

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СИЛИКОКЛАСТИТОВ И СИЛИЦИТОВ ИЗ РАЗРЕЗОВ РИФЕЯ И ДЕВОНА ЮЖНОГО УРАЛА НА ОСНОВЕ ЛИТОХИМИЧЕСКИХ МОДУЛЕЙ

Е.В. Кузнецова

Наше предыдущее изучение литохимических особенностей среднепалеозойских силицитов Магнитогорской мегазоны (МЗ) восточного склона Южного Урала, основанное на системе петрохимических модулей, показало, что они относятся к осадочным породам, сформированным в морских бассейнах при участии вещества эксгаляций [Кузнецова, 2005]. Рассчитанные нами петрохимические параметры для силицитов из отложений мазовской ($D_1 ms$), ишкининской ($D_2 ishk$), сафаровской ($D_2 saf$) толщ, ярлыкаповской ($D_2 jr$), бугулыгирской ($D_2 bg$), актауской ($D_{1-3} ak$), мукасовской свит ($D_3 mk$) различных стратиграфических подразделений девона, а также толщи нижнего карбона (C_1), позволяют провести их предварительное сравнение с другими типами седиментитов: глинами, алевролитами, песчаниками и туффитами рифейского возраста Башкирского мегантиклинория (БМА) Южного Урала. Это дает нам возможность в дополнение к литологическим данным определить литохимические критерии идентификации кремнистых пород от каждой отдельно взятой группы осадочных образований, что позволит получить более емкую информацию об источниках вещества и условиях образования южноуральских комплексов силицитов.

В табл. 1-3 приведены петрохимические модули терригенно-осадочных пород девона Магнитогорской мегазоны [Кузнецова, 2005] и рифея БМА. При классификации пород за основу был взят **гидролизатный модуль** ($ГМ = (Al_2O_3 + TiO_2 + Fe_2O_3 + FeO + MnO) / SiO_2$) [Юдович и Кетрис, 2000]. По ГМ выделяется

три главных таксона: **силииты** ($ГМ < 0,30$), **сиаллиты** и **сиферлиты** ($ГМ = 0,31-0,55$) и **гидролизаты** ($ГМ > 0,55$). Для дополнительной характеристики нами также применяются титановый (ТМ), железный (ЖМ), фемический (ФМ), алюмокремниевый (АМ), щелочной (ЩМ) модули и модуль нормированной щелочности (НКМ). По значениям модулей выделяются четыре класса – с приставками гипо-, нормо-, супер- и гипер.

Сравнение силицитов с другими типами осадочных образований показало их заметное отличие, прежде всего – по показателям гидролизатного модуля. Все изученные кремнистые породы Магнитогорской мегазоны относятся к **суперсилиитам**, где ГМ не превышает 0,20. Из отложений БМА таксон **силииты** охватывает песчаники ($ГМ = 0,02-0,23$) и кварцевые алевролиты ($ГМ = 0,25$). Глинистые породы и алевролиты являются **сиаллитами** ($ГМ = 0,32-0,49$). Все туфогенные разновидности пород (сланцы, алевролиты и песчаники) можно отнести к **гидролизатам** ($ГМ = 0,67-0,73$).

Рассчитанные значения **титанового модуля** ($ТМ = TiO_2 / Al_2O_3$) для средних составов седиментитов обеих мегаструктур Южного Урала практически совпадают – породы оказываются **нормотитанистыми** (медианное значение ТМ попадает в диапазон от 0,03 до 0,05), т. е. ТМ здесь отличается от большинства модулей относительным постоянством значений. Исключением являются лишь некоторые аркозовые песчаники, которые являются гипощелочными ($ТМ = 0,004$). Такое аномально-низкое значение титанового модуля харак-

