

УДК 552.11:552.323.5(574.3)

М. М. СТЕЦЮРА¹

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПЕТРОГЕНЕЗИСА БАЗАЛЬТОВ АКШАТАУСКОЙ СТРУКТУРНО-ФОРМАЦИОННОЙ ЗОНЫ

Ақшатай белдеміндегі (Шығыс Қазақстан) Балқыбек тастопшасының базальтарын көп санда алғаш рет петрохимиялық коэффициенттерін анықтау жолымен олардың петрогенезисін реконструкциялау мақсатында терен петрохимиялық талдаулар келтірілген.

Проведен глубокий петрохимический анализ базальтоидов балкыбекской свиты Акшатауской зоны (Восточный Казахстан) путем определения впервые большого числа петрохимических коэффициентов с целью реконструкции их петрогенезиса.

The thorough petrochemical analysis of the Balkybek formation basaltoids from the Akshatau zone (Eastern Kazakhstan) has been carried out through determination of great number of petrochemical coefficients for the first time with the object of reconstructing their petrogenesis.

Выбор петрохимических данных обусловлен автором тем, что они обладают высокой информативностью в отношении петрогенетических процессов и с их помощью можно в количественной форме выразить главные структурно-вещественные признаки исследуемых объектов, поскольку познание эволюции магматизма – один из ключевых моментов в современных геодинамических и металлогенических построениях. В данном случае исследуемыми объектами являются раннекембрийские базальты балкыбекской свиты Акшатауской СФЗ Шынгыз-Тарбагатая (Восточный Казахстан).

Наиболее полно разрез свиты представлен в районе р. Балкыбек: нижние части его сложены лавовой и туфовой фациями (60–70% от общей мощности, равной 1500 м), верхняя часть – известняками. По последним данным (Н. А. Азебаев, М. М. Стецюра, 2005) указанная ассоциация пород образует известняково-базальтовый комплекс. Фаунистически возраст свиты определен как нижний кембрий по остаткам фауны археоциат, хиолитов и водорослей в известняках верхней части разреза [7 и др.].

Лавы балкыбекской свиты выделяются характерным цветом и обликом – это зеленовато-серые породы, часто с буроватым оттенком, плотные, с порфировой или афировой структурой, преимущественно с миндалекаменной текстурой. Образуют маломощные покровы, иног-

да с шаровой отдельностью. Породы в разной степени спилитизированы, эпидотизированы, хлоритизированы, карбонатизированы.

Автором впервые в результате детального петрографического изучения среди базальтовых лав данной свиты по составу главных и второстепенных минералов, их количественным и структурным отношениям, вторичным изменениям выделены и описаны [15] следующие разновидности (снизу вверх по разрезу, с перерывом во времени): миндалекаменные интенсивно измененные плагиоклазовые базальты, миндалекаменные пироксеновые базальты, миндалекаменные афировые базальты и вверху разреза снова миндалекаменные плагиоклазовые базальты. Также установлено, что лавы балкыбекской свиты почти во всем объеме представляют собой спилитизированные миндалекаменные базальты.

Петрохимия вулканитов балкыбекской свиты. Петрохимически базальты балкыбекской свиты охарактеризованы по девяти химическим анализам автора, одному В. К. Заравневой и двум Т. М. Жаутикова [11] (см. табл.).

По кремнекислотности они (44,04–48,18%) слабо дифференцированы, лишь в незначительном количестве (5%) присутствуют андезибазальты при SiO_2 52,5%, мезократовые с коэффициентом фемичности $f = 18,09–20,32$ (нижние части разреза) и меланократовые $f = 21,78–23,33$ с повышенным содержанием TiO_2 от 1,24 до 3,33%

¹Казахстан, 050010, г.Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а, Институт геологических наук им. К.И. Сатпаева.

