмме $K_2O/Na_2O - SiO_2/Al_2O_3$ (Bolnar et al., 2005). Те образцы, фигуративные точки которых на данном графике расположены в области значений $K_2O/Na_2O > 20$, считаются затронутыми калиевым метасоматозом. При весьма высоких ($\geq 7-8$) величинах SiO_2/Al_2O_3

предполагается, что породы подверглись и процессам окремнения. В нашем случае точки состава глинистых пород старопетровской, салиховской и карлинской свит Шкаповско-Шиханской впадины расположены не в области критических величин обоих отношений (рис. 3), и, следовательно, все рассматриваемые нами далее данные можно считать практически не измененными вторичными процессами.

Анализ соотношений в глинистых породах всех трех свит модулей ТМ, ЖМ, НКМ и ГМ показал, что между ТМ и ЖМ имеет место слабая или умеренная положительная корреляция (для аргиллитов старопетровской свиты $r = 0.26$, для глинистых пород салиховской свиты $r = 0.45$, для аргиллитов карлинской свиты $r = 0.23$), тогда как корреляция между НКМ и ГМ в глинистых породах старопетровской и салиховской свит слабая отрицательная ($r = -0.29$ и -0.13), а для аргиллитов карлинской свиты – довольно слабая положительная ($r = 0.06$) (рис. 4). С учетом представлений, приведенных в работе (Юдович, Кетрис, 2000), это позволяет сделать вывод о том, что глинистые породы старопетровской и салиховской свит являются петрогенными, т. е. прошли при своем формировании только один цикл *выветривание* → *перенос* → *седиментация* → *диагенез* → *катагенез*, и их литогеохимические особенности могут быть достаточно корректно использованы для различных реконструкции. Породы же карлинской свиты, по всей видимости, являются литогенными, т. е. подверглись

более одному переносу и переотложению, или содержат существенную долю такого материала.

Для выборки вулканических пеплов свойственна чрезвычайно слабая положительная корреляция между модулями ТМ и ЖМ ($r = 0.02$) и слабая отрицательная корреляция между модулями НКМ и ГМ ($r = -0.19$). С сугубо формальных позиций это предполагает, что выборка состоит из петрогенных пород, что и следует ожидать в случае пеплов. Однако, учитывая практическое отсутствие выраженной корреляции между модулями ТМ и ЖМ, есть основания думать, что в составе прослоев вулканических туфов есть та или иная доля литогенного/переотложенного материала, не связанного непосредственно с вулканическими извержениями.

По сравнению с РААС глинистые породы старопетровской свиты в среднем несколько обеднены оксидами титана, алюминия и кальция (соответственно 0.75 ± 0.04 , 0.86 ± 0.06 и 0.82 ± 0.75). Среднее содержание оксидов кремния, железа, калия и фосфора в них близки свойственным для РААС, а среднее содержание оксида магния несколько выше (1.24 ± 0.04) (рис. 5а). Аргиллиты и алевроаргиллиты салиховской свиты имеют сопоставимые с РААС средние концентрации оксидов кремния, железа, калия и фосфора. Напротив, средние концентрации в них оксидов титана, алюминия и кальция несколько ниже, а оксидов магния и натрия – умеренно или заметно выше, чем в РААС (соответственно 1.26 ± 0.16 и 2.24 ± 0.17) (рис. 5б). Глинистые породы карлинской свиты имеют среднее содержание оксидов кремния, железа, магния и калия, сопоставимое в той или иной мере с РААС, в то же время средние концентрации оксидов титана и алюминия, а также кальция и фосфора в них ниже, чем в РААС, а оксида натрия – выше (1.80 ± 0.23) (рис. 5в). Если смотреть на облик нормированных по среднему постархейскому австралийскому сланцу кривых индивидуальных образцов глинистых пород всех трех свит, то можно видеть, что наиболее характерными их чертами являются некоторое (а часто и довольно заметное) обеднение оксидом кальция и повышенные против РААС концентрации оксида натрия. Вулканические пеплы, присутствующие в разрезах венда западного склона Среднего и Южного Урала, напротив, характеризуются заметными вариациями содержания оксидов титана, железа, магния и кальция, а также калия и натрия. При этом типичной для глинистых пород трех свит венда Шкаповско-Шиханской впадины формы нормированных по РААС кривых (обеднение оксидов кальция и обогащение оксидом натрия) для выборки образцов вулканических пеплов мы не видим (рис. 5г).