Таблица 1

Литохимические модули силицитов Южного Урала

№ п/п	№ пробы	Возраст	ГМ	АМ	ФМ	ТМ	ЖМ	НKM	ЩМ	КМ
1	27	D ₁ ms	0,12	0,02	0,11	0,039	6,31	0,35	0,46	0,24
2	29	D ₂ e ishk	0,27	0,06	0,22	0,045	3,03	0,29	0,82	0,16
3	30	D ₂ e ishk	0,24	0,05	0,22	0,033	3,37	0,35	0,35	0,26
4	2854_2_1	D ₂ e ishk	0,30	0,12	0,23	0,040	1,41	0,31	0,46	0,21
5	2855_2_1	D ₂ e ishk	0,19	0,04	0,15	0,034	3,23	0,40	0,97	0,20
6	2	D ₂ e jr	0,19	0,02	0,16	0,065	6,42	0,34	0,17	0,29
7	3	D ₂ e jr	0,13	0,04	0,11	0,036	2,20	0,05	0,20	0,04
8	18	D ₂ e jr	0,08	0,01	0,07	0,040	4,63	0,33	0,76	0,18
9	20	D ₂ e jr	0,10	0,02	0,08	0,040	3,02	0,30	0,14	0,26
10	11	D ₂ e bg	0,26	0,03	0,24	0,048	6,74	0,20	0,43	0,14
11	13	D ₂ e bg	0,14	0,03	0,11	0,027	2,94	0,34	0,61	0,21
12	15	D ₂ e bg	0,15	0,02	0,13	0,034	4,66	0,26	0,71	0,15
13	16	D ₂ e bg	0,12	0,01	0,11	0,042	7,08	0,18	0,38	0,13
14	5	D ₃ fr ak	0,13	0,02	0,12	0,038	7,10	0,30	0,12	0,27
15	6	D ₃ fr ak	0,07	0,02	0,05	0,028	2,26	0,29	0,11	0,26
16	23	D ₂ e ak	0,12	0,03	0,10	0,047	3,35	0,32	0,08	0,30
17	25	D ₂ e ak	0,24	0,04	0,20	0,039	4,66	0,08	0,55	0,05
18	26	D ₂ fr ak	0,11	0,02	0,10	0,049	4,67	0,34	0,32	0,26
19	9	D ₃ fr mk	0,15	0,05	0,11	0,031	1,89	0,20	0,09	0,18
20	31	D ₃ fr mk	0,20	0,03	0,18	0,035	4,70	0,17	0,36	0,12
21	36	D ₃ fr mk	0,05	0,02	0,03	0,030	1,16	0,42	0,31	0,32
22	37	D ₂ e saf	0,22	0,13	0,09	0,021	0,64	0,31	25,09	0,01
23	32	C ₁	0,11	0,03	0,08	0,046	2,44	0,25	2,30	0,07
	Среднее		0,16	0,04	0,13	0,04	3,82	0,28	1,56	0,19

Таблица 2

Литохимические модули глинистых пород рифея Южного Урала (по Л.В. Анфимову, 2006)

Разновидности	Кол-во анализов	ГМ	ЖМ	ФМ	ТМ	НKM	ЩМ	АМ
Туфогенный сланец	1	0,71	0,43	0,41	0,10	0,08	0,10	0,28
Микросланцы	3	0,37	0,39	0,13	0,03	0,07	0,26	0,24
Сланцы пелитовые	3	0,34	0,20	0,10	0,04	0,08	0,28	0,23
Сланцы филлитовые	3	0,45	0,29	0,14	0,04	0,10	0,10	0,29
Филлиты	29	0,49	0,30	0,17	0,04	0,12	0,08	0,31
Среднее		0,47	0,32	0,17	0,04	0,11	0,23	0,30

терно именно для аркозов. Сравнительно небольшая титанистость песчаников и алевролитов может свидетельствовать о слабой динамической сортировке обломочного материала и означать формирование их в глубоководных условиях [Юдович и др., 1984].

Для туфогенных пород титанистость несколько повышается и составляет 0,10, что соответствует верхнему пределу показателей титанового модуля для нормогидролизатов. Это, вероятно, связано с примесью пирокластики базитового состава с высокими значениями

ТМ, так как основной пепел должен повышать титанистость [Юдович, Кетрис, 2000].

Железный модуль (ЖМ) выражает соотношение между железистыми и глиноземистыми продуктами гидролиза: $ЖМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO) / (TiO_2 + Al_2O_3)$. ЖМ чаще всего используется не самостоятельно, а в паре с титановым, фемическим модулями или модулем нормированной щелочности [Юдович, Кетрис, 2000].