Химический состав базальтоидов балыкбекской свиты, вес %

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SiO ₂	48,18	52,50	47,45	47,16	48,05	45,78	44,27	44,04	44,0	45,78	45,09	45,40
TiO ₂	1,52	1,94	2,07	1,75	1,60	2,55	3,32	3,28	3,75	2,35	3,33	3,35
Al ₂ O ₃	12,98	11,85	14,57	13,82	13,50	14,90	13,90	13,79	15,30	15,53	13,71	14,14
Fe-A	6,28	6,34	6,37	6,32	6,61	5,80	6,30	6,00	11,05	5,78	9,14	7,00
FeO	4,53	5,60	7,00	5,45	5,45	6,64	8,52	8,10	6,91	11,01	6,45	7,40
MnO	0,13	0,14	0,18	0,14	0,14	0,17	0,15	0,15	0,19	0,24	0,14	0,10
MgO	5,79	5,45	6,34	4,54	4,81	4,08	5,19	4,93	4,47	4,00	4,60	2,57
CaO	14,61	10,64	11,35	12,12	11,77	12,33	10,60	11,42	7,28	7,14	8,60	8,22
Na ₂ O	2,83	3,80	2,72	2,97	3,83	2,63	2,77	2,82	2,62	3,00	2,64	2,63
K ₂ O	0,06	0,08	0,58	0,07	0,11	0,39	0,52	0,49	0,40	0,65	0,46	0,47
P ₂ O ₅	0,16	0,20	0,22	0,24	0,16	0,28	0,39	0,38	18,10	0,12	0,38	0,40
П.п.п.	2,72	1,97	1,07	4,95	3,90	4,20	4,36	4,74	3,82	3,80	4,34	4,37
Сумма	100,27	100,27	100,30	99,54	99,93	99,99	100,37	100,10	99,93	99,59	99,36	100,09
Na ₂ O/K ₂ O	47,17	47,50	4,69	42,40	34,82	6,74	5,33	5,75	6,55	4,62	5,74	5,60
Na ₂ O+K ₂ O	2,89	3,88	3,30	3,04	3,94	3,02	3,29	3,31	3,72	3,65	3,10	3,10
K ₂ O/TiO ₂	0,04	0,04	0,28	0,04	0,07	0,15	0,16	0,14	0,04	0,28	0,07	0,14

Петрохимические коэффициенты и индексы

al	0,78	0,71	0,74	0,85	0,80	0,90	0,69	0,73	0,75	0,75	0,72	0,83
f	18,09	18,73	21,78	18,06	18,47	19,07	22,33	22,31	25,18	19,14	22,32	20,32
K _φ	65,06	67,50	67,83	72,16	71,49	75,30	74,06	74,00	80,07	80,76	81,04	84,86
F	13,51	13,01	14,29	15,31	14,68	16,44	16,73	16,82	19,02	17,61	19,3	18,69
K _{mn}	1,21	1,23	1,34	1,19	1,16	1,36	1,01	1,06	1,05	1,42	0,91	0,69
K _{FeO}	1,39	1,13	0,91	1,16	1,21	0,87	0,74	0,74	1,5	0,52	1,4	0,94
a	1,61	1,58	2,45	2,00	3,07	3,28	8,51	10,50	12,81	4,79	4,50	4,00

Примечание. 1, 2, 5, 6, 8, 9, 11, 12 – аналитический материал автора статьи (номера проб базальтоидов от ранних дифференциатов к поздним), 3, 4 – аналитический материал Т. М. Жаутикова, 10 – В. К. Заравняевой [11].

(вверх по разрезу). Низкоглиноземистые породы при коэффициенте глиноземистости $al = 0,69 - 0,74$ преобладают над умеренно глиноземистыми $al = 0,78 - 0,83$. Тип щелочности натриевый, с резким преобладанием Na_2O 2,24–3,83% над K_2O – 0,06–0,65.

При характеристике образований различных базальтоидных пород и серий натрий и калий нередко рассматривались как петрологически близкие элементы. По мнению Л. С. Бородина, «по сравнению с калием натрий можно определить как петрологически «пассивный» элемент, практически полностью связанный в плагиоклазовой составляющей магматических расплавов на протяжении большей части магматического процесса. Эффективная щелочность в процессе эволюции базальтовых магм при их перемещении в верхние горизонты земной коры определяется преимущественно активностью калия, не входящего в состав отделяющихся пордообразующих минералов и постепенно концентрирующегося в остаточных фракциях (остаточных магматических расплавах)» [4]. Из результатов наших химических анализов следует, что содержание ка-

лия в породах балыкбекской свиты изменяется от 0,06 до 0,65%. Для пород с $K_2O = 0,06 - 0,2\%$ характерно $SiO_2 = 47,16 - 52,5\%$, $TiO_2 = 1,52 - 1,94\%$ – низкокалиевые породы, а при $K_2O = 0,26 - 0,65$, $SiO_2 = 44,04 - 45,78$, $TiO_2 = 2,07 - 3,33$ – нормально-калиевые (рис.1), что указывает на их принадлежность к различным петрохимическим сериям – толеитовой и щелочной оливин-базальтовой (рис.2). В составе вулканитов балыкбекской свиты породы щелочной оливин-базальтовой серии преобладают над толеитовой, составляющей примерно 10% и тяготеющей к нижним частям разреза.

