

с увеличением их энергии и атомного номера облучаемого материала. Из легких элементов, входящих в состав полимеров, только фтор при энергиях нейтронов 0,5—1,0 Мэв имеет сечение неупругого рассеяния, равное 1,25—0,5 барн; при этом испускаются  $\gamma$ -кванты с энергиями 0,109 и 0,197 Мэв. При энергиях нейтронов, превышающих 1 Мэв, неупругое рассеяние возможно также на ядрах алюминия, магния, железа и других металлов, входящих в состав резин. Энергия излучаемых при этом  $\gamma$ -квантов составляет приблизительно 1 Мэв. Таким образом, вклад  $\gamma$ -излучения неупругого рассеяния в поглощенную дозу может конкурировать с вкладом упругого рассеяния только для энергий нейтронов более 0,5 Мэв и при условии, что доля металла в составе облучаемого материала достаточно велика.

Сечение радиационного захвата быстрых нейтронов в сотни раз меньше сечения рассеяния, причем в легких элементах в случае тонких объектов облучения поглощается лишь небольшая часть выделившейся энергии, поэтому для рассматриваемых материалов можно пренебречь вкладом  $\gamma$ -излучения реакции ( $n, \gamma$ ) в поглощенную дозу. Аналогичный вывод сделан относительно вторичных заряженных частиц ядер отдачи и наведенной активности.

Результаты расчетов поглощенной дозы, нормированной к единичному потоку быстрых нейтронов, для некоторых полимеров и воды представлены в табл. 3.

При облучении в реакторе вклад быстрых и тепловых нейтронов в суммарную поглощенную дозу зависит от состава полимера. Для большинства полимеров поглощенная доза быст-

рых нейтронов намного превышает соответствующую величину для тепловых нейтронов. Исключение составляют полимеры, содержащие значительные количества фтора. Расчет, проведенный для облучения полиэтилена и фторкаучука Kel-F в активной зоне реактора на тепловых нейтронах ВВР-М [9], показал, что поглощенная доза тепловых нейтронов в полиэтилене не превышает 1%, а в Kel-F составляет 50% от поглощенной дозы быстрых и промежуточных нейтронов. При облучении в районе бериллиевого отражателя аналогичные величины составили 3% для полиэтилена и 100% для Kel-F.

В заключение выражаем благодарность Е. Н. Смагину за ценное обсуждение работы.

Поступила в Редакцию 9/1 1964 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Чарльз и др. Ядерные излучения и полимеры. М., Изд-во иностр. лит., 1962.
2. Ю. В. Сивинцев. «Атомная энергия», 9, 39 (1960).
3. R. Berger. Rad. Res., 15, 1 (1961).
4. Ф. А. Махлис, А. Х. Брегер. «Каучук и резина», № 8, 18 (1964).
5. А. М. Коган и др. «Атомная энергия», 7, 351 (1959).
6. Б. Прайс, К. Хортон, К. Спинни. Защита от ядерных излучений. М., Изд-во иностр. лит., 1959.
7. М. И. Шальнов. Тканевая доза нейтронов. М., Атомиздат, 1960.
8. Р. Егер. Дозиметрия и защита от излучений. М., Госатомиздат, 1961.
9. В. В. Гончаров и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии». Докл. сов. ученых. Т. 2. М., Атомиздат, 1959, стр. 293.

УДК 550.8/546.791

## Об увеличении глубинности поисков скрытых урановых рудных тел по первичным ореолам урана

С. В. Григорян

На основании изучения первичных ореолов урана одного из гидротермальных урановых месторождений установлено, что применение рационального химического анализа на уран (определение в пробах содержания подвижного урана) позволяет более полно выявить первичные ореолы урана и тем самым увеличить глубину поисков скрытых урановых рудных тел по первичным ореолам урана. Показано, что описанный метод рационального химического анализа является наиболее

эффективным для элементов, выявленные ореолы которых в силу различных причин (высокое фоновое содержание во вмещающих породах, низкое содержание в рудах и т. д.) незначительны по размерам и интенсивности.