Распознавание вулканогенной примеси в осадочных породах с той или иной долей “успеха” возможно на основе использования разнообразных приемов и подходов, дополняющих возможно-

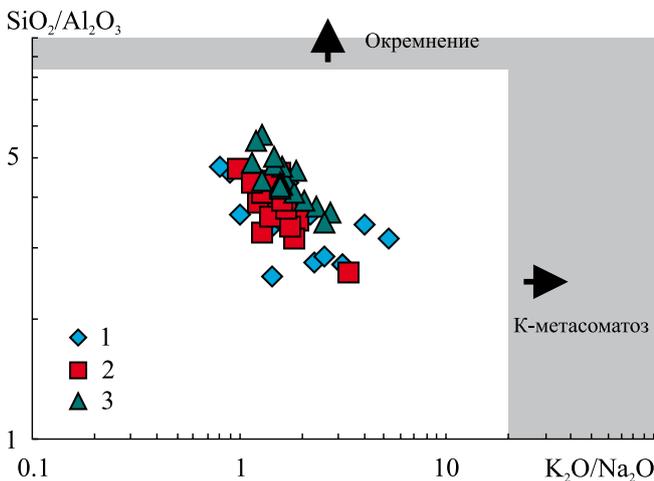


Рис. 3. Положение точек состава глинистых пород старопетровской, салиховской и карлинской свит на диаграмме $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$.

Условные обозначения – см. рис. 2.

Fig. 3. Position of data points of the clayey rocks of the Staropetrovo, Salikhovo and Karlin formations on the $K_2O/Na_2O-SiO_2/Al_2O_3$ diagram.

Legend – see Fig. 2.

