

Литература

1. Анфимов Л.В., Бусыгин Б.Д., Демина Л.Е. Саткинское месторождение магнезитов на Южном Урале. М.: Наука, 1983. 86 с.
2. Горожанин В.М., Мичурин С. В. Литологические, геохимические и изотопные признаки эвапоритизации в раннем рифее Южного Урала // Литологические аспекты геологии слоистых сред. Материалы 7 Уральского литологического совещания. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 68–71.
3. Жарков М.А. Эволюция эвапоритов в докембрии в связи с преобразованиями биосферы и химического состава мирового океана. Статья 1. Эвапориты архея и раннего протерозоя // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2005. Т. 12. № 2. С. 19–29.
4. Крупенин М.Т., Прохаска В. Эвапоритовая природа флюидных включений в кристаллических магнезитах саткинского типа // Доклады РАН. 2005. Т. 403. № 5. С. 661–663.
5. Кузнецов В.Г., Эволюция карбонатакопления в истории Земли. М.: ГЕОС, 2003. 262 с.
6. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Гареев Э.З., Анфимов Л.В. Рифей западного склона Южного Урала (классические разрезы, седименто- и литогенез, минерогенез, геологические памятники природы) // Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. Т. I. 351 с.
7. Парначев В.П. Фтор и хлор в позднедокембрийских осадочных породах Башкирского мегантиклинория в связи с вопросами их седиментогенеза // Геохимия вулканических и осадочных пород Южного Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. С. 35–46.
8. Сидоренков А.И. Новые данные по литостратиграфии верхней части разреза саткинской свиты // Геология и полезные ископаемые Урала. Тр. СГИ. Вып. 45. 1964. С. 14–24.
9. Grothzinger J. F., Kasting J. F., New constraints on Precambrian ocean composition // J. Geol. 1993. V. 101. P. 235–243.
10. Kah L.C., Lyons T.W., Chesley J.T. Geochemistry of a 1.2 Ga carbonate-evaporite succession, Northern Baffin and Bylot Islands: implications for Mesoproterozoic marine evolution // Precambrian Research. 2001. 111. P. 203–234.
11. Kendall A.C. Evaporites // Facies Models. R.G.Walker, editor. GeoscienceCanada reprint series # 1, 2-nd edition, 1984. P. 259–296.
12. Melezhik V.A., Fallick A.E., Medvedev P.V., Makarikhin V.V., Palaeoproterozoic magnesite: lithological and isotopic evidence for playa/sabkha environments // Sedimentology. 2001. V. 48. P. 379–397.
13. Newell, N. D., J. K. Rigby, A. G. Fischer, et.al. The Permian Reef Complex of the Guadalupe Mountains Region, Texas and New Mexico-A Study in Paleocology. W. H. Freeman, 1953. San Francisco. 236 p.

О геохимии процессов формирования «сланцев перемыва» и лиственитов по породам Главной дайки (Бакальский район)

Крупенин М.Т.¹, Шардакова Г.Ю.¹, Кузнецов А.Б.²

¹Институт геологии и геохимии УрО РАН, г. Екатеринбург, e-mail: krupenin@igg.uran.ru; shardakova@igg.uran.ru

²Институт геологии и геохронологии докембрия РАН, г. Санкт-Петербург, e-mail: antonbor@ak9723.spb.edu

В карбонатно-терригенных отложениях рифея, примыкающих с запада к структуре Машакского грабена, широко развиты рои диабазовых даек и силлов различной мощности. Максимальным развитием они пользуются в Бакало-Саткинском горно-рудном районе. А.А.Алексеевым [1] здесь выделено несколько дибазовых комплексов: нижне-, средне- и верхнерифейско-вендский, а также палеозойский. Наиболее крупный из них – нижнерифейский, в состав которого входят габброиды Главной дайки, Кусинской интрузии и Бердяшского плутона, являющиеся магматическим выражением одного из этапов машакского рифтогенного события. Эти объекты подробно охарактеризованы в работах [5, 9, 13]. Главная дайка прорывает отложения трех пачек бакальской свиты нижнего рифея: березовской (известняки), иркусканской (черные глинистые сланцы), шуйдинской (доломиты с залежами магнезита). U-Pb возраст пород Главной дайки – 1385.3 ± 1.4 млн. лет (по бадделеиту [15]); по геохимическим особенностям они отвечают континентальным рифтогенным образованиям. Однако геохимия сопряженных с диабазами пространственно и/или генетически пород на со-

временном уровне изучена недостаточно (за исключением глинистых сланцев [7]; наши данные позволяют несколько восполнить этот пробел.