Исследования последних лет показали, что вокруг урановых рудных тел гидротермального



происхождения образуются ореолы урана и других элементов, которые можно использовать при поисках скрытых рудных тел [1, 2]. В качестве основных элементов-индикаторов урановых рудных тел используются элементы, образующие наиболее протяженные и широкие ореолы.

Изучение особенностей распределения элементов на ряде гидротермальных урановых месторождений показало, что по мере удаления от рудных тел в стороны (в поперечном разрезе) концентрация урана и его спутников уменьшается в геометрической прогрессии [2, 3]. Исходя из этого, рассеяние любого химического элемента вокруг рудных тел можно представить в виде графика (рис. 1). Поскольку концентрация уменьшается в геометрической прогрессии, распределение элемента в поллогарифмической системе координат выразится прямой линией.

На практике ореолы оконтуривают по величине минимального аномального содержания элемента подобно тому, как при разведке месторождений границы промышленных рудных тел определяются по бортовому содержанию полезного компонента [2]. На рис. 1 полуширине ореола соответствует отрезок, отсеченный графиком распределения на горизонтальной линии минимального аномального содержания. В действительности ореол будет значительно шире, поскольку концентрации привнесенных при рудообразовании элементов по мере удаления от рудных тел снижаются

не до минимального аномального содержания, а до содержаний в поровых растворах, насыщающих вмещающие породы в момент образования рудных тел и ореолов. Это обусловлено тем, что при формировании первичных ореолов происходит выравнивание концентрации элементов между рудоносными растворами и насыщающими вмещающие породы поровыми растворами. Образовавшиеся в результате этого выравнивания ореолы и будут иметь максимальные размеры. Назовем эти ореолы истинными, а ореолы, оконтуренные по минимальному аномальному содержанию, — выявленными. Различие между этими ореолами будет тем значительнее, чем больше величина минимального аномального содержания элемента.

Исследования показали, что протяженность выявленных ореолов по вертикали значительно меньше протяженности истинных ореолов. Соотношение размеров выявленных и истинных ореолов подробно изучалось на одном из гидротермальных урановых месторождений, залегающем в гранитах.

Месторождение представлено многочисленными мелкими смолково-флюоритовыми прожилками, образующими рудные тела штокерного типа различных размеров, вытянутые в северо-западном направлении. Падение рудных тел крутое. Границы промышленных руд устанавливаются по результатам опробования.

При оконтуривании ореолов элементов минимальное аномальное содержание урана определяли, исходя из величины его геохимического фона и стандарта распределения в породах [4]. Более подробно методика оконтуривания ореолов изложена в работе [2].

Для определения вертикальной протяженности выявленных и истинных ореолов были построены графики изменения величины линей-

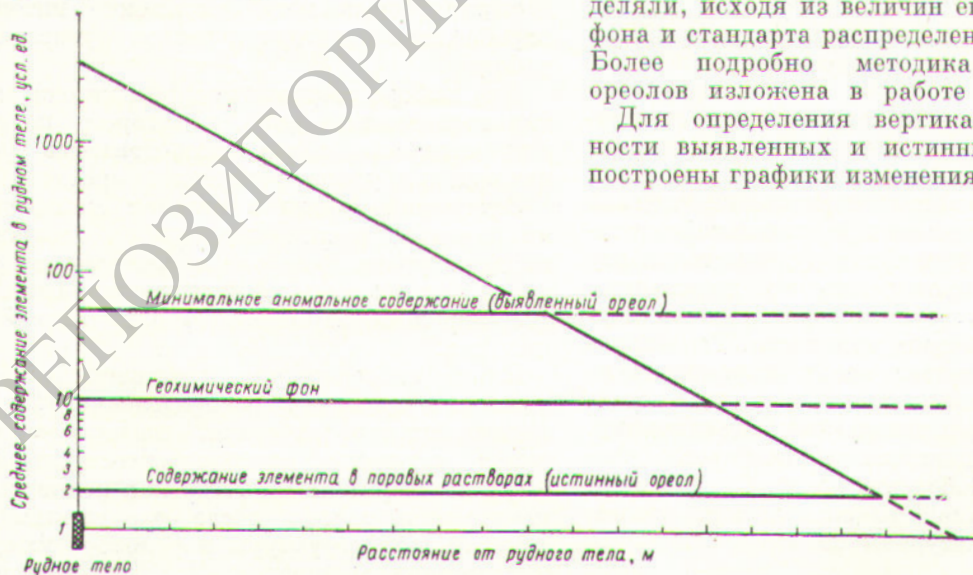


Рис. 1 Распределение химического элемента вокруг рудного тела.