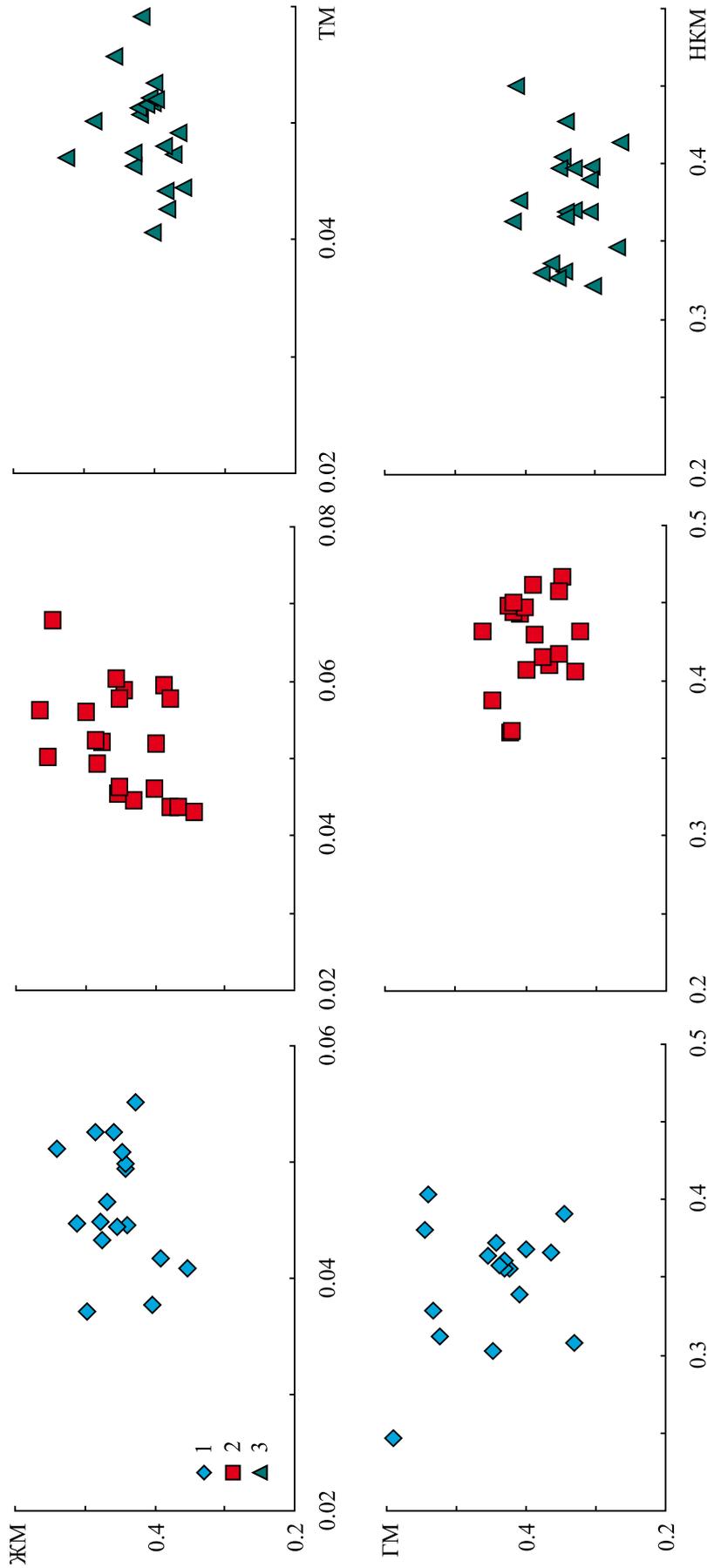


Рис. 4. Корреляция величин модулей ТМ и ЖМ и НКМ и ГМ в глинистых породах старопетровской, салиховской и карлинской свит. Условные обозначения – см. рис. 2.

Fig. 4. Correlation of TM and ЖМ and НКМ and ГМ moduli values in clay rocks of the Staropetrovo, Salikhovo and Karlin formations. Legend – see Fig. 2.

