
Минералогия, петрология

УДК 549.623+549.903.9(571.5)

<https://doi.org/10.26516/2541-9641.2021.1.16>

Инфильтрация глин в поры и каверны неогеновых базальтов Восточного Саяна

И.С. Чувашова^{1,2}, Р. Алокла^{1,3}, С.В. Рассказов^{1,2}

¹*Иркутский государственный университет, Иркутск*

²*Институт земной коры СО РАН, Иркутск*

³*Университет Алеппо, Алеппо, Сирия*

Аннотация. Глинистые миндалины маркируют проницаемые пористые пограничные части базальтовых потоков. Слабое проникновение вод выражается в локальном распространении минералов смектит-сепиолитового состава с примесью галлуазита и полигорскита. Усиление инфильтрационного эффекта вод с полным заполнением пор и каверн базальтовых слоев таким же глинистым материалом сопровождается входением примеси гетита. Зрелая кора выветривания, развитая по неогеновым базальтам, характеризуется смектит-гетитовым составом при отсутствии сепиолита. Предполагается, что скрытая глинистая минерализация проницаемых базальтовых слоев отражается в удревнении датировок в К-Аг изотопной системе и искажении первичных геохимических характеристик вулканических пород.

Ключевые слова: глинистые минералы, смектит, сепиолит, галлуазит, полигорскит, гетит, базальт.

Infiltration of clay into pores and cavities of Neogene basalts from Eastern Sayans

I.S. Chuvashova^{1,2}, R. Alokla^{1,3}, S.V. Rasskazov^{1,2}

¹*Irkutsk State University, Irkutsk, Russia*

²*Institute of Earth's Crust SB RAS, Irkutsk, Russia*

³*University of Aleppo, Aleppo, Syria*

Abstract. Clay tonsils mark permeable porous boundaries of basaltic flows. Poor penetration of water is expressed in local occurrence of smectite-sepiolite tonsils with admixtures of halloysite and polygorskite. Increasing water infiltration that results in complete filling of pores and cavities in basalts by the same clay minerals is accompanied by the entry of a goethite admixture. Mature weathering crust on basalts is characterized by smectite-goethite composition without sepiolite. The cryptic clay mineralization of permeable basalt layers might result in overestimating ages in K-Ar system and distortion of primary geochemical signatures of volcanic rocks.

Keywords: clay minerals, smectite, sepiolite, halloysite, polygorskite, goethite, basalt.

Введение

Гипергенные процессы, развивающиеся в неогеновых базальтах юга Восточной Сибири, обычно выражаются в новообразовании арагонита, кальцита, сидерита, монтмориллонита и цеолитов. Оливин замещается боулингом или иддингситом, плагиоклаз — пренимом, вулканическое стекло — палагонит-хлорофейтовым веществом (Белов, 1963). Уникальная находка каолинита и гидраргиллита в базальтах, вскрытых скважинами на Еловском отроге Тункинской долины, интерпретировалась как показатель их палеоценового хемогенного латеритного выветривания (Волоколаков, Хлыстов, 1967; Хлыстов, Дехтярева, 1970). Характер распределения новообразованных минералов в предполагаемой коре выветривания по базальтам в цитированных работах, однако, не обозначен. Осталось неясным, действительно ли новообразованные минералы замещали базальтовый субстрат в результате его гипергенного площадного преобразования в условиях палеоценового климатического оптимума или глинистый материал был привнесен в базальты из коры выветривания или осадочного слоя посредством инфильтрации? Если действовал механизм просачивания водных растворов, каолинит и гидраргиллит не могут истолковываться как результат непосредственного развития глинистой минерализации по базальтовому субстрату, а представляют собой переотложенный материал.

В настоящей работе исследуется состав глинистых минералов, отложившихся в порах и кавернах неогеновых базальтов Восточного Саяна. Общая характеристика этих находок приведена в сборнике статей (Рассказов и др., 1991). Глинистый материал миндалин не был производным площадного гипергенного изменения базальтового субстрата на земной поверхности, а служил показателем отложения глинистого вещества водными растворами, просочившимися между базальтовыми слоями.

1. Аналитические методы

Глинистый материал из базальтов изучался в аналитическом центре Института земной коры СО РАН с использованием четырех методов: рентгеновского, термического анализа, электронной микроскопии и химического анализа.

Рентгеновские исследования состава глиен выполнены с использованием камеры РКД 57.3 мм (аналитик З.Ф. Ущиповская).

Термический анализ проведен на дериватографе венгерского производства Q-I500 Д системы F. Paulik, J. Paulik, L. Erdey (аналитик Н.В. Нартова). Условия съемки: чувствительность гальванометров ДТА-250; ДТГ-500; ТГ-100, 50; навеска — 140–150 мг; скорость нагрева 10°/мин; инертное вещество — прокаленная окись алюминия. Анализ проводился в платиновых тиглях в воздушной среде. Полученные термограммы сравнивались с опубликованными (Термический..., 1974; Гинзбург, Рукавишникова, 1951; Differential..., 1970).