Толеитовые базальты – один из наиболее распространенных типов базальтовых пород. Выделенные впервые Кеннеди (1929) они противопоставлялись щелочным оливиновым базальтам и рассматривались как породы, наиболее близко соответствующие первичным базальтовым магмам. Со временем накопление новых фактов изменило представления Кеннеди: оказалось, что толеитовые базальты распространены не только на континентах, но и в океанах.

Толеиты балыкбекской свиты – это породы, в которых содержание кремнезема близко к на-

Рис. 1. Диаграмма разделения горных пород по содержанию K_2O по С. Р. Тейлору с дополнениями Р. Ле Метра, Дж. Беллини, М. Ле Ба и др.

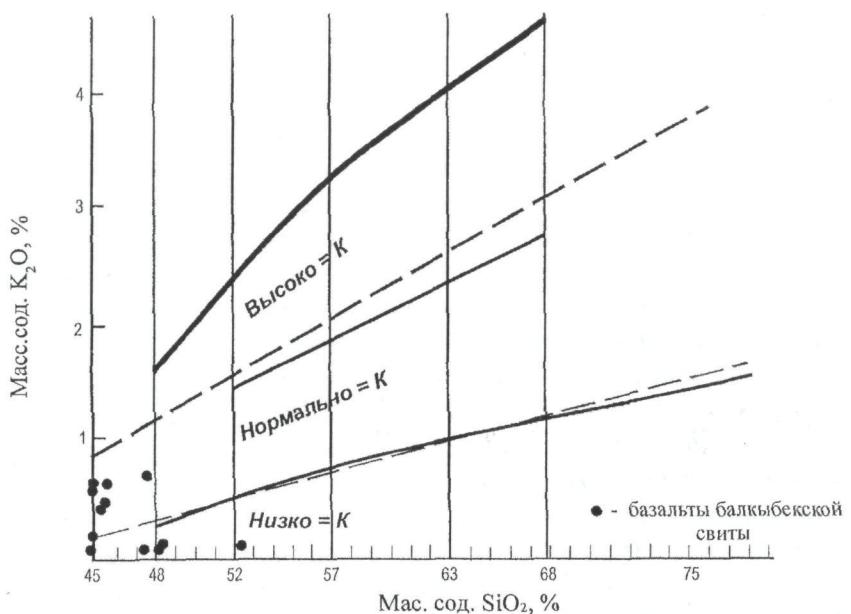
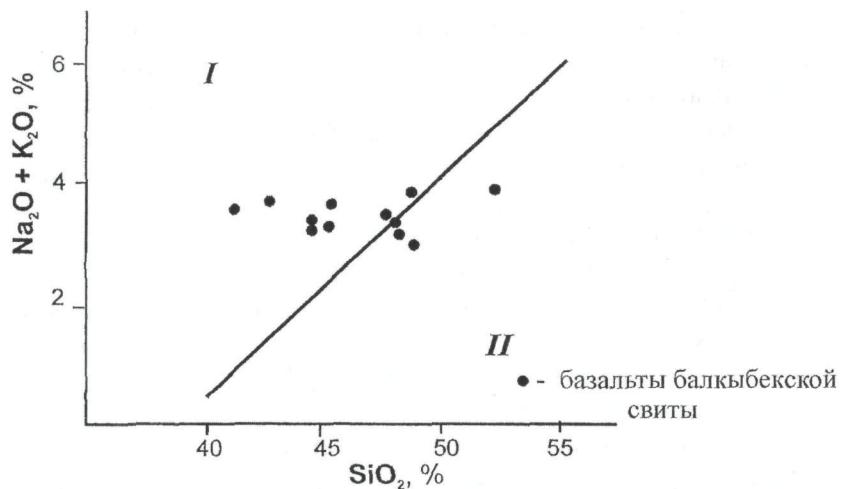


Рис. 2. Диаграмма щелочи-кремнезема. I – поле щелочных базальтов; II – поле толеитовых базальтов



сыщению (48–50%), а оливиновые базальты недосыщены кремнеземом и богаче щелочами. Соответственно в них появляются оливин и интерстициальный нефелин, малохарактерные для насыщенных кремнеземом пород. Как было показано Д. Уилкинсоном, Х. Йодеом, К. Тилли и другими исследователями [4], наиболее бесспорное подразделение базальтоидов на две группы – щелочную и субщелочную (толеитовую) – может основываться «только на нормативных составах этих пород, т.е. в зависимости от присутствия нормативного нефелина или кварца». Согласно исследованиям Р. Макдональд и Т. Кацура, Д. Грин и А. Рингвуд и др., к щелочным отнесены базальты с содержанием 0–5% нормативного нефелина [2].

