Записки Ленинградского ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LXIV, вып. 2, 1974 г.

УРАН В МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОДАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

Л. М. Горбунова

В последние годы повысился интерес к изучению химического состава метаморфических и ультраметаморфических пород древних щитов как возможных аналогов вещества глубинных зон земной коры. Особое внимание исследователей привлекает распределение в этих породах радиоактивных элементов в связи с проблемами теплового режима земной коры, эволюции вещественного состава горных пород в ходе их геологического развития, определения первичной природы метаморфических толщ [2, 6, 7, 9].

Ниже представлены систематизированные результаты более чем 800 определений содержания урана в докембрийских метаморфических породах северо-запада Кольского полуострова, полученные автором.

Содержание урана определяли люминесцентным методом с химическим разложением проб смесью соляной и серной кислот и фтористого аммония с последующей обработкой 5%-ным содовым раствором и смесью фтористого и сернистого аммония по методике В. С. Быковой. Погрешность анализа внутренним и внешним контролем оценивали по величине стандартного отклонения ε в параллельных анализах контролируемых проб и коэффициенту вариации w раздельно для двух интервалов содержаний:

Контроль	Интервал содержаний, *г/т*	Число проб	ε, *г/т*	W, %
Внешний	1,0—10,0	19	0,33	7,1
	0,1—1,0	37	0,13	22,8
Внутренний	1,0—10,0	41	0,27	9,9
	0,1—1,0	124	0,10	20,0

Как следует из приведенных оценок, использованный метод анализа обладает достаточно высокой воспроизводимостью и дает надежные результаты природной дисперсии содержаний урана в диапазоне 0,1—10,0 *г/т*, который охватывает весь спектр пород района.

Северо-западная часть Кольского полуострова — область преимущественного распространения пород архейского возраста, представленных различными по составу и происхождению гнейсами, гнейсо-гранитами, гранодиоритами, диоритами и метаморфизованными основными поро-

дами. Среди образований протерозойского возраста выделяют нижнепротерозойские (тундровая серия) и среднепротерозойские (печенгская серия), в которых преобладают метаморфизованные вулкагонные породы основного состава при подчиненной роли первично-осадочных отложений.

Широко проявленные в региональном масштабе процессы метаморфизма соответствуют в протерозойских образованиях фации зеленых сланцев, эпидот-амфиболитовой, в низах разреза — амфиболитовой. Для пород архейского возраста минеральные парагенезисы отвечают амфиболитовой и гранулитовой, в исключительных случаях — эклогитовой фациям метаморфизма. Все породы архейского возраста и частично нижнепротерозойского в той или иной степени мигматизированы и гранитизированы. Конечным продуктом метаморфизма является образование пород гранитного состава, связанных постепенными переходами с мигматитами и вмещающими метаморфическими породами.

Наименее изменены процессами регионального метаморфизма вулканогенные породы печенгской серии, нижние горизонты которой (покровы I и II) относят к группе оливиновых, а верхние (покровы III и IV) — к толеитовым базальтам [4]. Все породы испытали метаморфизм фации зеленых сланцев, выразившийся в частичном замещении высокотемпературных минералов агрегатами хлорита, альбита, актинолита, эпидота и в изменении структуры пород. Вариации содержаний урана в этих породах (см. таблицу) и в относимых к ним некоторыми исследователями плагиопорфиритах (покров V?) находятся в прямой зависимости от основности породы и содержания в них калия, что, по-видимому, отражает распределение этого элемента в ходе магматической дифференциации (рис. 1).