Электронно-микроскопические исследования выполнены под электронным микроскопом ЭМВ-100 ЛМ (аналитик Г.А. Тихонова). Материал раздавливался пестиком агатовой ступки в дистиллированной воде. Полученная суспензия обрабатывалась ультразвуком в течение 1 мин на диспергаторе УЗДН-2Т. Затем капля устойчивой суспензии наносилась на сетку-объектодержатель с коллодиевой опорной пленкой. Непосредственного определения состава микрофаз не проводилось, но об их составе можно было судить по аналогии с известными определениями характерных форм микрочастиц.

Химический состав глинистого материала и вмещающих вулканических пород определялся методом «мокрой химии» (аналитики: Т.А. Лахно, Т.И. Елизарьева, Н.И. Яковенко). Содержания элементов группы железа, бария и стронция определены спектральным методом (аналитик Т.И. Елизарьева).

2. Распределение глинистых миндалин в разрезах вулканических толщ

Глинистый материал стеклоподобного облика обнаружен в виде миндалин заполнения пор и каверн. Его окраска меняется от темно-болотной до буровато-черной.

Материал имеет небольшую твердость и царапается ногтем. Излом поверхности миндалин раковистый.

Глинистый материал заполняет отдельные пустоты в пористокавернозной подошве нижних лавовых потоков вулканической толщи и встречается в средней-верхней части разреза лавовых слоев.

Пример разреза первого типа — толща г. Малахайта, расположенная на Китайских гольцах в левом борту р. Самарта. Пример разреза второго типа — толща, залегающая в палеодолине севернее пос. Боксон, в междуречье Урда-Боксона и Мангат-Гола (рис. 1).

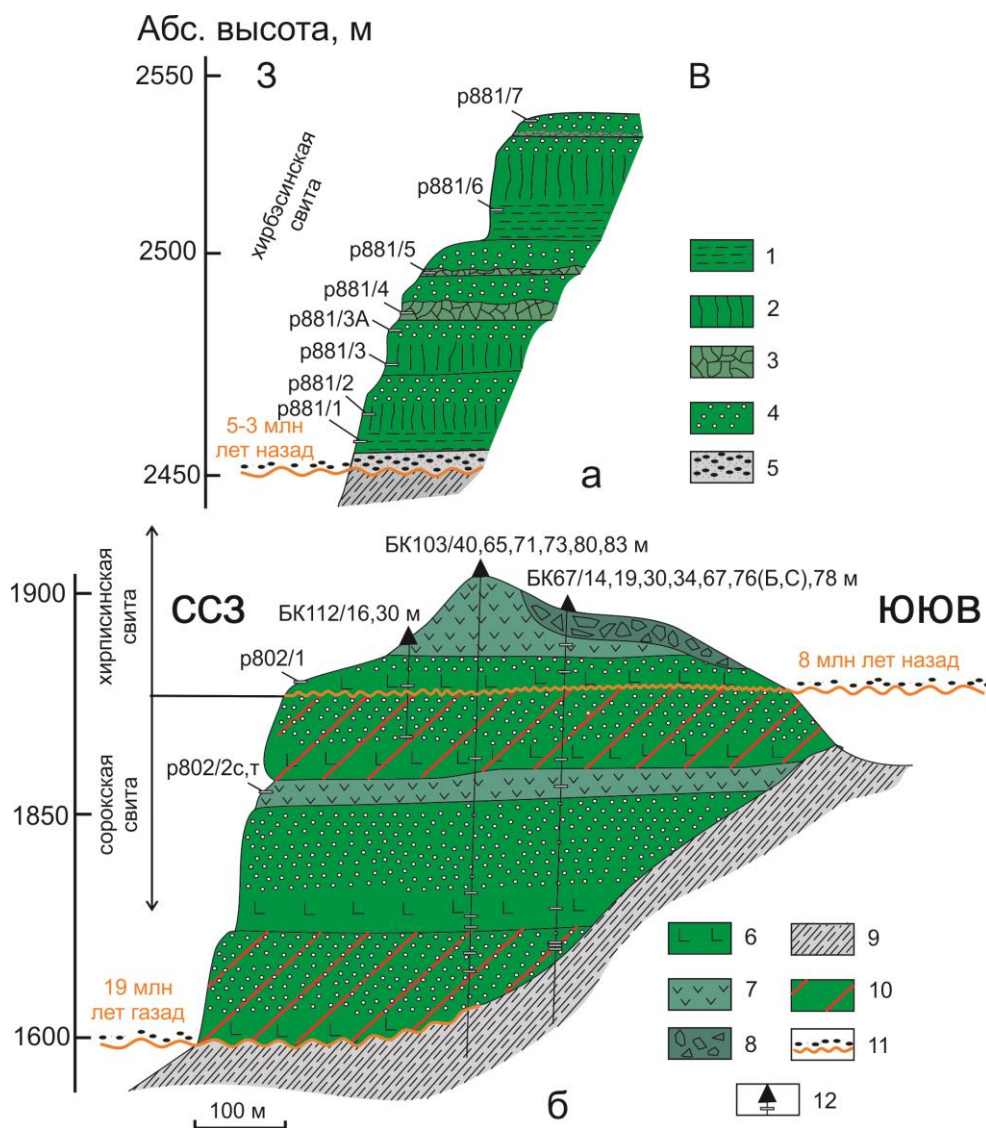


Рис. 1. Разрезы базальтов г. Малахайта (а) и междуречья Урда-Боксона и Мангат-Гола (б).