В породах балыбекской свиты следует отметить преобладание признаков оливиновых ба-

зальтовых магм – возрастание калиевой щелочности в базальтах и, как следствие, появление нормативного нефелина (0–3%) в верхних частях базальтовой толщи.

Петрогенезис и петрохимические коэффициенты, индексы. Исследование естественных рядов магматических пород разной формационной принадлежности показывает, что содержания практически всех породообразующих оксидов в генетически связанных сериях пород (от ранних дифференциатов к поздним) меняются немонотонно [12]. Данный факт исключает возможность применения абсолютных содержаний любого из петрогенных элементов в качестве единого временного параметра для всей совокупности сопоставляемых объектов. Потребности такого рода привели к появлению большого числа разнообразных петрохимических коэффициен-

тов и индексов. Тем не менее подавляющее большинство их имеет ограниченную сферу применения и предназначено для исследования и сопоставления сравнительно узких по составу групп и серий пород [6]. Автором впервые определены и использованы при изучении петрохимических особенностей базальтоидов балкыбекской свиты несколько коэффициентов и индексов, наиболее четко характеризующих вулканиты данного района: *коэффициент фракционирования* K_{ϕ} , *коэффициент приведенной железистости* F' , *коэффициент окисленности железа* K_{FeO} , *коэффициент марганцовистости* K_{mn} , *индекс затвердевания* X . Куно SI и *серийный индекс Ритмана* σ .

Наиболее универсальными в этом отношении и соответственно наиболее распространенными являются коэффициенты и индексы, основанные на использовании различных соотношений железа и магния.

Оценивая роль таких отношений как показателя степени фракционирования минералов в изверженных породах, Т. Н. Ирвайн отмечал их широкое применение: «...такая особенность параметров, как возрастание отношения Fe/Mg от наиболее ранних дифференциатов к поздним, определяет их предпочтительность перед любыми другими в качестве индикатора и масштаба процессов магматической дифференциации» [20].

В петрохимической практике часто при изучении основных горных пород используется *коэффициент фракционирования* [3] или *индекс Симпсона* [12] – $K_{\phi} = 100(Fe_2O_3 + FeO)/(FeO + Fe_2O_3 + MgO)$ – один из индикаторов процесса магматической дифференциации от наиболее ранних дифференциатов к поздним

Определенный автором для базальтоидов балкыбекской свиты K_{ϕ} в разновидностях, выделенных ранее петрографически, варьирует следующим

образом: нижние плагиоклазовые базальты – 65,06–67,83, пироксеновые базальты – 74,0–75,3, афировые базальты – 80,07–81,04, плагиоклазовые базальты – 84,86. В нашем случае K_{ϕ} возрастает от наиболее ранних дифференциатов к поздним и для каждой разновидности базальтоидов имеет свое значение, т.е. K_{ϕ} достаточно четко отражает ход дифференциации расплава – возрастание железистости магматических образований.

Коэффициент приведенной железистости $F' = 1000(FeO + Fe_2O_3)/(FeO + Fe_2O_3 + MgO)SiO_2$ введен В. Л. Литвиновым и Ю. С. Соломиным [14]. Он позволяет разделить породы на типы, принадлежащие определенным сериям более эффективно по сравнению с обычной формой выражения железистости пород. В нашем случае по мере дифференциации магмы наряду с K_{ϕ} возрастает и F' от 13,01 до 19,30.

Коэффициент окисленности железа $K_{FeO} = Fe_2O_3/FeO$ использован А. Б. Вистелиусом, Д. Н. Ивановым и М. А. Романовой [5] в качестве индикатора активности O_2 . Во многих разновидностях вулканических пород $K_{FeO} > 1$. Еще в начале 50-х годов Дж. Кеннеди отмечал, что соотношение закиси и окиси железа (степень окисленности железа) отражает предыдущую историю магмы и может дать весьма полезные сведения для вулканологии и петрогенезиса [9]. По мнению Щукина, K_{FeO} может быть использован для решения вопроса об окислительно-восстановительном режиме формирования магм, а для пород различных возрастов возможно будет восстановить изменение концентрации кислорода в атмосфере в ходе геологической истории Земли [19].