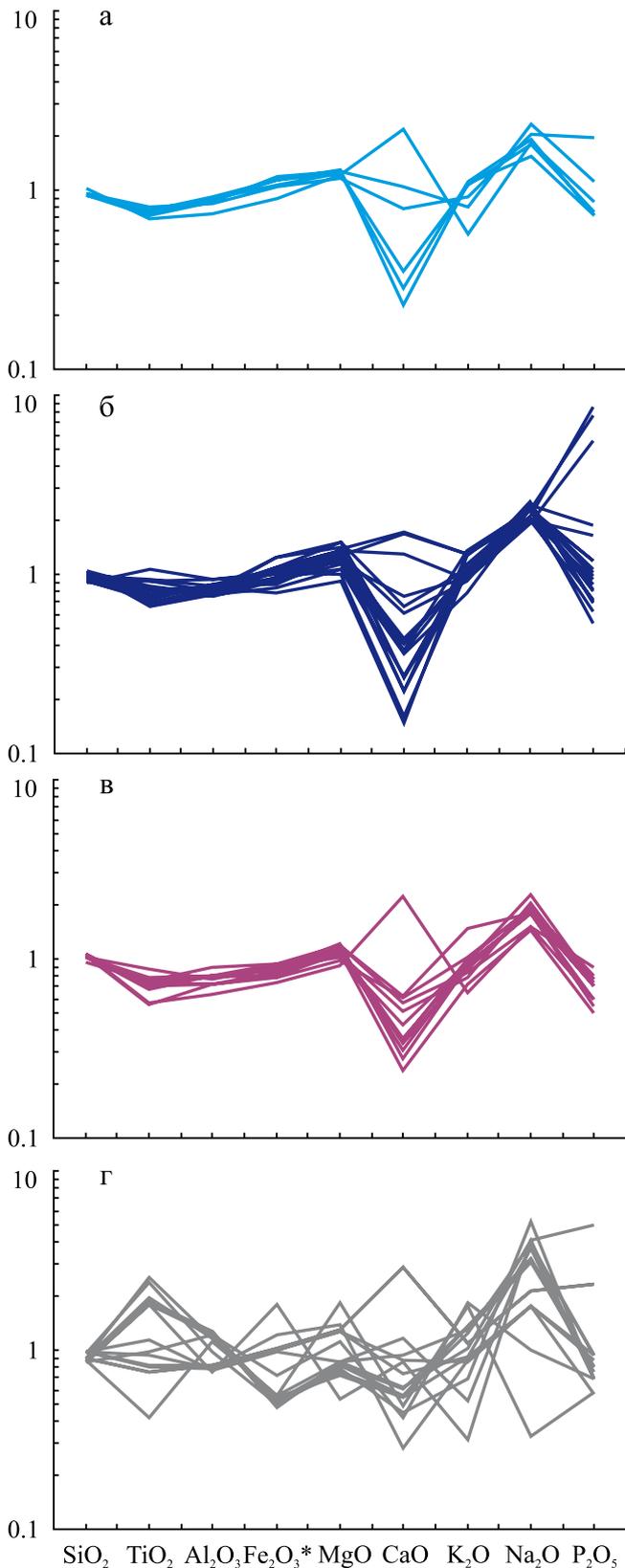


Рис. 5. Вариации нормированного по PAAS содержания ряда основных породообразующих оксидов в глинистых породах старопетровской (а), салиховской (б) и карлинской (в) свит венда Шка-

повско-Шиханской впадины, а также вулканических пеплах, присутствующих среди отложений сylvitsкой и ашинской серий Среднего и Южного Урала (г).

Fig. 5. Variations by the PAAS-normalized contents of the main rock-forming oxides in clayey rocks of the Staropetrovo (а), Salikhovo (б) and Karlin (в) formations of the Shkapovo-Shikhan depression, as well as volcanic ashes present among the sediments of the Sylvitsa and Asha groups of the Middle and Southern Ural (г).

сти традиционного петрографического метода. Например, предполагается, что на присутствие вулканогенной примеси в тонкозернистых/глинистых породах могут указывать повышенные магнезиальность ($MgO > 3$ мас. %) и щелочность ($(Na_2O + K_2O) > 8$ мас. %), положительная корреляция между модулями ФМ и ТМ, ЖМ и ТМ и отрицательная между модулями НКМ и ФМ. Высокие значения MgO/CaO , ЩМ, ТМ и ЖМ и ряд других показателей также дают основание думать, что в составе тех или “внешне обычных осадочных пород” присутствуют вулканогенные компоненты (Юдович, Кетрис, 2000, 2015; Диагностика..., 2012).

В то же время выбор приемлемых для диагностики вулканогенных продуктов в осадочных породах генетических модулей и модульных диаграмм является делом преимущественно эмпирическим. Так, считается, что присутствие в породах эксглативных компонентов и полевошпатовой пирокластики можно установить с помощью графика (НМ + КМ)–ЖМ, а пирокластика основного состава, имеющая повышенное содержание TiO_2 , приводит к заметному росту значений ТМ и ЖМ, увеличивается также и содержание MnO (Юдович и др., 2018).

Участие в составе осадочных пород кислой пирокластики может сопровождаться понижением величин ТМ на фоне минимального содержания TiO_2 и максимального – щелочей. Осадочные породы с примесью пирокластики характеризуются положительной корреляцией TiO_2 с $Fe_2O_3^*$ и ФМ, а также с $(Na_2O + K_2O)$ или K_2O (Юдович и др., 2018). Для туффоидов (пород с примесью вулканогенного материала, придающей их химическому составу некоторую аномальность (Юдович, Кетрис, 2000)) свойственна положительная корреляция между ТМ и ЖМ. При положительной корреляции между ЖМ и ТМ, а также значениях $Na_2O/K_2O > 1$ в осадочных породах можно предполагать присутствие пирокластики основного или основного-среднего состава.

Установлено также, что значения $KM \geq 0.31$, $(KM + NM) > 0.40$ и $AM > 0.27$ могут указывать на присутствие в тонкозернистых обломочных породах калиевого полевого шпата/кислой пироклаستي-

ки. В работе (Юдович и др., 1986) отмечено, что содержание в глинистых породах $Na_2O > 3$ мас. % указывает на наличие в них существенной доли кислых плагиоклазов. Значимая положительная корреляция в глинистых породах между K_2O и TiO_2 , а также K_2O и MgO , возможно, указывает на присутствие в них щелочно-базальтовой пирокластики. К сожалению, формат данной работы не позволяет дать полный обзор используемых для диагностики вулканогенной примеси в осадочных породах литохимических приемов и подходов. Более полную информацию читатель может найти в публикациях (Юдович, Кетрис, 1988, 2015; Диагностикика..., 2012; Юдович и др., 2018; и др.).

