

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ УРАНА И ТОРИЯ В ВУЛКАНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЯХ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОГО ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ МИНУСИНСКОЙ КОТЛОВИНЫ

Ю. А. ФОМИН

(Представлена профессором А. М. Кузьминым)

В настоящее время геохимии урана и тория в магматическом процессе уделяется большое внимание. При этом продолжает оставаться актуальной проблема распределения этих элементов в изверженных горных породах, характеризующихся различными условиями формирования и различным составом. Подавляющее большинство конкретных примеров в этой области относится к проявлениям плутонического магматизма преимущественно гранитоидного, в меньшей мере щелочного и в редких случаях основного и ультраосновного состава. Сведения же по распределению радиоактивных элементов в вулканогенных образованиях сравнительно немногочисленны и часто носят отрывочный характер [1—5, 7—10, 13—15, 19—21].

Для продуктов девонского вулканизма Минусинских межгорных впадин работы по этому вопросу появились только в последнее время. Из них следует отметить исследования В. П. Ковалева [7, 8], касающиеся эффузивов Южно-Минусинской впадины, для которых установлена принадлежность главным образом к щелочно-земельной и в гораздо меньшей степени к щелочной сериям. В первых имеет место обогащение ураном и торием наиболее молодых по возрасту и наиболее кислых по составу разновидностей пород, причем предпочтительней перед торием в них накапливается уран. Для эффузивов щелочной серии наблюдается преимущественное накопление тория.

В данной статье анализируются особенности поведения урана и тория в вулканогенных образованиях северо-восточного горного обрамления Северо-Минусинской впадины (правобережье р. Енисей).

Изучению вулканогенного девона Минусинских впадин и их горного обрамления посвящено много работ. Наиболее полно и систематически оно проведено И. В. Лучицким [11], А. А. Моссаковским [12] и некоторыми другими. Интересен, на наш взгляд, вывод А. А. Моссаковского о широком развитии в пределах горных поднятий, ограничивающих впадины, наряду с основными — щелочными эффузивами кислых разновидностей пород, образующих, по его мнению, генетически самостоятельную формацию.

Чередование разнообразных по составу продуктов вулканизма, представленных, с одной стороны, основными щелочными и, с другой стороны, кислыми лавами и туфами, является характерной чертой исследуемого района. В целом разрез эффузивной толщи здесь следующий. Нижняя ее часть характеризуется развитием базальтовых, андезито-ба-

зальтовых и в редких случаях андезитовых порфиритов, образующих покровные тела или потоки. Выше по разрезу наблюдаются игнимбриты, пепловые и лито-кристалло-кластические туфы, реже лавы дацитового, липарито-дацитового и липаритового состава. Кислые эффузивы, в свою очередь, перекрываются базальтовыми и андезито-базальтовыми порфиритами и их туфами, повсеместно чередующимися с горизонтами туфогенно-осадочных отложений (последние иногда количественно преобладают). Базальтоиды вверх по разрезу сменяются лавами и туфами липаритового, липарито-дацитового и, что характерно, трахи-липаритового состава. С поздними базальтоидами пространственно ассоциируются фонолит-порфиры и щелочные трахитовые порфиры, имеющие ограниченное площадочное распространение. Ими же завершается разрез толщи.

Для базальтоидов, формирование которых связано, по-видимому, с трещинным типом вулканизма, выявления пород субвулканических фаций крайне затруднено. С другой стороны, образование липарито-дацитовых порфиритов и их туфов в значительной степени обязано деятельностью вулканов центрального типа, останцы которых обнаруживаются сравнительно легко. Также нередкость субвулканические тела щелочных эффузивов.

Анализ химического состава эффузивов в данном районе позволяет вслед за А. А. Моссаковским выделить среди них две генетически самостоятельные ассоциации: базальт-фонолитовую и дацит-липарит-трахи-липаритовую. Для первой ассоциации характерен преимущественно базальтоидный состав лав и тесная связь с ними щелочных пород. Эти главные особенности отмечались ранее И. В. Лучицким [11]. Петрохимически данные образования характеризуются нормальным составом, недосыщенностью кремнекислотной и отчетливо выраженной натровой специализацией. В отличие от них, как видно из табл. 1, эффузивы липаритоидной ассоциации принадлежат к плюмазитовому ряду, всегда пересыщены кремнекислотой, из щелочей в них преобладает калий.