Бурзянские отложения с резким угловым несогласием перекрыты юрматинскими кварцито-видными песчаниками зигальгинской свиты. В основании последней развиты линзы конгломератов, сложенных преимущественно гальками кварцитовидных песчаников («зигальга базальная»). Несмотря на пространственную близость с Главной дайкой, обломки диабазов в конгломератах отсутствуют. Объяснение этому факту может быть получено при изучении так называемых «сланцев перемыва», относящихся к предзигальгинской коре выветривания [14]. Они приурочены к контакту бакальской и зигальгинской свит и представляют собой маломощный прослой глинистых сланцев кварц-хлорит-гидрослюдистого состава, мощность которого варьирует от первых сантиметров до десятков метров. Кварцито-песчаники зигальгинской свиты залегают согласно на «сланцах перемыва» и содержат их слабоокатанные обломки в базальной толще. «Сланцы перемыва» имеют зелено-серую (карьеры Ц. Иркутск, Сидеритовый), с салатным, реже вишнево-бурым, оттенком (карьеры Восточно-Буландихинский, Петлинский) окраску, отличающую их от типичных темно-серых низкоуглеродистых сланцев бакальской свиты.

В южном борту Петлинского карьера наблюдается зона (мощн. 0,6 м) выветрелого буро-серого габбро-диабаз (апофиза Главной дайки), слабо рассланцованного, затем – зона (0,5 м) более выветрелого диабаз, с реликтами крупнозернистой структуры и интенсивным рассланцеванием, далее – зона массивного тонкозернистого зеленовато-серого сланца, типичного «сланца перемыва» (до 1,3 м), имеющая ровный контакт с вышележащими кварцито-песчаниками. Рассланцевание наблюдается под углом к напластованию вышележащих осадочных пород (кливаж осевой плоскости Петлинской синклинали). В основании кварцито-видных песчаников отмечаются неокатанные обломки нижележащих сланцев. Вся зона контакта, в том числе и габбро-диабаз, подвержена неравномерной лиственитизации с развитием прожилков серицита, фуксита, анкерита и барита. Эти прожилки в габбро-диабазе имеют дугообразную форму, напоминая шаровидную отдельность трещин выветривания в диабазе, подчеркивая ее реликты. К-Аг возраста фукситов и полевых шпатов из зон изменения диабазовых даек составляют 610–618 млн. лет, указывая на то, что лиственитизация в Бакальском районе проявилась в связи с позднерифейско-вендскими тектоническими событиями [3]. По-видимому, листвениты и сопряженные с ними анкерит-баритовые жилы развивались по ранее сформированным трещинам, образованных в процессе предзигальгинского выветривания диабазов.

Листвениты, как известно, образуются в кислотную стадию низкотемпературного гидротермального процесса. Происходит привнос оснований, компенсируемый осаждением кварца и карбоната; растворы имеют калиевую специфику. Поведение редких элементов в лиственитах изучено не вполне достаточно, поэтому данные по каждому конкретному объекту расширяют общее представление о процессе в целом. При формировании «классических» лиственитов, открытых Г. Розе и на современном уровне изученных, например, В.Н.Сазоновым в Березовском рудном поле [10, 11] и О.Н.Викентьевой и др. [2], из исходного габбро выносятся SiO_2 , TiO_2 , FeO , P_2O_5 при существенном привносе K_2O (фукситовая колонка) или Na_2O (парагонитовая) и Al_2O_3 , CO_2 . К тому же в березовских лиственитах, по сравнению с эдуктом, понижаются концентрации легких и средних лантаноидов (La-Tb), углубляется отрицательная аномалия Eu, а ТРЗЭ (Ho-Er) существенно привносятся. Примерно такая же картина наблюдается в этом сегменте и при лиственитизации андезитов. Анализы, на основании которых сделаны эти заключения, взяты из работы [11].

По данным Ю.В.Ерохина [4], примерно так же ведут себя петрогенные и редкие элементы при лиственитизации габброидов Баженовского массива. Для этого объекта можно отметить также повышение (привнос) при этом процессе содержаний Rb и Ba и вынос – Zr, Hf, Th, U; однако отношение Zr/Hf изменяется очень слабо, наследуется от эдукта.