Мы попытались использовать для анализа литохимических особенностей глинистых пород старопетровской, салиховской и карлинской свит большинство перечисленных выше подходов, применив их одновременно и к имеющейся у нас коллекции вулканических пеплов. И вот что получилось.

Известно, что в таком референтном объекте, как PAAS, величина титанового модуля равна 0.053. В глинистых породах старопетровской свиты этот параметр составляет 0.046 ± 0.005 , в аргиллитах и алевроаргиллитах салиховского уровня – 0.052 ± 0.007 , а в аналогичных по гранулометрическому составу образованиях карлинской свиты – 0.049 ± 0.004 . Максимальные величины ТМ для индивидуальных образцов перечисленных свит равны соответственно 0.055, 0.068 и 0.059. Следовательно, свойственные глинистым породам венда Шкаповско-Шиханской впадины значения ТМ нельзя считать аномальными (рис. 6). Напротив, для выборки вулканических туфов среднее значение ТМ составляет 0.074 ± 0.030 , это существенно выше, чем то, что мы видим в PAAS.

Среднее содержание оксида магния в глинистых породах всех трех рассматриваемых нами свит также в разной степени меньше, чем граничная величина (3.0 мас. %), отделяющая, по представлениям Я.Э. Юдовича и М.П. Кетриса, породы “обычные” и породы с пирокластической примесью. Максимальные величины MgO , действительно, выше указанного порогового значения, но это можно считать следствием определенных флуктуаций, не играющих системной роли. Более того, в выборке вулканических туфов этот параметр составляет 2.22 ± 0.72 мас. %.

Средние значения ЖМ для глинистых пород всех трех свит также “далеки” от аномальных (старопетровская свита – 0.45 ± 0.04 , салиховская – 0.45 ± 0.06 , карлинская – 0.41 ± 0.04) (см. рис. 6). Выборка вулканических туфов, присутствующих в разрезах сывлицкой и ашинской серий, характеризуется средним значением ЖМ, равным 0.32 ± 0.20 . Максимальная величина данного параметра достигает здесь 0.79.

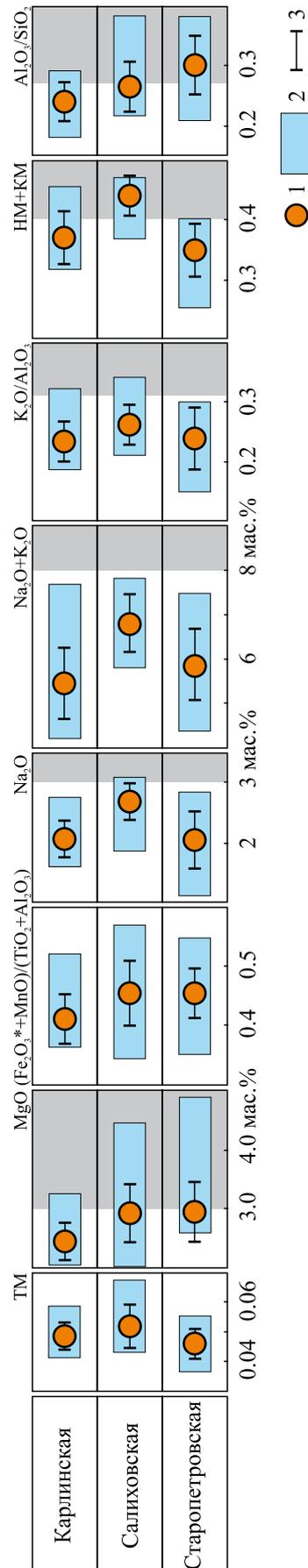


Рис. 6. Вариации средних, минимальных и максимальных содержаний ряда породообразующих оксидов и их индикаторных соотношений в глинистых породах старопетровской, салиховской и карлинской свит.

Серым фоном показаны интервалы аномальных значений. 1 – среднее значение, 2 – интервал между минимальным и максимальным значениями, 3 – стандартное отклонение.

Fig. 6. Variations in the average, minimum and maximum contents of the main rock-forming oxides and their indicator ratios in clayey rocks of the Staropetrovo, Salikhovo and Karlin formations.