Различия в химизме двух вулканических ассоциаций отчетливо видны из тройной вариационной диаграммы (рис. 1), позволяющей также судить о ходе и характере дифференциации двух исходных магм: базальтоидной (толеитовой) и гранитоидной. Последняя, по мнению Ю. М. Шейнмана [18], имеет коровое происхождение. В том и другом случаях эволюция магмы ведет к накоплению щелочей, но если в первом случае происходит одновременное увеличение натрия и калия, то во втором — увеличивается только содержание натрия.

В соответствии с петрохимическими особенностями эффузивов обеих ассоциаций находятся основные закономерности распределения в них урана и тория. Из табл. 2 следует, что пересыщенные кремнекислотой эффузивы калиевой серии обогащены радиоактивными элементами по сравнению с базальтоидами и связанными с ними щелочными породами. Другой характерной особенностью кислых эффузивов, вытекающей из сравнения величин стандартных отклонений от средних содержаний урана и тория, является относительно неравномерное распределение в них обоих элементов.

Поведение исследуемых элементов в ходе эволюции обеих магм несколько различно.

Для пород базальтоидного ряда характерно накопление в ходе дифференциации расплава и урана и тория. Вместе с тем, судя по изменению Th/U на ранних стадиях процесса более активным оказался уран. И только в крайних щелочных дифференциатах — фонолит-порфирах наблюдается предпочтительное накопление тория. В данных образованиях отмечается, с одной стороны, отрицательная связь урана и тория с кальцием и магнием и, с другой стороны, четкая положительная связь их

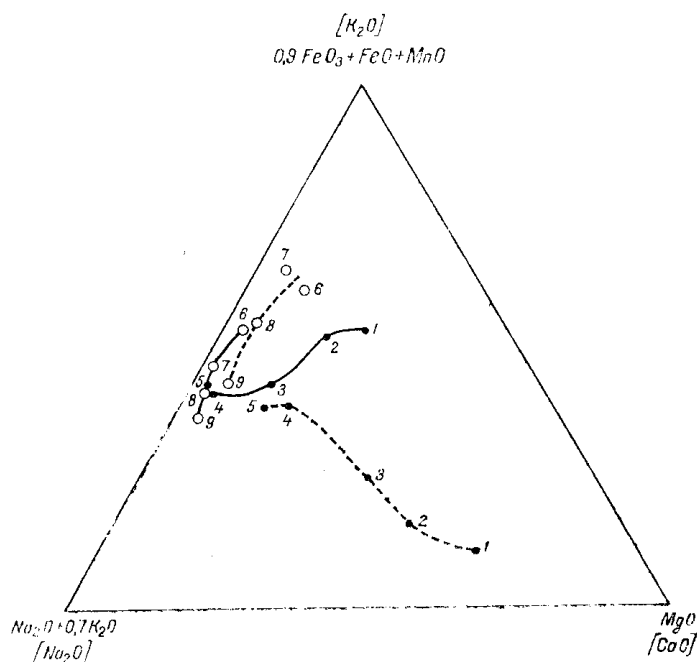


Рис. 1. Вариационная диаграмма вулканогенных пород района. Сплошные линии показывают изменение содержаний $(0,9\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} + \text{MnO})$, MgO и $(\text{Na}_2\text{O} + 0,7\text{K}_2\text{O})$, пунктирные линии — изменение содержания K_2O , Na_2O и CaO . Залитые кружки показывают породы — производные базальтоидной магмы: 1. Базальтовые порфиры (17 анализов). 2. Андезито-базальтовые порфиры (9 анализов). 3. Андезитовые порфиры (4 анализа). 4. Щелочные трахитовые порфиры (4 анализа). 5. Фонолит-порфиры (4 анализа). Незалитые кружки показывают породы — производные гранитоидной магмы: 6. Дацитовые порфиры (7 анализов). 7. Липаритовые порфиры (10 анализов). 8. Липарито-дацитовые порфиры повышенной щелочности (36 анализов). 9. Трахилипаритовые порфиры (6 анализов)