В нашем случае для базальтов толеитовой серии, расположенных в нижних частях разреза, среднее значение $K_{FeO} = 1,14$, для щелочных базальтов – 0,9. Вариации коэффициента окисленности железа в вулканитах балкыбекской свиты указывают на изменение активности (парциального давления) кислорода в магме – толеитовые базальты более изменены в результате окислительных процессов (возможен значительный переход части FeO в Fe_2O_3).

Коэффициент марганцовистости K_{mn} , предложенный И. И. Абрамовичем [1], представляет отношение (в процентах массовых содержаний) $100 MnO/(FeO + Fe_2O_3)$. Согласно авторам отношение Mn/Fe , будучи различным для разновозрастных образований, отражает в сущности не абсолютный или относительный возраст пород, а степень дифференциации родоначальной магмы (Пинус, 1959).

Определенная зависимость величины Mn/Fe от петрографического состава пород была подмечена еще в ранних работах Дж. Фогта, который впервые (Vogt J. H. L.Z. fur praktische Geologie, 1898) указал на закономерное увеличе-

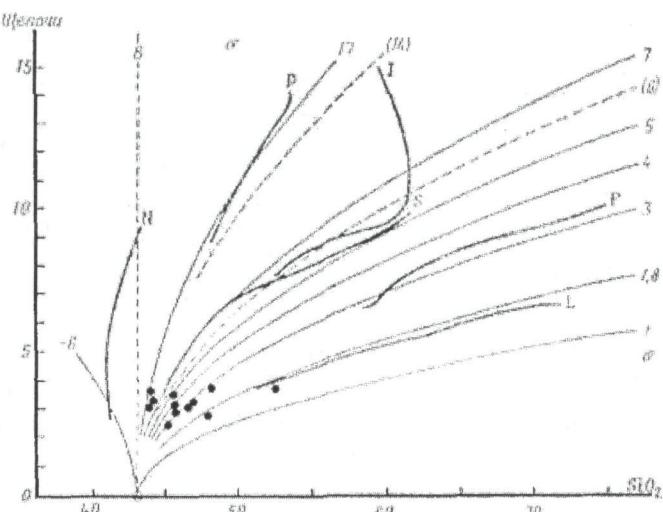


Рис. 3. Отношение между кремнекислотой и щелочами в родственных группах базальтов балкыбекской свиты. Характер родственных групп: L – сильно тихоокеанский, F – слабо тихоокеанский, S – слабо атлантический, I – слабо средиземноморский до среднеатлантического, N – сильно атлантический, P – сильно средиземноморский. Обозначенные цифрами параболические кривые отвечают коэффициенту Ритмана, который служит для определения характера родственных групп [13]

ние отношения марганца к железу с возрастанием кислотности пород. Позднее В. М. Гольдшмидт, давший рациональное объяснение этому явлению, а также В.И. Вернадский (1934), Г. Хевеши с сотр. (Hevesi u.a. K. Z. anorgan. Und allgem. Chem., 1934) и ряд исследователей отмечали существенные вариации марганец-железного отношения в породах с различным содержанием кремнекислоты и железа.

Вся гамма пород от ультраосновных до ультракислых характеризуется вполне постоянной величиной рассматриваемого отношения, различного, однако, для различных формаций [1]. Анализ таблицы и первичного цифрового материала показывает, что содержание MnO в породах балкыбекской свиты составляет от 0,13–0,24%, а $K_{mn} = 0,69–1,36$, т.е. в толеитовых базальтах данной свиты отношение Mn/Fe незначительно выше, чем в щелочных базальтах, и у нас есть возможность предполагать зависимость величины Mn/Fe не только от SiO₂, FeO, но и от щелочности.

Индекс затвердевания X. Куно введен в 1957 г. [10]: $Sl = 100 \frac{MgO}{(MgO + FeO + Fe_2O_3 + K_2O + Na_2O)}$ (в процентах массовых содержаний.) В нашем случае среднее значение для толеитовых базальтов $Sl = 28$, а для щелочных базальтов – 22, т.е. величина индекса затвердевания связана с уменьшением к конечным этапам кристаллизации магниевой составляющей расплава.