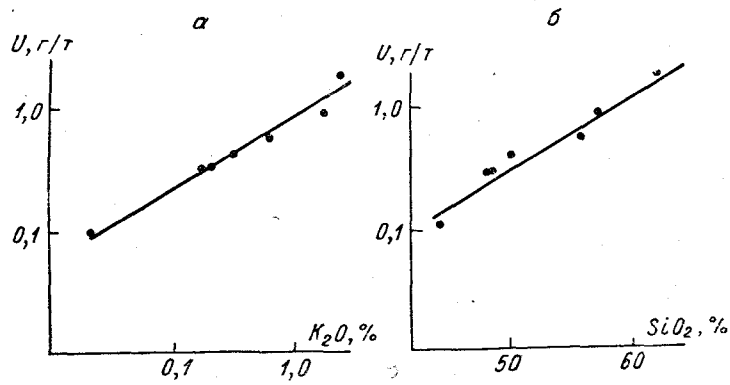


Рис. 1. Зависимости содержаний урана от содержания K_2O и SiO_2 в эффузивных породах печенгской серии

Полученные данные о распределении урана в эффузивах основного состава печенгской и тундровой серии находятся в полном соответствии с известными сведениями о содержании этого элемента в аналогичных по составу и происхождению породах из других районов мира [5].

Как следует из сравнения эффузивов печенгской серии с эпидот-актинолитовыми, актинолитовыми сланцами и амфиболитами тундровой серии, метаморфизм которых соответствует эпидот-амфиболитовой фации, содержания урана в последних и в эффузивах покровов I, III, IV печенг-

Содержание урана в метаморфических породах северо-запада Кольского полуострова

Порода	Возраст	Число определений	Содержание урана, г/т*	ε	$\sigma_{\bar{x}}$
1	2	3	4	5	6
1. В метаморфизованных эффузивных породах основного состава					
Фация зеленых сланцев					
Плагиопорфириты	Pt_2 печенгская серия	15	1,9 1,4—2,3	0,35	0,18
Авгитовые диабазы покрова IV	То же	45	0,4 0,1—0,8	0,17	0,05
Пикритовые порфириты покрова IV	» »	4	0,1 0,1—0,3	0,08	0,08
Метадиабазы, зеленые сланцы покрова III	» »	11	0,3 0,2—0,6	0,16	0,12
Метадиабазы, метамандельштейны, альбитофиры покрова II	» »	14	0,9 0,4—1,0	0,09	0,05
Метадиабазы, метапорфириты покрова I	» »	7	0,5 0,2—0,6	0,16	0,12
Метадиабазы, зеленые сланцы	Pt_1 тундровая серия	28	0,3 0,1—0,8	0,17	0,06
Эпидот-амфиболитовая фация					
Эпидот-актинолитовые, актинолитовые сланцы	То же	13	0,5 0,3—0,8	0,15	0,08
Актинолитовые амфиболиты (по эффузивам)	» »	17	0,4 0,2—0,8	0,17	0,08
Амфиболитовая фация					
Сланцеватые амфиболиты с гранатом	» »	12	0,5 0,2—1,0	0,14	0,08
Полевошпатовые амфиболиты	$A — Pt_1$	38	0,4 0,1—1,0	0,30	0,10
2. В метаморфизованных осадочных породах					
Фация зеленых сланцев					
Филлиты	Pt_2 печенгская серия	45	4,8 0,8—11,0	2,8	1,07
Филлиты с углистым веществом	То же	16	7,6	—	—
Филлиты (штольни, скв.)	» »	28	5,6	—	—
Филлиты (обн.)	» »	17	2,7	—	—
Туфы	» »	5	1,1	0,15	0,13

* В числителе модальное значение, в знаменателе — пределы колебаний; $\sigma_{\bar{x}}$ — ошибка определения среднего с 95%-ной вероятностью.