The intervals of anomalous values are shown in gray. 1 – average value, 2 – interval between minimum and maximum values, 3 – standard deviation.

“Далеки” от аномальных и средние концентрации оксида натрия в глинистых породах венда Шкаповско-Шиханской впадины. Только максимальные значения данного параметра для индивидуальных образцов глинистых пород салиховской свиты несколько выше, чем пороговая величина (3.0 мас. %), разделяющая обычные осадочные породы и осадочные породы с той или иной примесью камуфлированной пирокластики. Для выборки вулканических туфов значение $\text{Na}_2\text{O}_{\text{ср}}$ составляет 3.36 ± 1.62 мас. %.

Сумма оксидов натрия и калия в глинистых породах всех трех свит также меньше (как средние, так и максимальные значения), чем аномальные величины (> 8 мас. %), которые могли бы позволить сделать предположение о присутствии в них камуфлированной пирокластики (см. рис. 6). В то же время и для выборки вулканических туфов этот параметр составляет всего 7.29 ± 1.48 мас. %.

Меньше пороговой величины (0.31) и средние значения отношения $\text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ в аргиллитах и алевроаргиллитах всех трех свит венда Шкаповско-Шиханской впадины. Однако и в выборке вулканических туфов среднее значение данного отношения составляет всего 0.20 при разбросе минимальных и максимальных величин соответственно 0.08 и 0.31.

Несколько иначе обстоит дело с такими параметрами, как $(\text{NM} + \text{KM})$ и $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ (см. рис. 6). Средняя величина первого для глинистых пород салиховской свиты соответствует значениям, которые рассматриваются как аномальные (>0.40). В то же время среднее значение второго параметра для глинистых пород данного уровня аномальным не является. Напротив, величина $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2_{\text{ср}}$ аномальна для глинистых пород старопетровской свиты, тогда как для тонкозернистых обломочных пород салиховской и карлинской свит этот параметр соответствует значениям, характерным для обычных осадочных пород. Для вулканических туфов среднее значение $\text{NM} + \text{KM} = 0.38 \pm 0.04$, а $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2 = 0.34 \pm 0.09$.

ВЫВОДЫ

Как видно из изложенного, какой-либо определенный вывод относительно присутствия в составе глинистых пород старопетровской, салиховской и карлинской свит Шкаповско-Шиханской впадины камуфлированной пирокластики только по данным литохимических исследований сделать затруднительно. Более того, нам представляется, что такой примеси практически нет или же количество ее достаточно невелико. В то же время, как было отмечено, данные микропетрографических исследований дают основание считать, что среди верхневендских отложений Шкаповско-Шиханской впадины присутствуют “следы вулканической деятельности”.

По всей видимости, наши исследования – это только начало поиска таких следов, но иным комплексом методов, как литохимических, так и, по всей видимости, геохимических, о которых намеренно не велась речь в данной работе.

Поскольку мы изначально не провели дифференциации исследованных образцов на обычно окрашенные серо- и зеленовато-серые и красноватые и в результате не выявили каких-либо специфических их групп внутри старопетровской, салиховской или карлинской свит, есть основания также предполагать, что и красноватая окраска глинистых пород, скорее всего, не является существенным маркером присутствия в породах камуфлированной пирокластики.