Терригенные отложения рифея БМА, в среднем имеют нормальное значение ЖМ в интервале 0,28-0,82, за исключением гипожеле-

Литохимические модули мелкообломочных пород рифея Южного Урала (по Л.В. Анфимову, 2006)

Породы	Разновидности	Кол-во анализов	Модули						
			ГМ	ЖМ	ФМ	ТМ	НКМ	ЩМ	АМ
Песчаники	Туфогенные	1	0,67	0,82	0,28	0,10	0,39	28,55	0,28
	Кварцитовидные	25	0,02	0,53	0,01	0,03	0,25	0,21	0,01
	Аркозовые	25	0,22	0,38	0,04	0,05	0,45	0,11	0,13
	-//-//-/-	9	0,17	0,38	0,06	0,004	0,60	0,04	0,12
	Кварцевополевошпатовые	2	0,23	0,38	0,08	0,04	0,31	0,21	0,15
	-//-//-/-	3	0,32	0,28	0,09	0,04	0,36	0,14	0,23
	Среднее		0,15	0,44	0,03	0,03	0,38	0,58	0,09
Алевриты	Туфогенные	2	0,73	1,19	0,43	0,10	0,16	2,82	0,28
	Кварцевополевошпатовые	1	0,48	0,33	0,17	0,05	0,40	0,16	0,30
	-//-//-/-	4	0,37	0,37	0,15	0,04	0,34	0,40	0,23
	Аркозовые	34	0,41	0,36	0,13	0,04	0,43	0,02	0,26
	Кварцевые	8	0,25	0,47	0,12	0,06	0,39	0,49	0,12
	Среднее		0,40	0,41	0,14	0,05	0,40	0,24	0,24

зистых пелитовых и филлитовых сланцев (ЖМ=0,20-0,29), а также супержелезистых туфогенных алевритов (ЖМ=1,19). Но если для пород гидролизатов величина ЖМ задает генетически близкие классы, то среди сиаллитов умеренной гидролизатности (ГМ=0,30-0,55) высокожелезистых пород не встречается [Юдович, Кетрис, 2000].

Все изученные среднепалеозойские кремнистые породы являются гипержелезистыми (ЖМ=1,16-7,08), что объясняется повышенными содержаниями железа, которое, возможно, поступало в осадок в составе гидротермальных растворов.

Существует точка зрения, что роль эксгальтирующий и гидротерм при формировании силицитов была достаточно высокой (Хворова, 1968, Хворова и др. 1972; Зайкова, 1991 и др.). По данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000) эксгальтивный материал часто ассоциируется с яшмами, кремнями, фтанитами. Наилучшими индикаторами эксгальтивной примеси служат мощные дисперсии модулей ЖМ и НКМ с достижениями ими экстремальных значений, которые объясняются соответственно подачей в осадок гидротермальных гидрооксидов Fe и Mn и неглиноземистых глинистых минералов, а также высокие содержания Fe и Mn в сочетании с аномалиями ТМ, указывающими на участие базитового вещества.

Исследуемые силициты при высоких показателях железного модуля обеднены марган-

цем ($Mn < 1\%$) и относятся к нормощелочным (НКМ=0,28) и нормотитанистым породам (ТМ=0,04), поэтому существенного влияния эксгальтивного вещества на состав кремней, не наблюдается. С другой стороны нельзя исключить и некоторого участия «вулканогенного железа» в кремнеобразовании. По данным И.В. Хворовой и др. (1972) в случае преобладания в осадках «терригенного железа» должна быть установлена корреляционная связь Fe с титаном и алюминием, которая в исследуемых породах выражена довольно слабо (0,36 и 0,12 соответственно). Таким образом, часть железа в южноуральских кремнях можно считать вулканогенной.