Продолжение

1	2	3	4	5	6
Песчаники	То же	10	1,2 1,1—1,5	0,16	0,10
Известняки	» »	3	0,4	—	—
Кварциты	» »	3	0,3	—	—
Филлиты	Pt_1 тундровая серия	15	2,4 1,6—4,3	0,74	0,38
Песчаники	То же	8	0,9 0,7—1,1	0,13	0,12
Эпидото-амфиболитовая фация					
Кварц-хлорито-биотитовые сланцы	Pt_1 тундровая серия	21	2,4 1,4—5,0	1,02	0,44
Слюдисто-кварцевые сланцы	То же	9	1,0 0,7—1,4	0,27	0,18
Карбонатные сланцы	» »	4	0,4 0,3—0,5	0,08	0,08
Амфиболитовая фация					
Гранат-андалузитовые сланцы	» »	4	0,5 0,4—0,7	0,14	0,14
Двуслюдяные сланцы	» »	3	0,8 0,6—0,9	—	—
Гранато-биотитовые гнейсы	А кольская серия	19	0,5 0,3—0,7	0,11	0,08
3. В породах гранулитовой фации метаморфизма					
Гиперстеновые диориты	А кольская серия	21	0,2 0,1—0,7	0,25	0,10
Гнейсифицированные гиперстеновые диориты	То же	10	0,3 0,1—0,5	0,12	0,08
Окварцованные гиперстеновые диориты	» »	12	0,25 0,1—0,5	0,12	0,07
Гранулиты (кварц-полевошпатовые породы с гранатом)	» »	12	0,3 0,1—0,7	0,17	0,10
Гиперстеновые диориты с биотитом	» »	8	0,35 0,2—0,7	0,12	0,08
Амфиболизированные гиперстеновые диориты	» »	6	0,2 0,1—0,3	0,09	0,07
Анортозиты	» »	17	0,3 0,1—0,9	0,17	0,08
Нориты	» »	35	0,2 0,1—0,7	0,18	0,06

Продолжение

1	2	3	4	5	6
Гранато-биотитовые гнейсы с силлиманитом, кордиеритом	То же	7	0,3 0,1—0,5	0,12	0,09
Амфиболиты	» »	10	0,3 0,1—0,7	0,17	0,11
Гранат-пироксеновые породы (эклогиты)	» »	11	0,2 0,1—0,4	0,08	0,05
Ультраосновные породы с гранатом и гиперстеном	» »	22	0,1 0,1—0,4	0,13	0,05
4. В гранитизированных породах					
Гнейсо-граниты, плагиограниты	γA	32	0,6 0,1—11,5	1,1	0,39
Мигматитовый материал	γA	5	0,2 0,1—0,6	—	—
Амфиболовые, амфибол-биотитовые, биотитовые гранитизационные гнейсы	$m\gamma Pt_1$	56	1,0 0,3—1,8	0,45	0,15
Мигматизированные амфиболовые, амфибол-биотитовые гнейсы	$m\gamma Pt_1$	26	2,3 1,5—9,5	0,8	0,3
Плагиомикроклиновые, микроклиновые граниты	γPt_1	65	2,6 1,3—5,1	0,7	0,2

ской серии близки. Не происходит заметного изменения концентраций урана и в сланцеватых и полевошпатовых амфиболитах, образованных за счет эффузивов основного состава [8], минеральные ассоциации и структуры в которых указывают на условия амфиболитовой фации метаморфизма. Сравнительно обогащены ураном полевошпатовые амфиболиты ($\bar{x}$=0,9 *г/т*) и амфиболовые сланцы с биотитом ($\bar{x}$=1,2 *г/т*), пространственно близкие к массивам гранитоидов и в той или иной степени мигматизированные.

Из пород осадочного прохождения наиболее высокие концентрации урана характерны для филлитовидных сланцев Печенги, обогащенных углистым веществом и состоящих в основном из хлорита, серицита, кварца и полевого шпата. Значительные вариации в содержании урана по отдельным пробам связаны с различной степенью выветрелости, неоднородным обогащением углистым веществом, примесью туфового материала. Для сравнения в таблице приведены средние содержания урана в сланцах, отобранных из поверхностных обнажений и горных выработок (скважины, штольни) и в туфах среднего состава. Породы осадочного происхождения тундровой серии, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой фации, по содержанию урана неотличимы от соответствующих им аналогов печенгской серии. Кварцево-биотитовые с хлоритом сланцы, которые могут рассматриваться как метаморфизованные в эпидото-амфиболитовой фации пелитовые осадки, характеризуются средним содержанием урана, пониженным сравнительно с обогащенны-