со щелочами, причем, по-видимому, уран теснее связан с калием, а торий с натрием, что неоднократно уже указывалось для магматических пород [6 и др.]. Сравнение кривых SiO_2 и Th/U подтверждает также наличие тесной связи кремнекислоты прежде всего с ураном, поскольку до тех пор пока имело место обогащение пород SiO_2 , в них в большой степени накапливался уран. Своеобразно соотношение радиоактивности пород данной ассоциации с их железистостью. В базальтовых и андезитовых порфиритах уран и торий связаны с суммарным железом отчетливой отрицательной связью, в то время как в щелочных эффузивах эта связь положительна.

Подсчет содержаний урана в разновидностях фонолит-порфиров, обогащенных и обедненных фемическими минералами, подтвердил этот вывод: в меланократовых фонолит-порфирах концентрация урана выше ($5,54 \cdot 10^{-4}\%$ из 5 определений) по сравнению с лейкократовыми их разновидностями ($4,34 \cdot 10^{-4}\%$ из 9 определений).

В эффузивах липаритового ряда также имеет место повышение содержаний урана и тория от ранних их образований к поздним, имеющим несколько повышенную щелочность, главным образом за счет натрия. При этом интересен факт некоторого увеличения и Th/U , свидетельствующий о более интенсивном накоплении в породах тория.

По имеющимся сведениям [4], порфиритовые выделения различных

Таблица 1

**Средние содержания (X) и стандартные отклонения (S)
породообразующих окислов (вес %) девонских вулканогенных пород***

	1 (10)		2 (10)		3 (15)		4 (27)		5 (8)	
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
SiO ₂	50,15	0,97	67,99	1,88	48,71	2,57	67,44	2,76	57,36	1,18
TiO ₂	1,48	0,44	0,49	0,11	1,79	0,47	0,50	0,11	0,37	0,11
Al ₂ O ₃	17,45	1,48	15,17	0,78	17,23	1,08	14,65	1,63	17,65	0,81
Fe ₂ O ₃	6,16	2,58	4,05	1,20	5,95	2,11	4,48	1,33	5,12	1,22
FeO	3,50	1,18	1,39	0,57	5,10	1,56	1,56	0,62	3,02	1,00
MnO	0,17	0,05	0,11	0,04	0,23	0,07	0,14	0,12	0,26	0,06
MgO	3,48	0,69	0,34	0,03	3,68	1,27	0,35	0,19	0,60	0,28
CaO	7,00	2,08	0,36	0,26	6,43	2,11	0,48	0,32	2,14	0,28
Na ₂ O	4,29	0,98	3,79	0,65	4,27	0,62	3,94	1,27	6,29	0,88
K ₂ O	2,04	1,38	5,09	0,94	2,09	0,68	5,12	0,90	5,26	0,51
P ₂ O ₅	0,70	0,30	0,12	0,05	0,65	0,15	0,11	0,05	0,12	0,07

Определения сделаны в ЦХЛ ЗСГУ (г. Новокузнецк)

* На табл. 1 и 2 следует читать:

1. Ранние базальтоиды.
 2. Ранние игнимбриты, туфы и лавы липарито-дацитовых порфиров.
 3. Поздние базальтоиды.
 4. Поздние липарито-дацитовые, трахилипаритовые порфиры и их туфы.
 5. Щелочные трахитовые порфиры, фонолитовые порфиры.
- В скобках указано количество анализов.

Таблица 2

**Средние содержания и стандартные отклонения урана и тория
в девонских вулканогенных породах**

	U, n·10 ⁻⁴ %		Th, n·10 ⁻³ %		$\frac{Th}{U}$
	\bar{X}	S	\bar{X}	S	
1	1,48(8)	0,92	0,77(4)	0,36	5,2
2	4,89(82)	2,04	2,67(3)	0,65	5,5
3	2,19(39)	0,77	1,40(2)	0,60	6,4
4	5,90(123)	2,44	3,75(5)	1,35	6,3
5	4,22(22)	1,88	1,45(2)	0,25	4,1

Примечание. Уран анализировался люминесцентным методом, торий определялся фотоколориметрическим методом с применением красителя «Арсенazo III». Определения сделаны в лаборатории ИГиГ СО АН СССР.