Следующий используемый нами показатель **фемический модуль (ФМ)**: $ФМ = (Fe_2O_3 + FeO + MnO + MgO) / SiO_2$. Как видно по результатам анализов рифейских отложений БМА среди силицитов к гипофемическим можно отнести кварцитовидные и часть аркозовых песчаников (ФМ=0,01). Кварцевые алевриты представлены суперфемическими образованиями (ФМ=0,12). Все прочие породы (сиаллиты и гидролизаты) имеют нормальный фемический модуль (диапазон значений ФМ широк и варьирует от 0,04 до 0,43).

Большинство силицитов показывают аномально высокие значения фемического модуля и относятся к супер-, и в большей мере к гиперфемическим образованиям (величины ФМ изменяются в пределах 0,10-0,24). В предыду-

щей статье нами было показано, что высокие показатели фемического модуля, вероятно, отражают наличие в составе кремней вулканокластики [Кузнецова, 2005].

По данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000) пирокластика основного состава надежно диагностируется по признакам повышенной магнезиальности (MgO), железистости (ЖМ), титанистости (ТМ и TiO_2) и фемичности (ФМ), которые часто коррелируются между собой. Дополнительным признаком может служить повышенная величина натровости (ЩМ).

Из 23 анализов кремней Магнитогорской мегазоны (см. табл. 1) лишь один несколько выделяется относительно высокими показателями титанового, железного и фемического модулей: ТМ=0,07 на фоне 0,021-0,048; ЖМ=6,42 на фоне 0,64-7,10; ФМ=0,16 на фоне 0,03-0,22. Такой состав можно истолковать как указание на примесь базитовой пирокластики с характерными для нее повышенной титанистостью и железистостью [Юдович и др., 1984]. Однако содержание MgO и TiO_2 в данной пробе составляет менее 1%, а по величине щелочного модуля (ЩМ=0,17) порода является гипонатровой.

Некоторым пробам рассматриваемых силицитов также присущи завышенные значения фемического, железного и щелочного модулей, но совокупности высоких величин ТМ, ЖМ, ФМ, ЩМ, MgO и TiO_2 , а также корреляции между указанными параметрами не наблюдается, что, вероятно, свидетельствует о незначительном количестве пирокластики в их составе.

По *алюмокремниевому модулю* ($AM=Al_2O_3/SiO_2$) глинистые породы, все разновидности песчаников и алевролитов показывают нормальные значения в пределах 0,12-0,31, что может указывать на наличие в осадочных отложениях рифея некоторого количества гидрослюдистой примеси. Много седиментитов с пониженной глиноземистостью – это большая часть кремнистых осадков ($AM=0,04$), кварцитовидные песчаники ($AM=0,01$) и кварцевые алевролиты ($AM=0,12$). Невысокие значения алюмокремниевого модуля Я.Э. Юдович и М.П. Кетрис (2000) объясняют присутствием полевых шпатов.

О соотношении полевых шпатов и слюд содержит информация *модуль нормированной щелочности* ($HKM=(Na_2O + K_2O)/Al_2O_3$). По значениям НКМ преобладающая часть кремней относится к нормощелочным силитам, в

меньшем количестве присутствуют породы, попадающие в область гипощелочных. Рифейские песчаники, алевролиты и туфогенные сланцы характеризуются нормальной щелочностью ($HKM=0,16-0,40$), глинистые породы являются гипощелочными ($HKM<0,20$). Поскольку слюды более глиноземистые, чем полевые шпаты, то низкие значения НКМ в глинистых породах рифея и некоторых девонских силицитах свидетельствуют о преобладании слюд с возможной, но небольшой примесью полевых шпатов, что не противоречит показателям алюмокремниевого модуля.

Часть аркозовых и туфогенные песчаники, а также аркозовые алевролиты относятся к суперщелочным ($HKM=0,39-0,60$). Повышенная щелочность указывает на относительно низкое содержание в их составе слюд и на высокое – полевых шпатов, которые в аркозах являются пороодообразующими (значение НКМ в них колеблется от 0,43 до 0,60) [Юдович, Кетрис, 2000].