1–3 – типы отдельности в потоках щелочных оливиновых базальтов: 1 – толстоплитчатая, 2 – толстостолбчатая, 3 – крупноглыбовая; 4 – пористый базальт; 5 – валунный галечник; 6 – массивный оливиновый толеит; 7 – щелочной оливиновый базальт; 8 – элювий; 9 – порода фундамента; 10 – горизонт выветрелых пород с глинистыми миндалинами; 11 – уровень эрозионного расчленения в процессе развития довулканического и вулканического рельефа; 12 – скважина.

Fig. 1. Sections of the Malakhayta mountain (а) and Urda-Bokson–Mangatgol watershed (б).

1–3 – joints in an alkaline olivine basalt flow: 1 – thick plate, 2 – thick columnar, 3 – large block; 4 – porous basalt; 5 – boulder pebbles; 6 – massive olivine tholeiite; 7 – alkaline olivine basalt; 8 – eluvium;

9 – basement rock; 10 – horizon of weathered rocks with clay tonsils; 11 – level of erosional dissection in the development of pre-volcanic or volcanic terrain; 12 – well.

В основании лавовой толщи горы Малахайта находится 4-метровая линза валунных галечников. Перекрывающие ее слои темно-серых базальтов имеют мощность 76 м. Отдельные потоки состоят из нижней массивной части с небольшим количеством газовых пустот в подошве и более пористой кровли. Нижний 17-метровый поток обладает толсто плитчатой (0–5 м) и толстостолбчатой (5–13 м) отдельностью. Выше по разрезу мощность потоков последовательно уменьшается, исчезает плитчатая отдельность, затем толстостолбчатая отдельность сменяется крупноглыбовой. Снизу вверх последовательно возрастают отношения толщины пористой подкровельной части к массивной части потока и составляют (здесь и далее мощность слоев в м): 4:13, 5:3, 5:5, 6:1. Затем вновь залегает мощный (23-метровый) поток с плитчатой и толстостолбчатой отдельностью (отношение пористой части к массивной 3:20). Толщу венчают более пористые лавы с отношением пористой части к массивной 4:2. В целом по характеру смены пористости лавовых слоев в разрезе вулканической толщи выделяется две фазы вулканизма, начинавшихся излияниями крупных порций лав без отделения летучих компонентов с постепенным уменьшением продуктивности вулканизма и возрастанием пористости. Состав всех базальтовых потоков горы Малахайта *ne*-нормативный (щелочно-оливин-базальтовый). Толща относится к плиоценовой хирбэсинской свите.

Глинистые миндалины отмечены только в подошве нижнего лавового потока этого разреза, зафиксировавшего плиоценовый эрозионный врез (5–3 млн лет назад). Другие новообразования аутигенных минералов не встречены. В глинистых минералах образуется периферическая смоляно-черная корочка толщиной 1–2 мм. В некоторых пустотах глинистый материал отсутствует, но корочка сохранилась, что может быть следствием частичного вымывания глинистого материала.

Севернее пос. Боксон скважинами вскрыта вулканическая толща мощностью около 100 м. В ней переслаиваются лавы *hy*-нормативных и *ne*-нормативных (щелочных оливиновых) базальтов. Два нижних потока сложены сильно пористыми серыми *hy*-нормативными базальтами с отношениями пористой части к массивной 6:2 и 9:11. Выше них залегает 7-метровый поток массивных, местами полосчатых темно-серых щелочных оливиновых базальтов. Затем вновь следуют два потока существенно пористых *hy*-нормативных базальтов, перекрытых потоком массивных щелочных оливиновых базальтов. В потоках *hy*-нормативных базальтов отношения пористых частей к массивным составляют 10:7 и 5:3.

Четыре нижних потока боксонского разреза относятся к сорокской свите, два верхних потока — к хирписинской. Базальты сорокской свиты фиксировали уровень эрозионного расчленения территории (около 20–19 млн лет назад), базальты хирписинской свиты — уровень позднего миоцена (около 8 млн лет назад) (Расказов, 1993). Потоки хирписинской свиты перекрыли лавовые слои сорокской свиты. При отсутствии линз осадочных отложений между свитами перерыв между ними фиксируется горизонтом выветрелых пород, получившим развитие в кровле сорокской свиты, наряду с горизонтом выветрелых пород в ее основании.

В самом нижнем потоке базальтов на темно-сером фоне, отчетливо выделяются светло-серые пятна выветрелых пород. Базальтовый поток кровли свиты претерпел более сильные гипергенные изменения с окислением железа. Его верхняя 6-метровая сильно пористая часть приобрела бордовую окраску.

В нижнем и верхнем горизонтах выветривания глинистый материал заполняет отдельные поры и каверны. В нижнем горизонте серых выветрелых базальтов глинистые миндалины редки. Их количество

резко возрастает в верхнем горизонте бордовых пористых базальтов. Размеры каверн, полностью выполненных глинистым материалом, достигают 3 см. В крупных кавернах находятся зональные минеральные выполнения с глинистой периферией и арагонитовой центральной частью. В таких миндалинах отмечаются сложные прорастания глинистого материала арагонитовыми кристаллами. Арагонит присутствует в базальтовых порах по всему разрезу.