ной продуктивности\* ореола урана по вертикальным поперечным разрезам через рудные тела (рис. 2). Линейная продуктивность ореола на данном горизонте определялась путем умножения среднего содержания урана по ореолу на ширину ореола. На рис. 2 по оси абсцисс отложена величина линейной продуктивности,

подсчитанная по ореолу подвижного урана [2, 4]. По оси ординат в линейном масштабе отложены

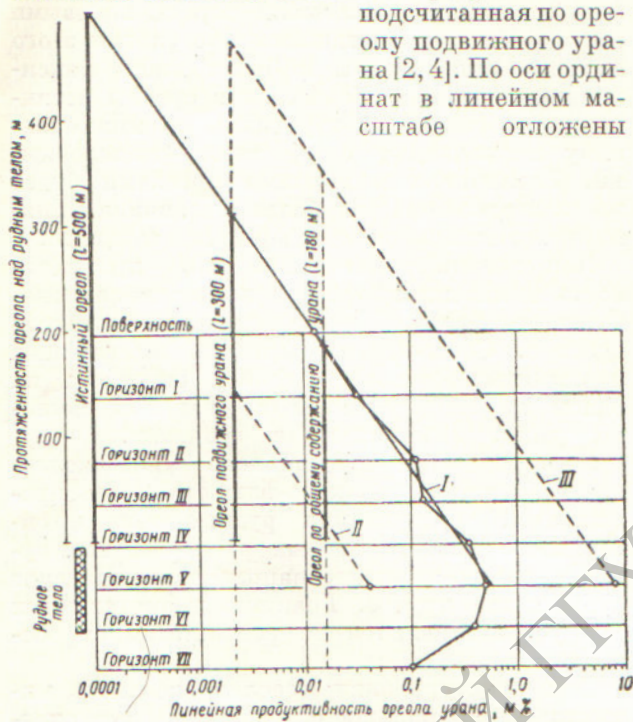


Рис. 2. Протяженность ореолов урана над рудным телом. (I, II, III — прямые изменения продуктивности ореола урана по вертикали.)

расстояния горизонтов опробования от рудного тела. Из рисунка видно, что изменение линейной продуктивности ореола урана по вертикали выражается практически прямой линией. Для определения вертикальной протяженности ореола урана над рудным телом эту линию следует продолжить до пересечения с линией, соответствующей минимальной аномальной линейной продуктивности. Такой продуктивностью обладает ореол, характеризующийся минимальной шириной и средним содержанием, равным минимальному аномальному. Выявляемая минимальная ширина ореола равна интервалу опробования (5 м). Однако нами она принята равной 10 м, так как ореолы должны быть оконтурены не менее чем двумя

\* Понятие о продуктивности ореолов рассеяния введено А. П. Соловьевым [5].

пробами. В противном случае за ореол ошибочно можно принять пробы, в которых высокие содержания элементов вызваны случайными факторами (например, колебанием фона). На описываемом месторождении минимальное аномальное содержание урана было принято равным 0,0016%, что превышает геохимический фон (гф) вмещающих гранитов (0,0007%) на двойную величину стандарта распределения (гф + 2σ). Таким образом, минимальная аномальная продуктивность будет равна 0,0016 · 10 = 0,016 м%.

Протяженность ореола урана над рудным телом, определенная путем экстраполяции (см. рис. 2), равна 180 м. Аналогично устанавливается протяженность истинного ореола урана над этим же рудным телом. Она равна расстоянию от рудного тела до точки пересечения прямой продуктивности с вертикальной линией, которая соответствует линейной продуктивности, равной произведению содержания урана в поровых растворах на минимальную ширину ореола (10 м). Графическое определение показывает, что протяженность истинного ореола урана над рудным телом по данному разрезу составляет примерно 500 м, т. е. более чем в 2,5 раза превышает протяженность выявленного ореола.

