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

О РАДИОАКТИВНОМ РАВНОВЕСИИ МЕЖДУ U и Ra В ГОРНЫХ ПОРОДАХ ПОЛУПУСТЫННОГО КЛИМАТА

М. И. Тюхтин

Содержание урана в горных породах гамма-спектрометрическим и радиохимическим методами определяют в предположении существования радиоактивного равновесия между ураном и радием. Исследования состояния радиоактивного равновесия в горных породах противоречивы [1, 8, 9, 11]. Одни исследователи [8] указывают на значительные нарушения радиоактивного равновесия, другие [1, 3, 9, 10] —на наличие равновесия в пределах точности применявшихся методов определения урана и радия.

Известно [1—11], что состояние радиоактивного равновесия определяется относительными подвижностями урана и радия в конкретных природных условиях. Наиболее важны из этих условий геологическое строение, степень и характер выветривания горных пород, величина и тип минерализации грунтовых вод и климат.

Нами изучалось радиоактивное равновесие в районе, находящемся в зоне аридного полупустынного климата. Величина минерализации подземных вод составляет первые граммы на литр. Состав вод преимущественно сульфатно-карбонатный. Выходы горных пород различной степени выветривания — от скальных обнажений до типичной глинистой коры выветривания. Сглаженные формы рельефа и теплый климат обуславливают преобладание химического выветривания над физическим.

В геологическом строении района участие принимают разнообразные, преимущественно магматические, меньше осадочные образования девонского и каменноугольного возраста. На значительной площади (около 60%) развит плащ элюво-делювиальных и пролювиальных образований мощностью от 0,5 до 5—10 *м*.

Опробованию подвергались наименее выветрелые обнажения горных пород, реже развалы и щебенистая кора выветривания. Содержание урана определяли люминесцентным методом с ошибкой $\pm(0{,}25 \cdot 10^{-4} + 0{,}12\ U)\%$, а радия — радиохимическим методом с ошибкой $\pm(0{,}3 \cdot 10^{-13} + 0{,}06Ra)\%$. Как показывают данные приведенной таблицы, расчетный коэффициент радиоактивного равновесия $K_{рр}$ изменяется от 84 до 118%. Однако в эти величины входят и ошибки определения содержаний урана $\pm(10 \div 15\%)$ и радия $\pm(5 \div 7\%)$. Поэтому истинные величины коэффициента радиоактивного равновесия в пробах одного и того

же типа горной породы в большинстве случаев можно объяснить влиянием суммарных (±10÷20%) погрешностей люминесцентных и радиохимических анализов.

Средние гармонические коэффициенты радиоактивного равновесия находятся в определенной зависимости от состава и генетического типа горных пород. Наименьшая величина $K_{рр}$ в гранитах и гранодиоритах, а наибольшая — в известняках.

Средние (гармонические) коэффициенты радиоактивного равновесия

Порода	Возраст	Число проб	Среднее содержание		$K_{рр}$, %
			Ra экв. U, %	U, %	
Известняк	D_3	2	$3{,}9\cdot10^{-4}$	$3{,}3\cdot10^{-4}$	118
Туфы и туфолавы липаритовых порфиров	D_3	7	4,7	4,8	98
Гранит	D_3	11	4,1	4,8	84
Андезитовый порфирит	D_3	6	3,0	2,6	115
Туфы и туфолавы липаритовых порфиров	C_1	16	5,2	4,6	113
Дайки фельзит-порфиров и кварцевых порфиров	C_1	8	4,4	4,3	103
Гранодиорит	C_2	8	4,0	4,7	85
Микрогранит-порфир	C_2	3	5,3	4,8	111
Дайки гранит-порфира	C_2	2	6,9	4,7	89
Кварцевые жилы	C_2	2	4,8	4,6	105
Вторичные кварциты	C_2	6	4,2	4,0	105

Наблюдаемый в гранитах и гранодиоритах недостаток радия против равновесного в 15—16% можно объяснить следующим образом. В этих породах, содержащих 5—7% акцессорных минералов, большая часть всего урана приходится на акцессорные минералы. Уран в этом случае будет слабо выщелачиваться. Низкое содержание сорбитов (гидроокислов железа и марганца), а также сульфатов и карбонатов в разрушающихся гранитах и гранодиоритах мало ограничивает миграцию радия [2, 4, 5, 6].