По величине *щелочного модуля* ($ЩМ=Na_2O/K_2O$) рифейские осадочные отложения БМА относятся к гипо- и нормонатровым породам. Исключением являются туфогенные алевролиты и туфогенный песчаник с высокой натровостью (значение ЩМ составляет 2,82 и 28,55 соответственно), в которых величина ЩМ является диагностичной: для базальтовой и андезитово-базальтовой пирокластики в туфогенных породах натровость, как правило, больше единицы [Юдович, Кетрис, 2000].

Силициты Магнитогорской мегазоны представлены всеми градациями; от гипо- до гипернатровых. Некоторые пробы отличаются значениями ЩМ, близкими к аномальным (2,30 и 25,09). По данным Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис (2000) повышенная величина натровости, как и щелочности присуща базитовому вулканогенному материалу и продуктам его изменения, но лишь в качестве дополнительного признака в сочетании с высокими значениями модулей ЖМ, ФМ и ТМ, что как показано выше, для исследуемых пород не характерно.

Итак, анализ литохимических параметров отложений Южного Урала показал, что по величине гидролизатного модуля среднепалеозойские кремни относятся к *суперсилитам*. Осадочные породы Башкирского мегаантиклинария подразделяются на: *силиты* (песчаники и кварцевые алевролиты), *сиаллиты* (глинистые породы и алевролиты) и *гидролизаты* (ту-

фогенные разновидности пород).

В целом терригенные седиментиты характеризуются нормальными и пониженными значениями модулей. Высокие величины ГМ, ЖМ и ТМ присущи только туфогенным породам, что связано с наличием в их составе базитовой пирокластики. Аномально-низкое значение титанового модуля характерно для аркозов. Пониженные показатели НКМ в глинистых породах рифея свидетельствуют о преобладании в их составе слюд с возможной примесью полевых шпатов. Суперщелочность в аркозах и туфогенных песчаниках указывает на преобладание полевых шпатов, которые в аркозах являются породообразующими, и на относительно низкое содержание слюд.

По литохимическим модулям силициты Магнитогорской мегазоны имеют характерные отличия от других осадочных образований. Породы обладают низкой гидролизатностью и глиноземистостью, нормальными значениями титанового модуля и модуля нормированной щелочности. С другой стороны кремни отличаются высокими показателями железного и феррического модулей, которые, как показало исследование, недостаточны для отнесения рассматриваемых пород к отложениям с существенной примесью эксгальвативной и пирокластической составляющей. По данным анализов кремни обеднены марганцем, а завышенные значения ФМ, ЖМ и ЦМ в некоторых пробах не обнаруживают корреляции между собой и с показателями ТМ, НКМ, TiO_2 , MgO . Очевидно, это означает, что количество вулканогенного вещества в составе силицитов невелико, и с помощью данной методики выявить его не представляется возможным.

Таким образом, результаты литохимического исследования дают основание пола-

гать, что исследуемые силициты представляют собой особую, отличную от других групп пород и относятся к существенно осадочным образованиям. По всей вероятности, формирование кремнистых комплексов Магнитогорской мегазоны Южного Урала происходило без значительного участия подводных эксгальций и привноса пирокластики в зону седиментации, как это предполагалось ранее. Скорее всего, исходным веществом в большей степени являлись кремнистые илы, нередко обогащенные терригенным материалом.

Список литературы

Зайкова Е.В. Кремнистые породы офиолитовых ассоциаций (на примере Мугоджар). М.: Наука, 1991. 134 с.

Кузнецова Е.В. Петрохимические модули в применении к среднепалеозойским силицитам Магнитогорской мегазоны (Южный Урал) // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2006. С. 63-67.

Хворова И.В. Кремненакопление в геосинклинальных областях прошлого // Осадкообразование и полезные ископаемые вулканических областей прошлого. Труды. Вып. 195. М.: Наука, 1968. Том I. С. 9-136.

Хворова И.В., Золотарев Б.П., Гусарева А.И. Микроэлементы в эвгеосинклинальных кремнистых породах. // Литология и полезные ископаемые. 1972. № 6. С. 26-41.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Основы литологии. СПб.: Наука, 2000. 479 с.

Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В., Беляев А.А. Петрохимическая диагностика вулканогенных продуктов в черносланцевых отложениях Пай-Хоя // Геохимия. 1984. № 6. С. 868-882.