При образовании лиственитов по габброидам Главной дайки можно зафиксировать вынос Si, Ti, Al, Na при привносе Mg, Fe, Mn, Ca. Такой химизм не вполне отвечает лиственитизации, по-видимому, потому, что ей предшествовали и другие преобразования, наложенные на габбро (как минимум, хлоритизация и интенсивное выветривание). На графиках, где листвениты нормированы по эдукту (диабаз Главной дайки), видно, что происходит также привнос Ba, Rb, Cs,

Pb (изоморфирующих с K, вероятно, и последнего – тоже), а также U, Cr и вынос V; Sr (а, значит, и Ca), Zr, Hf, Th; при этом отношение Zr/Hf также остается почти без изменения. РЗЭ выносятся: тяжелые в существенно меньшей степени, чем легкие. Присутствие крутой левой ветви (ЛРЗЭ) на тренде лиственита Nb-27В, вероятно, можно связать с интенсивным развитием в нем сопутствующих карбонатных (анкерит-сидеритовых) прожилков. Вынос большого числа рассеянных элементов может свидетельствовать о высокой активности кислого флюида, и, возможно, его большом объеме, но высокой скорости перемещения (при вендских тектонических процессах образовалось много проницаемых зон с перепадами давления, благоприятными для быстрой миграции).

В северном борту Петлинского карьера в диабазах на контакте зигальгинских кварцитовидных песчаников и конгломератов фиксируются выветрелые участки с видимой зернистостью, иногда – с характерными округлыми трещинами отдельности, реликтами первичной структуры в глинистом субстрате; непосредственно в контактовой зоне происходит переход диабазов в глиноподобные лиственитизированные образования, аналогичные «сланцам перебива». Это наблюдение позволяет предполагать, что в предзигальгинское время диабазы, внедрившиеся в отложения бакальской свиты, подвергались глубокому химическому выветриванию и размыву совместно с осадочными породами бакальской свиты, глубина эрозионного среза которой составляет не менее 700 м [6].

Анализ наших данных показал, что при накоплении алюмосиликокластики на границе раннего и среднего рифея господствовал семиаридный и гумидный климат [8]. Вероятно, именно это способствовало интенсивному химическому выветриванию базальтоидов, что стало главной причиной отсутствия галек диабазов среди базальных конгломератов в зигальгинской свите. Только наиболее устойчивый кварцитовый и кварцевый материал, а также фрагменты глинистой коры выветривания по диабазам, сохранились в ее составе.

Литогеохимические особенности алюмосиликокластических пород бакальской свиты, залегающих ниже машакского уровня (диабазов Главной дайки), подробно описаны в работах [7] и указывают на то, что главная роль в источниках сноса принадлежала кислым магматическим образованиям зрелой континентальной коры (т.е. основные породы в процессе практически не участвовали). При сравнении геохимии бакальских сланцев с габбро-диабазам на это, помимо явно более «гранитного» уровня содержания петрогенных компонентов, указывают повышенные концентрации Rb, Cs, Pb, U, Th и отношения La/Yb.

К сожалению, мы не располагаем силикатными анализами «сланцев перебива» по диабазовому субстрату лежащих выше, и, по-видимому, образовавшихся без влияния Главной дайки («сиалических»). Последние четко отличаются от диабазов по химическому составу: характеризуются более высокими содержаниями SiO₂, Al₂O₃, MnO, MgO, K₂O и пониженными – FeO, CaO, Na₂O, а также ряда малых компонентов (V, Cr, Ni, Cu). От глинистых сланцев бакальской свиты они также отличны: имеют более высокие содержания SiO₂, FeO, Na₂O, U, Th, Rb и более низкие – MgO, CaO, K₂O, Y, Zr, Hf, Pb.

Распределение РЗЭ в «сланцах перебива» позволяет сделать заключение о возможном субстрате для их образования. По-видимому, породы этого типа, сопряженные с верхними частями диабазовых залежей, являются образованиями коры выветривания с участием последним. Этому не противоречит близкий состав РЗЭ в обоих типах пород (поскольку считается, что распределение РЗЭ относительно устойчиво в процессе гипергенеза [12]). «Сланцы перебива», образованные по диабазам (или при существенном участии их вещества) хорошо диагностируются просто по уровню суммы РЗЭ: в самих диабазах и сланцах по ним он составляет 50–80 г/т, тогда как во всех прочих разновидностях пород (сланцах бакальской свиты и сланцах без участия габброидов – пояснение) – существенно выше (150–300 г/т). Распределение РЗЭ в диабазах и ассоциированных с ними «сланцах перебива» характеризуется относительно низкой долей ЛРЗЭ: величина (La/Yb)_N варьирует, соответственно, в пределах 5–8 и 4–10. Напротив, отношение (La/Yb)_N в обычных темно-серых низкоуглеродистых глинистых сланцах бакальской свиты, при отсутствии ассоциации с диабазами, составляет 17–31, что близко к этому отношению в «сланцах перебива», расположенных над ними (около 30).