минералов в базальтоидах отличаются пониженными содержаниями урана по сравнению с теми же минералами основной массы. Наши данные (табл. 3) подтверждают этот вывод как для базальтоидов (порфировые выделения плагиоклаза и моноклинного пироксена), так и

Таблица 3

**Содержание урана (n·10⁻⁴%) и тория (n·10⁻³%) в эффузивах,
обогащенных (1) и обедненных (2) порфировыми выделениями**

	1		2	
	U	Th	U	Th
Андезито-базальтовые порфириты	0,88	0,54	2,12	0,80
	$\frac{2}{50}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{51}$	$\frac{1}{3}$
Липаритовые, трахилипаритовые порфиры	5,70	2,15	6,30	4,82
	$\frac{50}{50}$	$\frac{2}{2}$	$\frac{51}{51}$	$\frac{3}{3}$

для липаритовых порфиров (вкрапленники ортоклаза, альбита). Таким образом, большая часть урана и тория в эффузивах концентрируется в основной массе пород.

Результаты анализа содержаний урана в продуктах вулканизма в зависимости от фациальной их принадлежности сведены в табл. 4.

Таблица 4

Распределение урана в эффузивах в зависимости от их фациальной принадлежности

	U (п. 10^{-4} %)	Кол-во определений
1	2	3
Покровы и потоки базальтовых порфиритов	1,52	17
Андезито-базальтовых порфиритов	1,77	7
Андезитовых порфиритов	2,57	23
Туф андезитового порфирита	2,40	1
Покровные тела щелочных трахитовых порфиров	3,78	8
Субвулканические фонолит-порфиры	3,09	5
Покровные фонолит-порфиры (краевые части тела)	5,26	9
Ранние липаритоиды:		
потоки игнимбритов	5,21	56
потоки и покровы липарито-дацитовых порфиров	4,35	20
Туфы пепловые	5,84	7
Туфы лито-кристаллические	6,70	4
Поздние липаритоиды (на примере одного из палеовулканов):		
Жерловые породы	5,72	22
Покровные породы	5,73	37
Околожерловые пирокласты	5,37	22

В частности, имеются данные по содержанию урана в породах различных фаций одного из палеовулканов липаритового состава, описанного нами ранее [17]. Судя по полученным цифрам, эффузивы жерловой и покровной фаций практически не отличаются в этом отношении. Несколько пониженной концентрацией элемента характеризуются пирокласты эродированного древнего конуса.

Иная картина наблюдается для щелочных эффузивов. Распределение урана здесь прослежено на примере хорошо обнаженного лакколитообразного тела фонолит-порфиров, представляющего собой переход от пород собственно субвулканической фации к покровным образованиям. Сравнение содержания урана в тех и других показывает обогащение им краевых частей тела. Естественно, приведенные в табл. 4 данные характеризуют частные случаи, в целом же проблема продолжает оставаться открытой.

Выводы

1. В исследуемом районе наблюдается чередование эффузивов двух генетически самостоятельных ассоциаций: базальт-фонолитовой и дацит-липарит-трахилипаритовой, являющихся продуктами двух родоначальных магм.

2. Кислые эффузивы характеризуются повышенными содержаниями радиоактивных элементов. В среднем для них содержание урана составляет $5,50 \cdot 10^{-4}$ %, тория $3,35 \cdot 10^{-3}$ %, Th/U — 6,1, в то время как для пород базальтоидного ряда эти цифры ниже: для базальтовых и андезитовых порфиритов соответственно $2,07 \cdot 10^{-4}$ и $0,96 \cdot 10^{-3}$, Th/U — 4,6, а для щелочных образований — $4,22 \cdot 10^{-4}$ и $1,45 \cdot 10^{-3}$, Th/U — 3,4. Другой отличительной чертой липаритоидов является относительно неравномерное распределение в них обоих элементов.