3. Результаты аналитических исследований

По одной малахайтинской и двум боксонским миндалинам получены рентгеновские порошкограммы. Согласно расчету и анализу всех трех рентгенограмм выделяется одна глинистая фаза триоктаэдрического типа группы смектита: $d_{(060)}=1.530\text{Å}$. При насыщении этиленгликолем материал разбухал. Отражение (001) увеличивалось от 14.03Å до 16.3Å . Хорошо видно отражение второго порядка 8.2Å . При нагревании до $580\text{ }^\circ\text{C}$ происходила дегидратация со сжатием решетки, отражение (001) уменьшалось до 9.6Å .

Химические анализы материала из трех каверн бордового боксонского базальтового слоя показывают их неоднородный состав (таблица) Содержания магния, алюминия и железа приблизительно сопоставимы между собой. С увеличением концентраций железа заметно возрастают содержания P_2O_5 , TiO_2 , Ni, V, снижаются концентрации SiO_2 . Миндалины из подошвы малахайтинского разреза отличаются низкими содержаниями железа, кобальта, никеля, ванадия и более высокими — магния, алюминия, титана, кремнезема. В них меньше потери при прокаливании.

Расчеты кристаллохимических формул на 20 атомов кислорода и 4 анионных группы (ОН) показывают общее число ионов в шестерной координации, близкое к 6.00. Это свойственно триоктаэдрическим смектитам. Полученные значения изменяются в интервале 6.370–6.470. Отклонения

в расчетных значениях от 6.00 свидетельствуют о присутствии в составе глинистого материала, наряду со смектитами, других минеральных фаз. В связи с этим необходимо также отметить более высокие расчетные значения Al^{VI} , по сравнению с Al^{IV} , что не позволяет говорить о балансе зарядов. Подобные по составу и термическим эффектам (см. далее) глинистые образования были описаны в юрских осадках Северного Кавказа как «магнезиальные парагаллазиты» (Сердюченко, 1953). Как и в саянских глинистых миндалинах, баланс зарядов в кристаллохимической формуле этих образований не соблюдается (Рентгеновские..., 1965).

Рентгеноаморфные фазы в миндалинах выявляются при их исследованиях методом термического анализа. Из бордовых боксонских базальтов исследовались две миндалины (термограммы 1 и 2, рис. 2) и из нижней части базальтового останца р. Дибь — одна миндалина (термограмма 3). Для сравнения исследовался материал зрелой коры выветривания (термограмма 4).

Термограмма первого образца характеризуется четырьмя эндотермическими и одним экзотермическим эффектами, которые указывают на присутствие, по крайней мере, трех фаз. Низкотемпературный эндоэффект в интервале температур 40–120 $^\circ\text{C}$ довольно интенсивный, с потерей веса 11.88 %, обусловлен выделением адсорбционной и межпакетной воды из смектита и сепиолита. Небольшой эндоэффект 255–295 $^\circ\text{C}$ с потерей веса 1.75 % вызван примесью гетита. Эндоэффект в интервале температур 390–490 $^\circ\text{C}$ связан с выделением 4.2 % конституционной воды и разрушением структуры минерала группы смектита. Небольшой эндоэффект при температуре 810–830 $^\circ\text{C}$ с потерей веса 0.7 %, резко переходящий в эндоэффект при 865 $^\circ\text{C}$, принадлежит сепиолиту. Экзоэффект соответствует образованию новых фаз. Общая потеря веса образца составляет 18.53 %.

Химический состав глинистых миндалин

Образец	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂ , мас. %	37.91	38.54	35.27	44.86	45.8	45.45	49.09	41.69	46.34	32.31	39.61	35.06
TiO ₂	0.18	0.16	0.29	2.46	2.50	2.53	2.38	0.34	2.59	1.69	1.69	0.99
Al ₂ O ₃	12.75	9.00	11.40	14.95	14.95	14.85	15.16	13.50	14.70	12.20	14.52	22.20
Fe ₂ O ₃	10.81	13.51	14.19	8.15	7.21	4.48	2.58	5.86	3.10	26.30	18.65	29.80
FeO	0.08	0.26	0.41	3.10	4.61	6.23	8.18	Н.о.	8.56	1.89	1.61	4.33
MnO	0.55	0.09	0.15	0.13	0.16	0.11	0.14	0.05	0.13	0.20	0.22	1.00
MgO	11.30	12.83	11.51	8.02	8.16	8.22	7.25	14.56	9.02	1.96	2.54	1.83
CaO	2.75	3.00	3.00	8.50	6.27	8.33	8.43	2.90	8.35	2.50	1.63	1.80
Na ₂ O	0.08	0.10	0.05	2.17	2.61	2.86	3.50	0.08	3.55	0.45	1.03	0.45
K ₂ O	0.04	0.06	0.06	1.58	1.70	1.48	1.46	0.10	2.07	0.57	1.18	1.30
H ₂ O-	9.56	9.89	10.10	1.33	1.55	1.09	0.40	10.04	0.27	8.32	6.85	0.24
H ₂ O+	13.95	12.16	12.30	4.17	4.37	3.29	1.11	10.48	1.05	11.74	10.71	1.17
P ₂ O ₅	0.18	0.82	1.22	0.64	0.63	0.55	0.54	0.37	0.71	0.47	0.45	0.47
Сумма	100.14	100.42	99.95	100.06	100.52	99.47	100.22	99.97	100.44	100.51	100.69	100.64
Yi	22	20	23	14	13	7	8.8	Н.о.	8	17	19	35
Rb	4	4	2.1	20	18	20	16	Н.о.	18	9.4	46	45
Co	130	140	150	48	91	65	69	38	47	Н.о.	Н.о.	54
Ni	200	230	300	400	310	170	166	110	200	Н.о.	Н.о.	210
Sc	Н.о.	Н.о.	Н.о.	23	25	20	22	10	15	Н.о.	Н.о.	26
V	62	57	93	170	190	200	185	35	170	Н.о.	Н.о.	220
Cr	Н.о.	Н.о.	Н.о.	200	250	200	170	Н.о.	180	Н.о.	Н.о.	150
Ba	130	Н.о.	Н.о.	590	220	290	420	Н.о.	260	Н.о.	Н.о.	200
Sr	Н.о.	Н.о.	Н.о.	700	480	780	724	Н.о.	510	Н.о.	Н.о.	420