По мнению Т. Н. Херасковой, первичный состав родоначальных магм балкыбекской свиты мог быть изначально толеитовый [18] или, по

данным В. С. Звонцова и Н. М. Фрид, промежуточного состава – типа оливинового толеита. [8]. Но если принять во внимание индекс затвердевания, который определен автором для пород балкыбекской свиты равным 22–28, и учесть, что для большинства первичных магм он колеблется около 40, постепенно уменьшаясь при кристаллизационном фракционировании [10], то вопрос о родоначальном составе магмы при образовании базальтов балкыбекской свиты остается дискуссионным.

Индекс А. Ритмана сериальный или показатель родства (Sippenindex) σ предложен А. Ритманом (Rittman, 1957) для количественной оценки характера состава конкретных магматических серий и отнесения вулканитов к определенной родственной группе*: $\sigma = (K_2O + Na_2O)^2 / SiO_2 - 43$ (вес. % анализа). Бекке первый различал тихоокеанскую и атлантическую родственную группу вулканитов, Ниггли из атлантической выделил средиземноморскую группу. Каждая из родственных групп характеризуется особой ассоциацией вулканитов. А. Ритман предложил вариационную диаграмму, на которой сопоставляются щелочи и кремнезем различных родственных групп [13]. На диаграмме нанесены параболы, построенные по выше приведенному эмпирическому уравнению и сходящиеся при $SiO_2 = 43$. Параболитические кривые отвечают σ-величинам.

При нанесении данных по SiO_2 и $(K_2O + Na_2O)$ вулканитов балкыбекской свиты на выше указанную диаграмму (рис. 3) отчетливо видно, что

*По определению А. Ритмана, родственные группы – это естественные ассоциации вулканитов, часто встречающиеся совместно, «тогда как другие взаимно исключают друг друга» [13].

наиболее щелочным породам соответствует и большая величина индекса, кроме того, вулканиты балыбекской свиты относятся к двум различным родственным группам. Так, в толеитовых базальтах наблюдается плавный переход (вверх по разрезу) от сильной к средней и слабой тихоокеанской родственной группе при σ от 1,58–1,61, 2,45 и до 3,28. Оливиновые щелочные базальты соответствуют переходной ($\sigma = 4,00\text{--}4,50$) и средней атлантической группам при σ от 8,51 до 12,81. Следует отметить, что, по мнению А. Ритмана [13], явного характер родственных групп не обнаруживают магмы с содержанием SiO_2 от 41–45% и ($\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$) меньше 3%. В нашем случае это касается оливиновых базальтов, хотя они и проявляют тенденцию к атлантической дифференциации.

Итак, приведенные данные позволяют сделать некоторые выводы об особенностях петrogenезиса базальтоидов балыбекской свиты:

1. Прежде всего вещественные особенности этих пород позволяют отнести их к слабо дифференцированной базальтовой формации.

2. В раннем кембрии в Акшатауской СФЗ Шынгыз-Тарбагатая присутствовали базальтоиды двух петрохимических серий и двух родственных групп.

3. Эволюция раннекембрийских вулканитов балыбекской свиты определяется сменой во времени низкокалиевых толеитов базальтами повышенной щелочности с преобладанием последних.

4. Для базальтов толеитовой серии типичны насыщенность кремнекислотой, натриевый тип щелочности, умеренная титанистость, обогащенность железом, высокий темп накопления железа, высокая известковистость и низкая глиноземистость.

5. Щелочные оливиновые базальты недосыщены кремнекислотой, меланократовые, высокожелезистые, что соответствует эволюции базальтового расплава по феннеровскому типу, высоко-титанистые и низко-глиноземистые.

6. Вероятно, характер вулканизма в Акшатауской зоне в раннем кембрии предопределялся сугубо мантийными процессами: базальтовые расплавы, поднимающиеся с глубин, в промежуточных близповерхностных камерах подвергались слабой дифференциации. Афировая струк-

тура низкоглиноземистых базальтов балыбекской свиты – доказательство быстрого подъема жидкости на поверхность без существенной дифференциации. Возможно, однородный базальтовый вулканизм данной свиты в Акшатауской зоне был приурочен к зонам глубинной проницаемости, поскольку, только им свойственны низкоглиноземистые толеитовые афировые базальты, частично зеленокаменноизмененные, а степень проницаемости земной коры и ее строение являются одной из важнейших причин, определяющих вариации магматизма (эволюции магмы) [16]. Зеленокаменное изменение базальтов балыбекской свиты свидетельствует о том, что зоны проницаемости впоследствии являлись путями подъема метаморфизующих глубинных флюидов, имеющих в начальный этап развития вулканизма натровую специфику. Но поскольку для базальтов балыбекской свиты характерна и порфировая структура, вероятно, скорость подъема магмы не всегда была одинаковой.