Из сказанного выше ясно, что глубинность ореольной съемки может быть увеличена путем уменьшения величины минимальной аномальной продуктивности ореола прежде всего за счет снижения минимального аномального содержания, поскольку сокращение интервала опробования приводит к резкому удорожанию работ.

Для выбора соответствующего метода рационального анализа проб, к которому по существу сводится задача, исследовались формы нахождения урана в пределах ореолов.

Содержание урана в ореолах складывается из первично распределенного во вмещающих породах урана (кларковое содержание) и из урана, привнесенного гидротермальными растворами и образующего ореолы вокруг рудных тел.

Многие исследователи, изучавшие формы нахождения первично распределенного в магматических породах урана, отмечают, что часть урана извлекается из пород относительно слабыми растворителями, тогда как полностью он извлекается только после разрушения кристаллической структуры породообразующих и аксессуарных минералов. Л. Таусон выделяет две основные формы нахождения урана в гра-



янтюидах — неизоморфную и изоморфную [6]. Неизоморфной формой он считает ту часть урана, которая извлекается при кипячении 5%-ным раствором углекислого аммония с добавлением перекиси водорода. В этих условиях кристаллическая решетка породообразующих и аксессуарных минералов практически не разрушается. Л. Таусон считает, что при описанном методе разложения проб в раствор переходит также уран, находящийся в породе в форме собственных минералов (например, в виде окислов). Как показали эксперименты, содержание неизоморфного урана в гранитоидах незначительно.

Проведенное нами изучение форм нахождения урана в его ореолах показало, что уран, привнесенный во вмещающие породы в процессе образования рудных тел, в основном находится в форме собственных минералов — урановой смолки и черней [2]. Для перевода последних в раствор без разрушения кристаллической решетки породообразующих и аксессуарных минералов навеску пробы обрабатывали 2%-ным раствором соды при кипячении в течение 30 мин с добавлением в качестве окислителя перекиси водорода.

Для выяснения степени извлечения урана из урановой смолки и черней пробы, состоящие из искусственной смеси этих минералов с чистым кварцевым песком, обрабатывались описанным способом. В этих же пробах путем сплавления навески с содой определялось общее содержание урана. Как показали результаты опытов, урановая смолка и черни хорошо растворяются в растворе соды (см. таблицу).

Степень извлечения урана из урановой смолки и черней растворами  $\text{Na}_2\text{CO}_3$

Номер проб	Носитель урана	Общее содержание урана, %	Извлечение урана в раствор, %
A-3	Смолка	$3,6 \cdot 10^{-4}$	75
A-12	»	$9 \cdot 10^{-4}$	89
A-5	»	$8 \cdot 10^{-4}$	75
C-89	»	0,2	90
C-1	»	0,31	74
A-9	Черни	$3,6 \cdot 10^{-4}$	100

Следует отметить, что из вмещающих гранитов, отобранных за пределами ореолов, раствором  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  извлекается лишь незначительная часть первичного урана — так называемый подвижный уран [6—8]. Минимальное аномальное содержание подвижного урана для

гранитов описываемого месторождения равно  $2 \cdot 10^{-4}\%$ , что также превышает геохимический фон (0,00004%) на двойную величину стандарта распределения ( $gf + 2\sigma$ ). Минимальная аномальная продуктивность (линейная) подвижного урана равна 0,002 м%. Как показало графическое определение, протяженность ореола подвижного урана над скрытым рудным телом более чем в полтора раза больше протяженности ореола, выявленного путем определения в пробах общего содержания урана (см. рис. 2). Другими словами, применение описанного метода рационального анализа проб на уран позволяет значительно увеличить глубину поисков скрытых рудных тел по ореолам урана.

Этот вывод, сделанный на основании графических построений, подтверждается результатами оконтуривания ореолов урана по вертикальным поперечным разрезам через рудные тела. На рис. 3 показаны ореолы урана, выявленные вокруг скрытого уранового рудного тела. График линейной продуктивности ореола урана по этому разрезу приведен на рис. 2. Вокруг рудного тела ореол оконтурен дважды: путем определения в пробах подвижного урана и общего содержания урана. Для сокращения числа анализов общее содержание урана определялось только в пробах, отобранных на поверхности и на первом горизонте (см. рис. 3).