3. В породах обеих ассоциаций накопление U и Th происходит в конечных продуктах дифференциации расплавов. Для пород базальтоидного ряда на ранних стадиях процесса более активен уран и только в феолизит-порфирах интенсивней накапливается торий. В липаритовых порфирах относительно более активен торий.

4. Отмечается отрицательная связь U и Th в породах с калием и магнием и положительная связь их со щелочами, причем уран теснее связан с калием, а торий с натрием. С кремниевой кислотой теснее связан (положительной связью) уран.

5. Наблюдаемая зависимость между структурой эффузивов и содержание в них радиоактивных элементов заключается в повышении концентраций U и Th в обедненных порфирами выделениями разновидностей пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович И. И. Уран и торий в интрузивных породах центральной и западной Тувы. «Геохимия», 1959, № 4.
2. Абрамович И. И., Смыслов А. А. Радиохимическая изученность горных пород территории Советского Союза. Труды Всесоюз. научно-исслед. геол. ин-та, № 142, 1968.
3. С. Адамс Дж. А. Содержание урана и тория в вулканических породах. В сб.: «Ядерная геология». ИЛ, 1956.
4. Берзина И. Г., Кравченко С. М., Золотарев Б. П. Определение концентраций урана и его пространственного распределения в кайнозойских базальтоидах по следам от осколков деления. Изв. АН СССР, сер. геол., № 8, 1969.
5. Казмин В. Н. О распределении содержаний урана и тория в эффузивных и интрузивных образованиях северо-восточного Прибалхашья. «Геохимия», № 3, 1966.
6. Калинин Е. П., Голдин Б. А., Фишман М. В. К геохимии урана и тория в гранитоидах Приполярного Урала. «Геохимия», № 8, 1969.
7. Ковалев В. П. Некоторые особенности распределения урана и тория в эффузивных породах Амыл-Кандатского прогиба (Восточный Саян). «Геохимия», № 9, 1969.
8. Ковалев В. П. О закономерностях распределения урана и тория в вулканогенно-осадочных толщах межгорных впадин. В кн.: «Проблемы палеовулканизма Средней Сибири», Красноярск, 1970.
9. Краснова В. Н., Репин В. С., Салтыков В. Ф. Поведение урана в процессах регионального и контактового метаморфизма. «Геохимический сборник», вып. 4, изд-во Саратовского университета, 1969.
10. Купцов В. М. Уран, торий и продукты их распада в вулканических процессах. Автореф. канд. диссерт., 1969.
11. Лучицкий И. В. Вулканизм и тектоника девонских впадин Минусинского межгорного прогиба. Изд-во АН СССР, 1960.
12. Моссаковский А. А. Тектоническое развитие Минусинских впадин и их горного обрамления в докембрии и палеозое. Гостеолтехиздат, 1963.
13. Осипов Д. К., Журавлев Р. С. Уран и торий в магматических породах Кузбасса. «Геохимия», 1965, № 5.
14. Осипов Д. К., Журавлев Р. С. Распределение урана и тория в щелочных магматических породах Кузнецкого Алатау. В кн.: «Геохимия и минералогия радиоактивных элементов Сибири», Новосибирск, «Наука», 1970.
15. Основные черты геохимии урана. Изд-во АН СССР, 1963.
16. Смыслов А. А. Радиоактивные элементы в изверженных породах Северного Казахстана. «Геохимия», 1958, № 3.
17. Фомин Ю. А., Крюков В. Г., Гавриленко В. А. О древнем вулканическом аппарате в юго-восточных отрогах Солгонского кряжа. Материалы научн. конференции молодых ученых вузов г. Томска, т. I, секция естеств. наук. Томск, изд-во ТГУ, 1968.
18. Шейнманн Ю. М. Возможные связи магм со строением внешних оболочек Земли. В кн.: «Химия земной коры», т. 2, «Наука», 1964.
19. Adams J. S. A., Osmond J. K., Rogers J. J. W. The geochemistry of thorium and uranium. Phys. and Chem. of the Earth, 1959, 3.
20. Ewart A., Stipp J. J. Geochim. et cosmochim. acta, 32, № 7, 1968.
21. Heier K. S., Compston W., McDougall I. Geochim. et cosmochim. acta, 29, № 6, 1965.