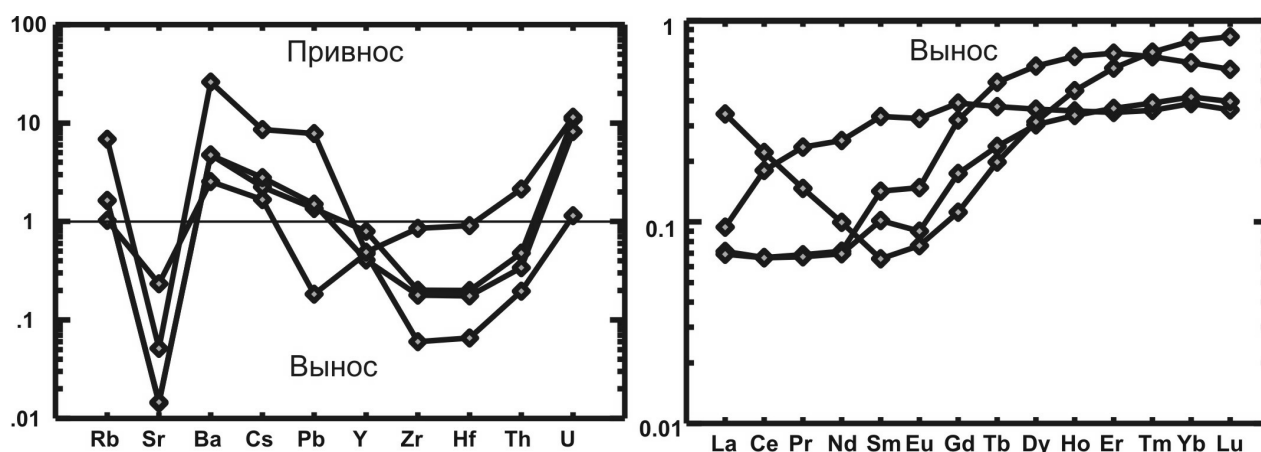


Рис. Распределение редких элементов в лиственитах, нормированное по диабазу Главной дайки (среднее из 6 анализов)

Отметим, что листвениты, образованные не по явно диагностируемым диабазам, а по ассоциированным с ними сланцам перемыва, практически не отличаются от тех, чьим эдуктом явно явились породы Главной дайки – и это тоже косвенно подтверждает «родство» диабазов и «сланцев перемыва», которые содержат значительную долю базитового материала в нижней (?) части разреза.

Относительно диабазов, «сланцы перемыва», явно содержащие их фрагменты, несколько обогащены Rb, Ba, Cs, Pb, Zr, U, что может отражать некоторую долю причастного к их образованию сиалического материала (бакальская свита), поскольку в тектонически ослабленной зоне при выветривании могли смешаться фрагменты диабазов и сланцев.

Таким образом, участие диабазов в процессах выветривания фиксируется образованием концентрических трещин, выполненных карбонатными минералами; следующим этапом стало формирование «сланцев перемыва» (глинистой коры выветривания), затем имела место лиственитизация. Эти преобразования, безусловно, внесли ряд изменений в химический состав эдуктов; тем не менее, по уровню содержаний и распределения РЗЭ можно их установить: участие в коре выветривания диабазов резко снижает сумму РЗЭ и долю легких в «сланцах перемыва». Величина $(La/Yb)_N$ может косвенно указывать на роль «магматической» составляющей основного состава в гипергенных процессах.

Литература

1. Алексеев А.А. Рифейско-вендский магматизм западного склона Южного Урала. М.: Наука, 1984. 136 с.
2. Викентьева О.В. Березовское золоторудное месторождение на Урале: геологическое строение, минералогическо-геохимические особенности и условия образования. Дисс....к. г.-м. н. Москва: МГУ, 2000. 184 с.
3. Гаррис М.А. Этапы магматизма и метаморфизма в доюрской истории Урала и Приуралья. М.: Наука, 1977. 295 с.
4. Ерохин Ю.В. Минералогия Баженовского офиолитового комплекса. Дисс....к. г.-м. н. Екатеринбург, 2006. 190 с.
5. Краснобаев А.А., Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Монтеро П. Цирконовый возраст габбро и гранитоидов Кусинско-Копанского комплекса (Южный Урал) // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 300–303.
6. Крупенин М.Т. Условия формирования сидеритонесной бакальской свиты нижнего рифея (Южный Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 1999. 256 с.
7. Маслов А.В., Крупенин М.Т., Ронкин Ю.Л. и др. РЗЭ, Cr, Th и Sc в глинистых сланцах типового разреза рифея как показатели состава и эволюции источников сноса // Литосфера. 2004. № 1. С. 70–112.
8. Парначев В.П., Ротарь А.Ф., Ротарь З.М. Среднерифейская вулканогенно-осадочная ассоциация Башкирского мегантиклинория (Южный Урал). Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 103 с.
9. Ронкин Ю.Л., Маслов А.В., Матуков Д.И., Лепихина О.П., Попова О.Ю., Лепихина Г.А. Бердяшский массив: 1350±10 млн. лет или древнее? // Ежегодник-2005. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2006. С. 310–314.
10. Сазонов В.Н. Лиственитизация и оруденение. М.: Наука, 1975. 171 с.