7. В данном районе вулканический процесс развивался антидромно, т.е. в сторону общего понижения кислотности вулканических пород, в целом этот ряд характеризуется переходом от толеитовых базальтов к щелочным оливиновым базальтам и далее к пикритам. Такое развитие вулканизма, отмеченное для гавайских вулканов Г. Макдональдом и Т. Кацурой (Macdonald, Katsura, 1964), в настоящее время считается общей закономерностью базальтового вулканизма океанических островов (EnqeI, EnqeI, Havens, 1965). Подобный ряд можно назвать рядом Энгелей. И именно базальты балыбекской свиты расположены в начале этого ряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович И.И., Высокоостровская Е.Б., Дорофеева Э.Ф. О марганец-железном отношении в магматических породах // Геохимия. 1963. № 11. С. 996–1001.
2. Авдейко Г.П., Бабанский А.Д., Богатиков О.А. и др. Петрология и геохимия островных дуг и окраинных морей. М.: Наука, 1987. 336 с.
3. Богатиков О.А., Гоньшакова В.И., Ефремова С.В. и др. Классификация и номенклатура магматических горных пород: Справочное пособие. М.: Недра, 1981. 160 с.
4. Бородин Л.С. Петрохимия магматических серий. М.: Наука, 1987. 263 с.
5. Вистелиус А.Б., Иванов Д.Н., Романова М.А. О региональном окислительно-восстановительном режиме кристаллизации мезозойских гранитоидов севера Восточной Азии. // Докл. АН СССР. 1983. Т. 268, № 1. С. 147–151.

6. Ефремова С.В., Стafeев К.Г. Петрохимические методы исследования горных пород: Справочное пособие. М.: Недра, 1985. 511с.
7. Жаутиков Т.М., Полянский Н.В., Титов В.И. и др. Геология и металлогения Чингиз-Тарбагатайского антиклинария. Алма-Ата: Наука, 1977. 160 с.
8. Звонцов В.С., Фрид Н.М. Раннепалеозойский (геосинклинальный) вулканализм и тектоника Центрального Казахстана // Проблемы тектоники Казахстана. Алма-Ата: Наука, 1981. С.65-76.
9. Кеннеди Дж. Вопросы физико-химии в минералогии и петрографии. М., 1950.
10. Куно Х. Серии изверженных пород // Химия земной коры. М., 1964. Т. 2. С.107-121.
11. Магматические комплексы Казахстана. Чингиз-Тарбагатайская складчатая система / Под. ред. А.А. Абдуллина, Г.Ф. Ляпичева. Алма-Ата: Наука, 1982. 168 с.
12. Орлов Д.М., Липнер Г.Н., Орлова М.П., Смелова Л.В. Петрохимия магматических формаций. Л.: Недра, 1991. 229 с.
13. Ритман А. Вулканы и их деятельность: Пер. с нем. М., 1964. 437 с.
14. Рудник В.А. Задачи и методы петрохимических исследований магматических формаций // Труды ВСЕГЕИ. М., 1971. Нов. сер. Т. 158. С. 157-172.
15. Стецюра М.М. Вулканиты раннего кембра Акшатауской структурно-формационной зоны // Геология и охрана недр. 2005. №2. С.16-20.
16. Фролова Т.И., Рудник Г.Б. Толеитовые базальты подвижных зон континентов и океанов и вариации их состава в зависимости от структурной обстановки. // Вестник Московского университета. 1972. №5. С. 26-41.
17. Фролова Т.И., Бурикова И.А. Магматические формации современных геотектонических обстановок. М., 1997. 320 с.
18. Хераскова Т.Н. Венд-кембриские формации каледонид Азии // Труды ГИН. 1986. Вып. 386. 246 с.
19. Щукин С.И. О возможности применения коэффициента окисленности железа для классификации вулканогенных пород // Геохимия. 1963. № 8. С.759-766.
20. Эволюция изверженных пород / Под ред. Х.Йодера. М.: Мир, 1983. 528 с.