Благодарности

Автор искренне признателен М.В. Ишерской, работа с которой способствовала его знакомству со многими разрезами венда Шкаповско-Шиханской впадины, а также Н.С. Глушковой, выполнившей иллюстрации к данной статье.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аксенов Е.М. (1998) История геологического развития Восточно-Европейской платформы в позднем протерозое. Дис. ... д-ра геол.-мин. наук в форме науч. докл. СПб.: ИГГД РАН, 106 с.
- Белоконь Т.В., Горбачев В.И., Балашова М.М. (2001) Строение и нефтегазоносность рифейско-вендских отложений востока Русской платформы. Пермь: Звезда, 108 с.
- Гражданкин Д.В. (2003) Строение и условия осадконакопления вендского комплекса в Юго-Восточном Беломорье. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **11**(4), 3-34. <https://elibrary.ru/item.asp?id=17315248>
- Гражданкин Д.В., Маслов А.В., Крупенин М.Т. (2009) Строение и этапы формирования вендских отложений сыльвицкой серии западного склона Среднего Урала. *Стратиграфия. Геол. корреляция*, **17**(5), 20-40. <https://elibrary.ru/item.asp?id=12901904>
- Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах. (2012) Сыктывкар: Геопринт, 204 с.
- Лагутенкова Н.С. (1963) Следы вулканической деятельности в отложениях верхнебавлинской серии Пермской области и Башкирской АССР. *Докл. АН СССР*, **150**(6), 1352-1355.
- Лагутенкова Н.С., Чепикова И.К. (1982) Верхнедокембрийские отложения Волго-Уральской области и перспективы их нефтегазоносности. М.: Наука, 110 с.
- Лозин Е.В. (1994) Тектоника и нефтеносность платформенного Башкортостана. Ч. I. М.: ВНИИОЭНГ, 73 с.
- Маслов А.В., Гражданкин Д.В., Ронкин Ю.Л., Миценс Г.А., Матуков Д.И., Крупенин М.Т., Петров Г.А., Корнилова А.Ю., Лепихина О.П., Попова О.Ю. (2006а) Пепловые туфы в отложениях сыльвицкой серии верхнего венда (Кваркушско-Каменногорский мегантиклинорий, Средний Урал). *Литосфера*, (3), 45-70. <https://elibrary.ru/item.asp?id=12040973>