11. Сазонов В.Н., Викентьева О.В., Огородников В.Н. и др. РЗЭ в колонках пропилитизации, альбитизации, эйситизации и березитизации-лиственитизации пород различной кремнекислотности: эволюция распределения, причины и практическое значение // Литосфера. 2006. № 3. С. 108–124.
12. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М: Мир, 1988. 379 с.
13. Холоднов В. В., Феритатер Г.Б., Бородин Н.С., Шардакова Г.Ю., Прибавкин С.В., Шагалов Е.С., Бочарникова Т.Д. гранитоидный магматизм зоны сочленения Урала и Восточно-Европейской платформы (Южный Урал) // Литосфера. 2006. № 3. С. 3–28.
14. Яницкий А.Л., Сергеев О.П. Бакальские железорудные месторождения и их генезис. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 112 с.
15. Ernst R.E., Pease V., Puchkov V.N. et al. Geochemical characterization of Precambrian magmatic suites of the Southeastern margin of the East European craton, Southern Urals, Russia // Геологический сборник № 5. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2006. С. 119–161.

О некоторых общих закономерностях упругих свойств геологической среды

Кузин А. М.

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва, e-mail: amkouzin@yandex.ru

Уже много десятилетий проницаемые зоны земной коры и мантии привлекают к себе не ослабевающий интерес исследователей в различных разделах геологической науки. С ними непосредственно связаны процессы вулканизма, землетрясений и образования месторождений полезных ископаемых. В тоже время несопоставимо меньшее внимание уделяется изучению взаимосвязи этих процессов с механически жесткими геологическими образованиями. Они наблюдаются в диапазоне длин волн от сейсмологического (высокоскоростные зоны, прослеживаемые на глубины более 1000 км) до ультразвукового. Под всеми континентами в верхней мантии присутствуют высокоскоростные аномалии скорости, уходящие на глубину порядка 300–400 км и особенно четко фиксирующиеся под древними платформами. Их образование связывается с миграцией флюидных потоков (Н.И. Павленкова, 2006).

Блоковость строения земной коры еще 80-е годы прошлого столетия была доказана Г.В. Краснопевцевой и Ю.К. Щукиным для нефтеносных областей и районов повышенной сейсмичности по значениям отклонений времен прихода первых волн в методе ГСЗ.

Анализ и обобщение данных позволили прийти к выводу о фундаментальной роли механически жестких образований в геологических процессах: – на нефтеносных и рудоносных блоках фиксируются нетехногенные землетрясения (А.В. Егоркин 1996); – большинство очагов землетрясений расположено на границе жестких блоков (Н.В. Шебалин, 1976); – все месторождения флюидного генезиса залегают на жестких образованиях или на их границах (А.М. Кузин, 1994).

Физической основой для объяснения этой роли может служить геомеханическая модель «твердого тела со структурой» (В.Н. Родионов, И.А. Сизов, 1986). Помимо процессов накопления и диссипации упругой энергии при высокой скорости деформации происходит увеличение жесткости твердого тела, а в некоторых случаях, и увеличение его эффективной прочности, обеспечивающей его устойчивость по отношению к волнам деформаций и напряжений. В статическом состоянии жесткое тело формирует разность вертикальных напряжений между его кровлей и подошвой, что создает термодинамический градиент и, соответственно, миграционный потенциал для флюидных потоков вдоль граничной зоны жесткого тела и вмещающей среды.

Эти свойства жесткого тела позволяют объяснить миграцию магматических каналов. Из анализа данных сейсмической томографии (Л.Б. Славина и др., 2001, В.Б. Пийп и Р.М. Гылызов, 2005) магматические каналы расположены на периферии области низкой скорости и тяготеют к границам высокоскоростных блоков. При этом нужно отметить, что в одном случае это континентальный тип коры, в другом океанический.