Сравнение показывает, что ореол подвижного урана шире и протяженнее. Во всех пробах, отобранных на поверхности, содержание подвижного урана аномальное, тогда как в тех же пробах общее содержание урана меньше его минимального аномального, т. е. на поверхности данного разреза ореол урана по общему содержанию не выявляется. На первом горизонте ширина ореола урана незначительна. Как следует из рис. 3, при поисках рудных тел по ореолам урана, выявленным путем определения в пробах его общего содержания, скрытое рудное тело не было бы зафиксировано.

На рис. 4 показаны ореолы урана, выявленные вокруг двух сближенных скрытых урановых рудных тел. Последние на поверхности фиксируются всего двумя пробами с минимальными аномальными концентрациями общего урана. Вместе с тем все отобранные на поверхности пробы находятся в пределах ореола подвижного урана. Кроме того, на поверхности непосредственно над рудными телами по подвижному урану обнаружено второе аномаль-



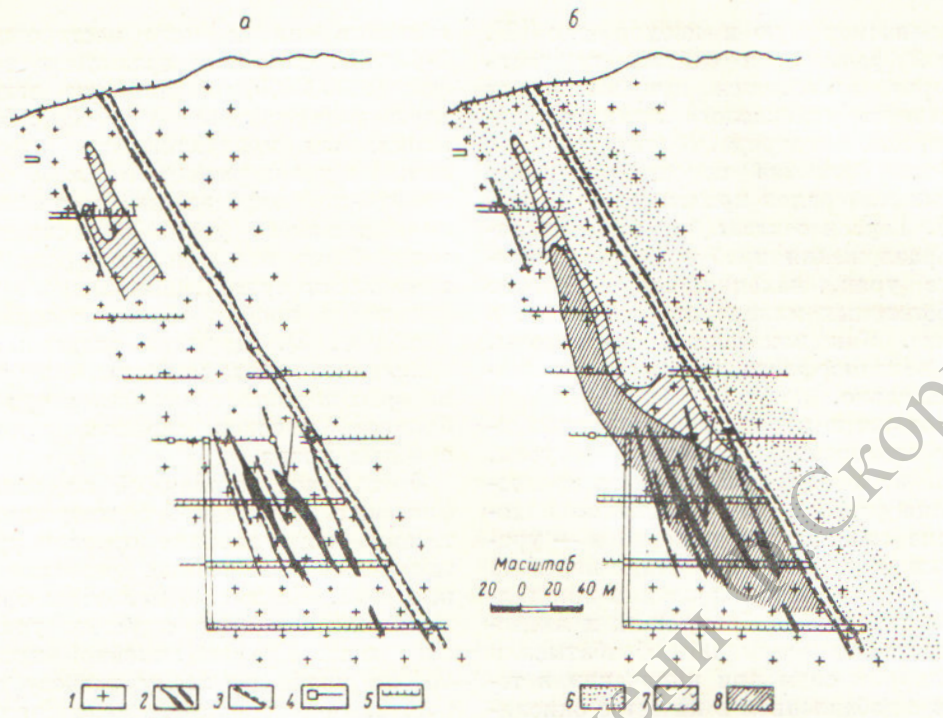


Рис. 3. Первичные ореолы урана (а — ореол по общему содержанию урана; б — ореол по подвижному урану):  
 1 — граниты; 2 — рудное тело; 3 — тектонические нарушения; 4 — горные выработки и скважины; 5 — интервалы опробования. Содержание урана, %: 6 — 0,0002—0,0015; 7 — 0,0015—0,005; 8 — более 0,005.