Примечание. 1–3 — миндалины из бордового базальтового слоя боксонского разреза; 4 — вмещающая порода (обр. БК67/30); 5–6 — здесь же серые выветрелые базальты с миндалинами (обр. БК103/80.83); 7 — среднее 20 анализов неизменных базальтов р. Боксон; 8 — миндалины из подошвы щелочно-оливин-базальтового потока г. Малахайта; 9 — плотная плитчатая неизменная часть потока, образец р88I/1; 10–11 — охристая глина коры выветривания по пористым базальтам р. Боксон, образцы 273/24 и 271/41; 12 — оплавленные аргиллиты западнее оз. Саган-Нур, образец р822. Н.о. — не обнаружено. Пределы обнаружения: Sc — 10 мкг/г, Cr — 40 мкг/г, Sr — 80 мкг/г.

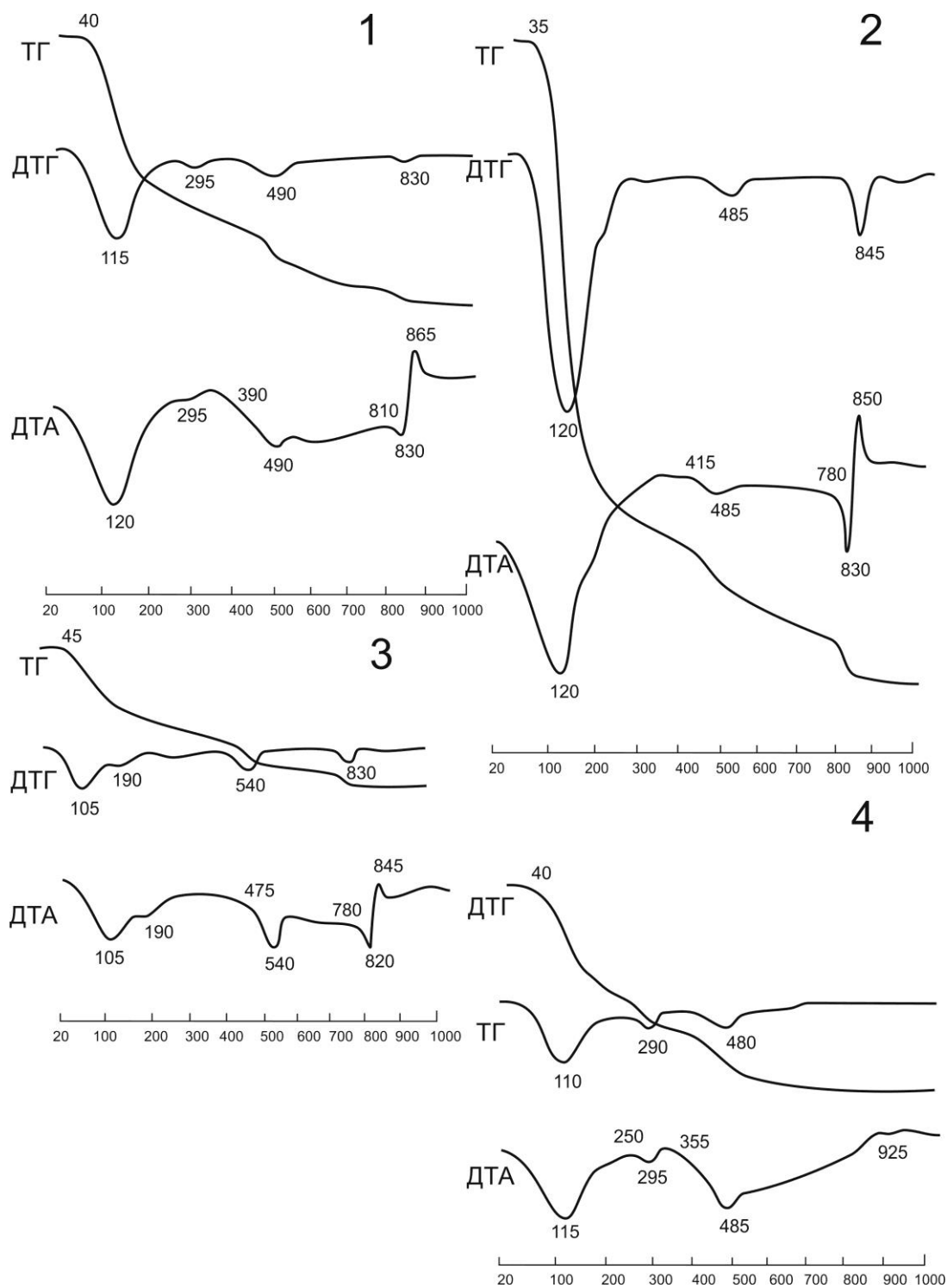


Рис. 2. Термограммы глинистого материала.