ми углистым веществом филлитами, однако заметных отклонений от содержания урана в филлитовидных сланцах из обнажений не наблюдается. Слюдисто-кварцевые сланцы, метаморфизованные аналоги аркозовых песчаников, не отличаются от последних по содержанию урана.

Сравнительно низкие концентрации урана характерны для пород предположительно осадочного происхождения, метаморфизм которых соответствует амфиболитовой фации и в которых отсутствуют следы мигматизации. Подобный факт может быть объяснен двояко: либо исходные для образования гнейсовых толщ породы имели низкие концентрации урана, либо условия амфиболитовой фации приводят к уменьшению содержаний урана, при этом индивидуальные различия в составе исходных образований нивелируются.

Крайне низкие содержания урана характерны для широкого спектра пород, объединяемых в гранулитовую формацию Кольского полуострова (см. таблицу). Относительно происхождения этой группы пород, претерпевших метаморфизм гранулитовой фации, существуют различные точки зрения. По мнению одних исследователей, это первично-осадочные или вулканогенные образования, по мнению других—интрузивные породы норит-диоритового состава [1]. Существует представление об аналогии рассматриваемых пород с образованиями «базальтового слоя» земной коры [3]. В таблице классификация пород приведена в соответствии с представлением об интрузивном генезисе этих образований.

Анализ данных по содержанию урана в породах гранулитовой фации показывает, что они практически не зависят от основности породы и содержания в них калия. Монотонно низкими значениями характеризуются все разности пород, участвующие в строении гранулитового блока северо-западной части Кольского полуострова. Аномально низкие концентрации урана в породах могут являться следствием термодинамических условий гранулитовой фации метаморфизма, приводящих к потере летучих компонентов и почти полному исчезновению «листоватых» силикатов, обладающих способностью удерживать посторонние ионы в состоянии адсорбции [9]. Однако нельзя исключить и вероятность низких концентраций урана в исходных породах, давших начало серии метаморфических пород гранулитовой формации. Дополнительным свидетельством в пользу последнего предположения может служить тот факт, что гиперстеновые диориты, содержащие биотит и амфибол, амфиболиты, анортозиты и нориты, связанные постепенными переходами с кислыми или основными гранулитами, также имеют низкие концентрации урана, несмотря на более низкую ступень метаморфического изменения.

Изучение содержаний урана в породах, в различной степени преобразованных процессами мигматизации и гранитизации, показывает, что имеются различия в поведении урана при существенно натриевом (верхнеархейском) этапе и более позднем (нижнепротерозойском) калиевом этапе гранитизации.

Гранитизированные образования раннего этапа характеризуются низким содержанием урана, соответствующим его содержанию в исходных породах, подвергшихся ультраметаморфическим изменениям. Мигматитовый материал практически не содержит урана. Повышенные концентрации фиксируются в редких случаях в пегматитовых жилах, сформировавшихся на завершающей стадии гранитизации (6,0—11,5 *г/т*). Можно предположить, что при образовании гранитов этого этапа существенную

роль играет анатексис. Привноса урана не происходит, скорее отмечается его мобилизация и вынос из гранитизируемых толщ с последующим переотложением на стадии пегматитоообразования.