В дайковых образованиях средний коэффициент радиоактивного равновесия колеблется от 89 до 111%. Наиболее низкие значения (89%) наблюдаются в дайках гранит-порфиров, промежуточные (103%) — в дайках фельзит-порфиров и кварцевых порфиров и наибольшие (111%) в дайках микрогранит-порфиров. Эти различия, вероятно, можно объяснить особенностями текстуры и структуры пород, резкой трещиноватостью, которые обусловили степень гипергенных изменений выходов горных пород на дневную поверхность.

Среди покровных образований в туфах и туфолавах липаритовых порфиров верхнего девона содержание радия близко к равновесным ($K_{рр}$=98%), а в подобных же породах нижнего карбона равновесие сдвинуто в сторону радия ($K_{рр}$=113%). Нижнекаменноугольные липаритовые порфиры, в отличие от верхнедевонских, подвергнуты интенсивным гидротермальным изменениям (хлоритизация, эпидотизация и др.). Как известно [5], гидротермальная проработка пород приводит к увеличению относительной доли «подвижного» урана. Поэтому можно полагать, что из туфов и туфолав липаритовых порфиров нижнекаменноугольного возраста в зоне гипергенеза уран был частично выщелочен, в

результате чего радиоактивное равновесие было смещено в сторону радия.

Андезитовые порфириты нижнекаменноугольного возраста содержат радия несколько больше равновесного ($K_{рр}=115\%$), что, вероятно, объясняется большей подвижностью урана по сравнению с радием. Последний интенсивно сорбируется гидроокислами железа, которые образуются при выветривании порфиритов.

Во вторичных кварцитах и кварцевых жилах наблюдается практически полное радиоактивное равновесие между ураном и радием ($K_{рр}=105\%$), что указывает на слабое выщелачивание этих элементов из пород.

Известняки охарактеризованы двумя пробами, но в обеих радиоактивное равновесие сдвинуто в сторону недостатка урана ($K_{рр}=118\%$). Это, по-видимому, объясняется большой подвижностью урана в гидрокарбонатных растворах, образующихся при выветривании известняков. Радий, напротив, в этих условиях слабо мигрирует.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атрашенок Л. Я., Крылов А. Я. О радиоактивном равновесии в породах Восточной Антарктиды. Радиохимия, 1963, № 2.
2. Евсеева Л. С., Перельман А. И. Геохимия урана в зоне гипергенеза Госатомиздат, 1962.
3. Комлев Л. В., Иванова К. С. О радиоактивном равновесии в акцессорных монацитах. Радиохимия, 1964, № 5.
4. Нейербург Дж. Дж. Уран в изверженных породах Соединенных Штатов Америки. Мат. Международн. конф. по мирному использованию атомной энергии. Т. 6, Госгеолтехиздат, 1958.
5. Основные черты геохимии урана. АН СССР, 1963.
6. Сегель Н. М. Вопросы геохимии урана и тория. Выщелачиваемость радия и урана из минералов. Тр. Радиевого ин-та 1938, т. IV.
7. Старик И. Е. Основы радиохимии. АН СССР, 1959.
8. Старик И. Е., Атрашенок Л. Я., Крылов А. Я. О радиоактивном равновесии в гранитах Центрального Тянь-Шаня. ДАН СССР, 1960, т. 132, № 1.
9. Сыромятников Н. Г., Иванова Э. И. Радиологическое изучение гранитов массива Ортау. Геохимия, 1968, № 3.
10. Токарев А. Н., Щербаков А. В. Радиогидрогеология. Госгеолтехиздат, 1956.
11. Breger I. A. Geochim. Cosmochim. Acta, 1955, N 1.