- Маслов А.В., Ишерская М.В., Ронкин Ю.Л., Крупенин М.Т., Горбунова Н.П., Гуляева Т.Я., Лепихина О.П., Попова О.Ю., Ятлук Г.М. (2006б) Условия формирования вендских отложений Шкаповско-Шиханской впадины по данным изучения литогеохимических особенностей аргиллитов. *Литология и полезные ископаемые*, (3), 279-300. <https://elibrary.ru/item.asp?id=9210500>
- Нефтегазоносные и перспективные комплексы центральных и восточных областей Русской платформы. (1969) Т. I. Доордовикские отложения центральных и восточных областей Русской платформы. Л.: Недра, 168 с.
- Стратиграфическая схема рифейских и вендских отложений Волго-Уральской области. Объяснительная записка. (2000) Уфа: ИГ УНЦ РАН, ЦНИИГеолнеруд, БашНИПИНефть, 81 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (1988) Геохимия черных сланцев. М.: Наука, 272 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2000) Основы литохимии. СПб.: Наука, 479 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П. (2015) Геохимические и минералогические индикаторы вулканогенных продуктов в осадочных толщах. М.; Берлин: Директ-Медиа, 724 с. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428043> (дата обращения: 02.05.2020).
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Рыбина Н.В. (2018) Геохимия титана. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 432 с.
- Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Шулепова А.Н., Лавренко Н.С. (1986) Геохимическая диагностика вулканогенного материала в черносланцевых отложениях Лемвинской зоны Урала. *Геохимия*, (10), 1464-1476.
- Bolnar R., Kamber B.S., Moorbath S., Whitehouse M.J., Collerson K.D. (2005) Chemical characterization of earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**, 1555-1573. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.09.023>
- Cox R., Lowe D.R. (1995) Controls on sediment composition on a regional scale: a conceptual review. *J. Sediment. Res.*, **A65**, 1-12. <https://doi.org/10.1306/D4268009-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. (1995) The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 2919-2940. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00185-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00185-9)
- Taylor S.R., McLennan S.M. (1985) The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell Scientific, Oxford, 312 p.
- dian deposits in the east of the Russian platform. Perm', Zvezda Publ., 108 p. (In Russian)
- Bolnar R., Kamber B.S., Moorbath S., Whitehouse M.J., Collerson K.D. (2005) Chemical characterization of earth's most ancient clastic metasediments from the Isua Greenstone Belt, southern West Greenland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **69**, 1555-1573. URL: <https://doi.org/10.1016/j.gca.2004.09.023>
- Cox R., Lowe D.R. (1995) Controls on sediment composition on a regional scale: a conceptual review. *J. Sediment. Res.*, **A65**, 1-12. <https://doi.org/10.1306/D4268009-2B26-11D7-8648000102C1865D>
- Cox R., Lowe D.R., Cullers R.L. (1995) The influence of sediment recycling and basement composition on evolution of mudrock chemistry in the southwestern United States. *Geochim. Cosmochim. Acta*, **59**, 2919-2940. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(95\)00185-9](https://doi.org/10.1016/0016-7037(95)00185-9)
- Grazhdankin D.V. (2003) Structure and depositional environment of the vendian complex in the Southeastern White Sea Area. *Stratigr. Geol. Correl.*, **11**(4), 313-331 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **11**(4), 3-34). <https://elibrary.ru/item.asp?id=13443272>
- Grazhdankin D.V., Maslov A.V., Krupenin M.T. (2009) Structure and depositional history of the Vendian Sylvitsa group in the western flank of the Central Urals. *Stratigr. Geol. Correl.*, **17**(5), 476-492 (translated from *Stratigrafiya. Geol. Korrelyatsiya*, **17**(5), 20-40). <https://elibrary.ru/item.asp?id=12901904>
- Diagnostics of volcanic products in sedimentary strata. (2012) Syktyvkar, Geoprint Publ., 204 p. (In Russian)
- Lagutenkova N.S. (1963) Traces of volcanic activity in the sediments of the Upper Bavlinsky series of the Perm region and the Bashkir ASSR. *Dokl. AN SSSR*, **150**(6), 1352-1355. (In Russian)
- Lagutenkova N.S., Chepikova I.K. (1982) Upper Precambrian deposits of the Volga-Ural region and prospects for their oil and gas potential. Moscow, Nauka Publ., 110 p. (In Russian)
- Lozin E.V. (1994) Tectonics and oil-bearing capacity of platform Bashkortostan. Pt I. Moscow, VNIIOENG Publ., 73 p. (In Russian)
- Maslov A.V., Grazhdankin D.V., Ronkin Yu.L., Mizens G.A., Matukov D.I., Krupenin M.T., Petrov G.A., Kornilova A.Yu., Lepikhina O.P., Popova O.Yu. (2006a) Ash tuffs in the Upper Vendian Sylvitsa Group deposits (Kvarkushsko-Kamennogorsk meganticlinorium, Middle Urals). *Litosfera*, (3), 45-70. <https://elibrary.ru/item.asp?id=12040973> (In Russian)
- Maslov A.V., Isherskaya M.V. Ronkin Yu.L., Krupenin M.T., Gorbunova N.P., Gulyaeva T.Ya., Lepikhina O.P., Popova O.Yu., Yatluk G.M. (2006b) Mudstone lithogeochemistry and formation conditions of Vendian deposits in the Shkapovo-Shikhan basin. *Lithol. Miner. Res.*, **41**(3), 250-270 (translated from *Litol. Polez. Iskop.*, (3), 279-300). <https://elibrary.ru/item.asp?id=9210500>
- Oil and gas bearing and prospective complexes of the central and eastern regions of the Russian platform. (1969) V. I. Preordovician deposits of the central and eastern regions of the Russian platform. Leningrad, Nedra Publ., 168 p. (In Russian)
- Stratigraphic diagram of the Riphean and Vendian deposits of the Volga-Ural region. Explanatory note. (2000) Ufa, IG USC RAS, TsNIIГеолнеруд, БашНИПИнефть, 81 p. (In Russian)

REFERENCES

- Taylor S.R., McLennan S.M. (1985) The continental crust: its composition and evolution. An examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Blackwell Scientific, Oxford, 312 p.
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (1988) Geochemistry of black shale. Moscow, Nauka Publ., 272 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2000) Fundamentals of lithochemistry. St.Petersburg, Nauka Publ., 479 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P. (2015) Geochemical and mineralogical indicators of volcanogenic products in sedimentary strata. Moscow; Berlin, Direct-Media Publ., 724 p. URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=428043> (date of access: 05/02/2020). (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Rybina N.V. (2018) Geochemistry of titanium. Syktyvkar, IG Komi SC UB of the RAS, 432 p. (In Russian)
- Yudovich Ya.E., Ketris M.P., Shulepova A.N., Lavrenko N.S. (1986) Geochemical diagnostics of volcanic material in black shale deposits of the Lemvinskaya zone of the Urals. *Geokhimiya*, (10), 1464-1476. (In Russian)