1–2 – две миндалины из бордовых боксонских базальтов; 3 – миндалины из подошвы базальтового потока р. Дибь; 4 – зрелая кора выветривания (район пос. Боксон).

Fig. 2. Thermograms of clay material.

1–2 – two tonsils from the bordeaux Bokson basalts; 3 – the one from the foot of the Dibi River basalt flow; 4 – mature weathering crust in the Bokson area.

Термограмма второго образца из бордовых боксонских базальтов в общем подобна термограмме первого образца. Низкотемпературный эндоэффект 30–120 °С более интенсивный, с небольшим перегибом в высокотемпературной части, связан с большой потерей веса (17.3 %). Гетитовый эндоэффект отсутствует. Эндоэффект 415–485 °С небольшой, пологий, с выделением конституционной воды (2.83 %). Сепиолитовые эндо- и экзоэффекты более выразительны. Эндоэффект асимметричной формы протекает в узком температурном интервале 780–830 °С с потерей веса 1.5 %, экзоэффект — при 850 °С. В прокаленном материале (до 1000 °С) на рентгеновских порошкограммах определены новообразованные энстатитовые и гематитовые фазы. Общая потеря веса по сравнению с первым образцом увеличивается (до 21.63 %). На основании термограммы можно сделать вывод об относительном увеличении в образце количества сепиолитовой фазы.

Образец миндалины из нижней части базальтового останца р. Дибь по фазовому составу близок к первым двум образцам миндалин из бордовых боксонских базальтов, но имеет ряд особенностей. На фоне основного низкотемпературного эндоэффекта 35–105 °С возникает дополнительный эндоэффект 160–190 °С. Потеря веса, связанная с этими двумя эндоэффектами, составляет 7.85 %. Эндоэффект выделения конституционной воды и разрушения структуры (2.14 %) более четко выражен и смещен в сторону высоких температур (475–540 °С). Это, возможно, связано с увеличением содержания магния и уменьшением — железа (см. таблицу). Присутствуют принадлежащие сепиолиту эндоэффект 750–820 °С с потерей веса 0.72 % и экзоэффект 845 °С. Общая потеря веса — 18.53 %.

Термограмма четвертого образца (зрелая кора выветривания) характеризуется четко проявленными смектитовыми и гетитовыми эффектами и отсутствием сепиолитовых эффектов.

Низкотемпературный эндоэффект в интервале 35–115 °С связан с небольшой потерей веса (7.66 %). Гетитовый эндоэффект небольшой (в интервале 250–295 °С) с потерей веса 2 %. Эндоэффект выделения конституционной воды — 4 % в интервале 355–485 °С.

Эндоэффект 890–925 °С слабый, нечеткий, без потери веса. Общая потеря веса образца коры выветривания по сравнению с образцами миндалин уменьшается до 13.66 %.

В целом по результатам термического анализа в составе миндалин диагностируются смектит и сепиолит. В боксонских миндалинах в качестве примеси появляется гетит. Последняя фаза присутствует, наряду со смектитом, в зрелой коре выветривания. Сепиолит в ней не обнаружен.

Неоднородный фазовый состав глинистых миндалин подтверждается изучением морфологии микрочастиц под электронным микроскопом.

В образце из горизонта бордовых боксонских базальтов выделяются три группы частиц: 1) мельчайшие (меньше 0.1 мкм) изометричные полупрозрачные чешуйки и их агрегаты; 2) очень плотные мелкие (меньше 0.1 мкм) округлые частицы с резкими краями; 3) аморфные корочки переменной толщины. Частицы первой группы могут относиться к сапониту, а их агрегаты — и к сапониту, и к монтмориллониту. Частицы второй и третьей групп, возможно, относятся к сепиолиту. Вид таких частичек охарактеризован в работах (Чухров, 1955; Рентгеновские..., 1965).

С образца была снята углеродная реплика. С поверхности обломка миндалины извлечены плотные мелкие (0.1–0.2 мкм) частички прямоугольной формы. Подобные микрочастицы были определены в желваках гравелистых фосфоритов как апатитовые (Мирахмедов, 1987). Присутствию микровключений апатита не противоречат широкие вариации содержания P_2O_5 в миндалинах (см. таблицу).

В малахайтинской глинистой миндалине, так же как в боксонской, присутствуют мельчайшие (меньше 0.1 мкм) чешуйки и их агрегаты, которые представляют собой главную смектитовую фазу и β -сепиолит. Однако здесь появляется новая фаза — хлопьевидные агрегаты различной формы и размеров. При малой толщине просматривается их волосовидное строение, обычно свойственное коллоидам.