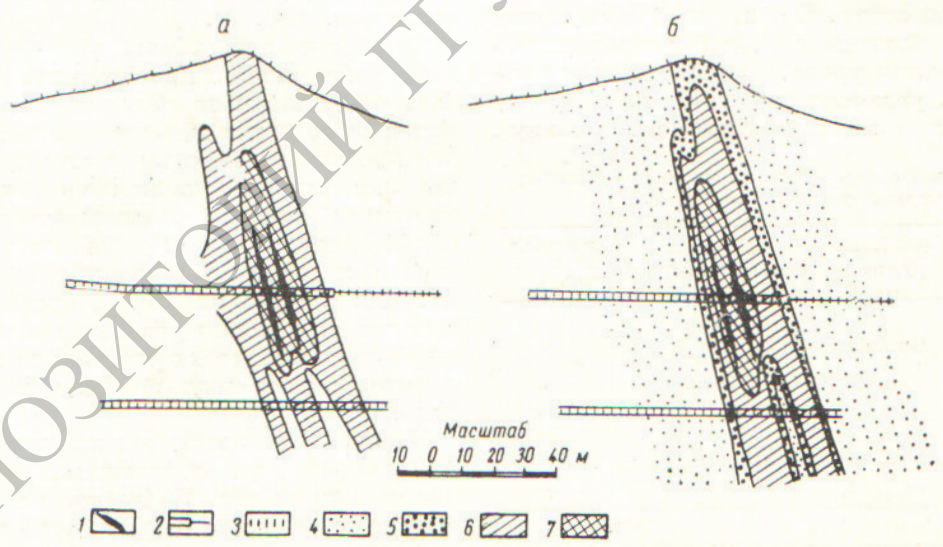


Рис. 4. Первичные ореолы урана (а — ореол по общему содержанию урана; б — ореол по подвижному урану):  
 1 — рудное тело; 2 — горные выработки и скважины; 3 — интервал опробования. Содержание урана, %: 4 — 0,0002—0,0005; 5 — 0,0005—0,0015; 6 — 0,0015—0,005; 7 — более 0,005.



ное поле, ширина которого превышает ореол, выявленный по общему содержанию урана (см. рис. 4).

Описанный метод анализа проб на подвижный уран значительно проще определения общего содержания урана. Это позволяет выполнить массовые анализы проб, столь необходимые при геохимических поисках. Следует ожидать, что применение рационального анализа будет наиболее эффективным для элементов, выявленные ореолы которых по размерам и интенсивности незначительны. Из рис. 2 видно, что применение рационального анализа на уран позволяет увеличить протяженность выявленного ореола урана, обладающего максимальной продуктивностью, в 1,2 раза (график III), тогда как протяженность ореола, обладающего минимальной продуктивностью, увеличивается почти в 10 раз (график II).

Таким образом, можно сделать следующие выводы.

1. Применение рационального химического анализа на уран (определение в пробах содержания подвижного урана) позволяет более полно выявить первичные ореолы урана и тем самым увеличить глубину поисков скрытых урановых рудных тел по первичным ореолам урана.

2. Применение рационального химического анализа будет наиболее эффективным для эле-

ментов, выявленные ореолы которых в силу различных причин (высокое фоновое содержание во вмещающих породах, низкое содержание в рудах и т. д.) незначительны по размерам и интенсивности.

3. Рациональным химическим анализом могут быть выявлены первичные ореолы ряда новых элементов, которые нельзя обнаружить при определении общего содержания элементов из-за их высоких фоновых, а следовательно, и минимальных аномальных содержаний.

Поступила в Редакцию 14/II 1964 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. Д. Каблук, Г. И. Вертепов. «Геология рудных месторождений», № 2, 20 (1960).
2. Е. М. Янишевский и др. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. М., Госгеолтехиздат, 1963.
3. H. Morris, T. Lovring. Econ. Geol., 47, 7, 685 (1952).
4. С. В. Григорян. «Разведка и охрана недр», № 2, 26 (1964).
5. А. И. Соловов. «Разведка и охрана недр», № 4, 46 (1952).
6. Л. Е. Таусон. «Геохимия», № 3, 9 (1956).
7. Л. С. Евсеева, А. И. Перельман. Геохимия урана в зоне гипергенеза. М., Госатомиздат, 1962.
8. А. С. Сауков. Радиоактивные элементы земли. М., Госатомиздат, 1961.



РЕПОЗИТОРИЙ ГУМОР