Иная закономерность в поведении урана наблюдается при существенно-калиевом этапе гранитизации. Содержания урана в гранитизационных гнейсах, мигматитах, плагиомикроклиновых и микроклиновых гранитах заметно превышают его концентрацию во вмещающих породах. При этом возрастание содержаний урана пропорционально увеличению содержания K_2O в породах (рис. 2). Очевидно, повышенные содержания

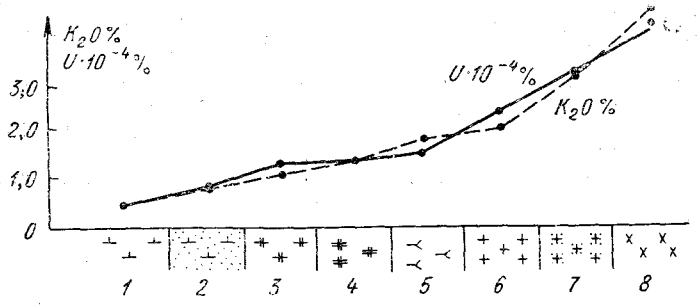


Рис. 2. Изменение содержаний урана и K_2O при мигматизации и гранитизации амфиболитов:

1 — полевошпатовый амфиболит; *2* — мигматизированный полевошпатовый амфиболит; *3* — амфиболовый гранодиорит; *4* — амфибол-биотитовый гранодиорит; *5* — биотитовый гранодиорит; *6* — плагиогранит; *7* — плагиомикроклиновый гранит; *8* — микроклиновый гранит

урана в продуктах ультраметаморфизма являются следствием привноса урана гранитизирующими растворами. Такое предположение подтверждает и тот факт, что в известных в районе гранитных массивах, для которых по геологическим данным предполагается интрузивное происхождение, содержание урана не отличается от гранитизированных образований.

Выводы

1. Содержание урана в породах закономерно уменьшается при переходе от низких ступеней регионального метаморфизма (фация зеленых сланцев) к высоким (амфиболитовая и гранулитовая фации).

2. Содержание урана, свойственное исходным породам, сохраняется при метаморфизме фации зеленых сланцев и эпидот-амфиболитовой фации, что позволяет использовать этот параметр в качестве эталона для установления первичной природы образований.

3. Ультраметаморфические процессы в одних случаях приводят к обогащению продуктов гранитизации ураном, в других — к перераспределению и даже выносу из мигматизируемых пород. В связи с этим уран может рассматриваться как индикатор характера и интенсивности процесса гранитизации.

4. При оценке радиоактивности земной коры в отдельных регионах необходимо учитывать, что слагающие ее метаморфические породы могут иметь значительно более низкие концентрации урана, чем это получается при усреднении данных для гранитов и базальтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев К. Д. Новые данные по структуре, геологии и металлогении гранулитовой формации Кольского полуострова. Тез. докл. регион. петрограф. совещ. по магматизму Балтийского щита. Апатиты, 1968.

2. Ермолаев Н. П., Жидикова А. П. Поведение урана в процессах прогрессивного метаморфизма и ультраметаморфизма на примере западной части Алданского щита. Геохимия, 1966, № 8.

3. Жданов В. В. Метаморфизм и глубинное строение норит-диоритовой (гранулитовой) серии Русской Лапландии. Наука, 1966.

4. Загородный В. Г., Мирская Д. Д., Суслова С. Н. Геологическое строение печенгской осадочно-вулканогенной серии. Наука, 1964.

5. Кларк С. П. мл., Питерман З. М., Хейер К. С. Распространение урана, тория и калия. Справочник физических констант горных пород. Мир, 1969.

6. Смыслов А. А., Титов В. К. Роль регионального метаморфизма в формировании радиогеологической зональности земной коры. ДАН, сер. геол., 1967, № 11.

7. Смыслов А. А. Закономерности распределения и миграции урана и тория в горных породах земной коры. Тр. ВСЕГЕИ, нов. сер., 1968, т. 164.

8. Горелов В. А. Амфиболиты Аллареченского района. В сб.: Вулканогенные и гипербазитовые комплексы протерозоя Карелии, Петрозаводск, 1968.

9. Heier K. S., Adams J. A. S. Geochim. cosmochim. Acta, 1965, v. 29, N 1.