Исследование смоляно-черной каемки вокруг этой миндалины показало присутствие, наряду с морфологическими группами частиц ее центральной части, еще трех групп частиц. Появляются трубочки длиной 1.5

мкм и менее и диаметром 0.1–0.4 мкм, похожие на описанные минеральные фазы группы галлуазит–метагаллуазит (Чухров, 1955). Другой новый тип микрочастиц — резко удлиненные (до 10 мкм) очень тонкие (меньше 0.1 мкм) иголки, которые можно отнести либо к палыгорскиту, либо к сепиолиту. Наконец, выделяется переходный тип микрочастичек между хлопьевидными агрегатами коллоидного типа и галлуазитовыми трубочками. В коллоидных агрегатах зарождаются тонкие пластинки. Такие же пластинки причленены к трубочкам, образуя на них как бы незавершенный верхний слой.

4. Обсуждение и заключение

Нижние части разрезов вулканических пород часто сложены измененными базальтами черного цвета, иногда анамезитовыми. В шлифах признаки вторичных изменений не устанавливаются. В образцах таких пород определяются высокие концентрации избыточного 40Ar неясного происхождения. Выявленные признаки явной инфильтрации водных растворов с привнесом глинистых минералов свидетельствуют о вероятном скрытом распространении этого процесса. Внешне монолитные (но на самом деле тонкопористые) проницаемые базальты могут содержать глинистую минерализацию искажающую не только содержания радиогенного 40Ar , но и концентрации компонентов первичного состава вулканических пород, содержащихся в привнесенных глинистых минералах.

На примере приведенного боксонского разреза ясно, что эффекты инфильтрационного проникновения глин в проницаемый базальтовый субстрат могут проявиться и в вышележащих слоях, если в процессе затопления территории лавами базис эрозии становится выше и речными долинами расчленяют только верхние лавовые слои. Уровень распространения гипергенных процессов с инфильтрационным внедрением глин служит показателем такого высокого положения базиса эрозии.

По сравнению с неизменными базальтами, породы горизонтов с глинистыми

миндалинами обладают повышенной окисленностью железа, обеднены кремнеземом, натрием, обогащены летучими компонентами, фосфором, рубидием и никелем. Наиболее существенные отличия от неизменных пород по содержаниям этих компонентов дает химический состав бесструктурных глинистых продуктов выветривания базальтов. Они сопоставляются по составу со стеклом из оплавленных нижнеплиоценовых аргиллитов (горельников), образующих слой на поверхности останца озерных отложений западнее оз. Саган-Нур. В отличие от глин, в стекле содержится мало воды и других летучих компонентов и возрастают содержания алюминия, калия и марганца (см. таблицу). Глинистый материал прокаливался подобно глинистому материалу горельников, обнаруженных на Приикатской тектонической ступени Баргузинской впадины (Рассказов и др., 2016).

Сравнивая составы глинистых миндалин и базальтов (рис. 3), убеждаемся, что появление миндалин отражает общую направленность перераспределения компонентов в процессе гипергенных изменений пород. Вариации состава миндалин зависят от геологических условий образования глинистого материала.

Слабое выветривание приводит к локальному распространению миндалин, которые вымываются или претерпевают изменения при более поздних процессах образования арагонита. Фазовый состав миндалин смектит-сепиолитовый, появляются другие фазы (галлуазит, польгорскит).

Более интенсивное выветривание способствует увеличению концентраций глинистого материала в порах, образование которого сменяется развитием арагонита. Состав глинистых миндалин в общем остается таким же, как при слабом выветривании. Изменяется компонентный состав фаз–примесей. Появляется гетит. Зрелая кора выветривания базальтов имеет смектит-гетитовый состав.

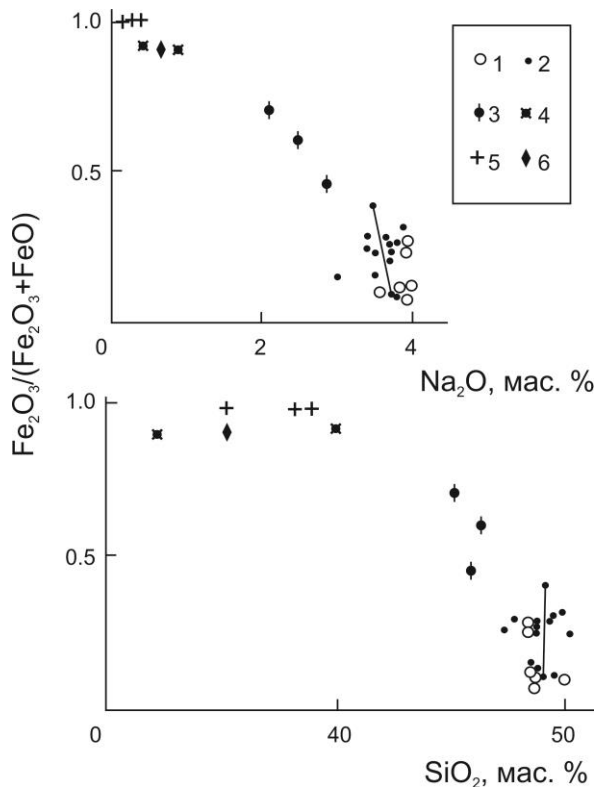


Рис. 3. Диаграммы $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+FeO) - SiO_2, Na_2O$ в базальтах и глинистом материале.

1–2 – неизменные вулканические породы: 1 – щелочной оливиновый базальт, 2 – *hy*-нормативный базальт (сплошной линией соединены составы светло-серой породы со слабой окисленностью железа и темно-серой более окисленной корочки выветривания); 3–4 – измененные породы: 3 – базальт с глинистыми миндалинами, 4 – зрелая кора выветривания; 5 – глинистая миндалина; 6 – стекло из оплавленной осадочной породы (см. текст).

Fig. 3. Diagrams $Fe_2O_3/(Fe_2O_3+FeO)$ vs. SiO_2, Na_2O for basalts and clay material.

1–2 – unaltered volcanic rocks: 1 – alkaline olivine basalt, 2 – *hy*-normative basalt (solid line connects data points of a light gray rock with weak oxidation of iron and a dark-gray more oxidized weathering ream); 3–4 – altered rocks: 3 – host basalt of clay tonsils, 4 – mature weathering crust; 5 – clay tonsil; 6 – glass from melted sedimentary rock (see text).

5. Благодарности

Работа выполнена в Китайско-Российском исследовательском центре Удаляньчи–Байкал по новейшему вулканизму и окружающей среде, грант № P162011012 и грант научно-исследовательского фонда Академии наук провинции Хэйлуцзян КНР (2016 г.) при

частичном финансировании РФФИ, грант 17-05-00808.

Литература

Белов И.В. Трахибазальтовая формация Прибайкалья. 1963. — 372 с.

Волколаков Ф.К., Хлыстов П.А. О наличии гидраргиллита в палеогеновой (?) коре выветривания Тункинской впадины // Материалы по геологии и полезным ископаемым Бур. АССР. — Вып. II. Улан-Удэ, 1967. — С. 51–53.

Гинзбург И.И., Рукавишников И.А. Минералы древней коры выветривания Урала. — М., 1951. — 715 с.

Мирахмедов М. Вещественный состав желваково-гравелистых фосфоритов // Зап. Узб. отдел. ВМО, 1987. — Вып. 40. — С.134.

Рассказов С.В. [и др.] Пирокластика как показатель поднятия Икатского хребта относительно Баргузинской впадины Байкальской рифтовой зоны // География и природные ресурсы, 2016. — № 5. — С. 117–127.

Рассказов С.В. Магматизм Байкальской рифтовой системы — Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. — 288 с.

Рассказов С.В., Тихонова Г.А., Нартова Н.В. О находках глинистых миндалин в неогеновых базальтах Восточного Саяна // Прикладная минералогия Восточной Сибири. — Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1992. — С. 168–181.

Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов / Под ред. Г. Брауна. — М., 1965. — 599 с.

Сердюченко Я.П. Магнезиальные парагаллуазиты и другие монтмориллонитовые минералы из юрских осадков на Северном Кавказе // Вопр. петрографии и минералогии, 1953. — Т. 2. М. — С. 100–122.

Термический анализ минералов и горных пород. — Л., 1974. — 399 с.

Чухров Ф.В. Коллоиды в земной коре. — М., 1955. — 586 с.

Хлыстов П.А., Дехтярева Л.В. Основные этапы мезо-кайнозойского выравнивания и корообразования в Западном Забайкалье // Мат-лы по геол. и полезн. ископ. Бурятской АССР. — Вып. XIII. — Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1970. — С. 50–57.

Differential thermal analysis.— Vol. 1. L. N.-Y.: Academic press. 1970.— 775 p.

Чувашова Ирина Сергеевна,

кандидат геолого-минералогических наук,
664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет,
геологический факультет,

доцент,

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

старший научный сотрудник,

тел.: (3952) 51-16-59,

email: chuvashova@crust.irk.ru.

Chuvashova Irina Sergeevna,

Candidate of Geological and Mineralogical
Sciences,

664003 Irkutsk, Lenin str., 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Assistant Professor,

664033 Irkutsk, Lermontov str., 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Senior Researcher,

tel.: (3952) 51-16-59,

email: chuvashova@crust.irk.ru.

Алокла Рияд,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,
Иркутский государственный университет,
геологический факультет,

аспирант,

Сирия, город Алеппо www.alepuniv.edu.sy,

Университет Алеппо,

преподаватель,

email: riyad.198762@gmail.com.

Alokla Riyadh,

664003 Irkutsk, Lenin str., 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,
graduate student,

Syria, Aleppo city www.alepuniv.edu.sy,

University of Aleppo,

teacher,

email: riyad.198762@gmail.com.

Рассказов Сергей Васильевич,

доктор геолого-минералогических наук,
профессор,

664003 Иркутск, ул. Ленина, д. 3,

Иркутский государственный университет,

геологический факультет,

заведующий кафедрой динамической геоло-
гии,

664033 Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128,

Институт земной коры СО РАН,

заведующий лабораторией изотопии и гео-
хронологии,

тел.: (3952) 51-16-59,

email: rassk@crust.irk.ru.

Rasskazov Sergei Vasilyevich,

Doctor of Geological and Mineralogical Sci-
ences, Professor,

664003 Irkutsk, Lenin str., 3,

Irkutsk State University, Faculty of Geology,

Head of the Dynamic Geology Chair,

664033 Irkutsk, Lermontov Str., 128,

Institute of the Earth's Crust SB RAS,

Head of the Laboratory for Isotopic and Geo-
chronological Studies,

tel.: (3952) 51-16-59,

email: rassk@crust.irk.ru.
