

К вопросу о механизме движения гидротермальных растворов (на примере месторождений урана)

Э. Н. БАРАНОВ, С. В. ГРИГОРЯН

УДК 553.061.12

Особенности распределения элементов в ореолах рассеяния вокруг рудных тел гидротермальных урановых месторождений одной рудной провинции указывают на то, что ореолы и рудные тела не могли сформироваться в результате воздействия сквозного потока циркулирующих рудоносных растворов, а образовались при поступлении в участки рудоотложения отдельных, относительно ограниченных по объему порций растворов.

В связи с изучением эндогенных ореолов рассеяния некоторых месторождений урана получена возможность уточнить представления о механизме движения гидротермальных растворов. Как показывает изучение ореолов на этих месторождениях [1], в рудных телах концентрируется только часть привнесенных гидротермальными растворами компонентов; другая, иногда в несколько раз большая их часть рассеивается во вмещающих породах.

Ниже на основании результатов изучения эндогенных ореолов рассеяния гидротермальных урановых месторождений рассматриваются особенности их формирования. Месторождения относятся к настуран-сульфидной формации. В составе их руд широко распространены такие рудные минералы, как настуран, галенит, молибденит, пирит, иногда сфалерит, а из жильных минералов — кальцит, кварц, флюорит, серицит, альбит. Соотношения минералов в рудах изменчивы. По преобладающим минералам выделяются настуран-молибденитовая, настуран-галенитовая, настуран-сфалеритовая и настуран-флюоритовая парагенетические ассоциации [2].

В рудах урановых месторождений данной рудной провинции постоянно присутствуют молибден и свинец в высоких концентрациях, что позволяет рассматривать их как характерные элементы-спутники. Процесс минералообразования в большинстве месторождений был многостадийным.

Рудные тела представлены крутопадающими жилами, а также крутопадающими и пологопадающими линзообразными и столбообразными залежами со штокверковым строением. Широко распространены «слепые» рудные тела, не вскрытые эрозией.

Вмещающими породами являются интрузивные, эффузивные и эффузивно-осадочные поро-

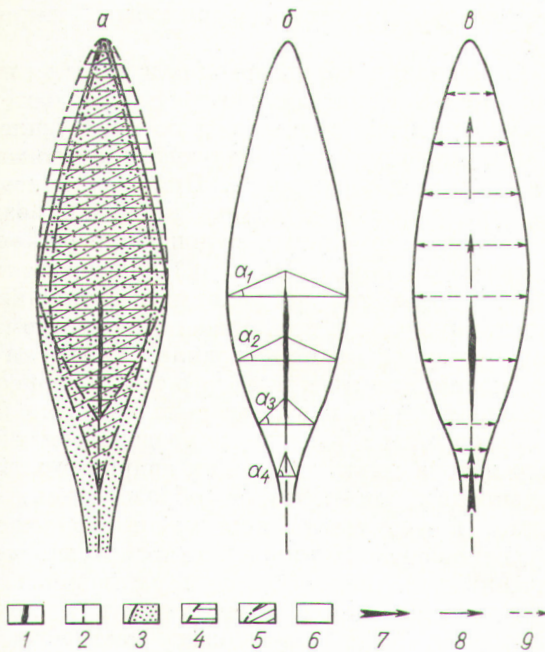
ды кислого, реже — среднего состава. Около рудных тел они претерпевают изменения, выражающиеся в окварцевании, серицитизации, альбитизации и гематитизации.

Рассматриваемые месторождения образованы в условиях малых глубин (верхние части месторождений сформировались примерно на глубине 500—700 м от поверхности земли) и низких температур (главным образом в интервале 150—200° С).

Эндогенные ореолы рассеяния таких месторождений детально рассмотрены в работах [1, 3, 4], поэтому описание ореолов здесь не приводится, а исследуются лишь особенности распределения рудообразующих элементов в ореолах, позволяющие восстановить пути и направление миграции элементов.

Ореолы урана и элементов-спутников по размерам во много раз превышают рудные тела, около которых они развиваются, и имеют в общем виде симметричное строение, обусловленное постепенным уменьшением концентрации рассеянных элементов по мере удаления от рудных тел (рис. 1, а). В деталях распределение элементов в ореолах крайне неравномерное. Кривые распределения элементов в ореолах имеют сложную форму с многочисленными пиками и провалами. Высокие концентрации урана и элементов-спутников устанавливаются в материале и по стенкам многочисленных трещин. В стороны от трещин содержание элементов в породах резко уменьшается почти экспоненциально. Аналогичный характер убывания концентраций элементов по мере удаления от рудного тела выявляется и в пределах ореола в целом. Это хорошо видно на обобщающих графиках распределения элементов около рудных тел, полученных путем «сглаживания» первичных графиков по методу «скользящего окна».

На примере крутопадающих рудных тел установлено, что градиенты убывания концентраций урана и элементов-спутников в ореолах в стороны от рудных тел различны на разных уровнях вертикального разреза ореолов. На рис. 1, б приведены идеализированные графики распределения концентраций элементов в полулогарифмическом масштабе в поперечном вертикальном сечении ореола крутопадающего



Р и с. 1. Вертикальные поперечные разрезы через ореолы рассеяния:

a — схема строения ореола рассеяния около крутопадающего рудного тела; *b* — идеализированные графики распределения элементов (по вертикали — содержание элементов в логарифмическом масштабе, по горизонтали — расстояние от рудного тела в линейном масштабе); *в* — схема миграции рудных компонентов при образовании ореола; 1 — рудное тело; 2 — рудовмещающее нарушение; 3 — ореол урана; 4 — ореол свинца; 5 — ореол молибдена; 6 — вмещающие породы с фоновым содержанием элементов; 7 — направление поступления рудоносных растворов в участок рудоотложения; 8 — направление замедленного просачивания растворов в надрудной толще; 9 — направление диффузионного рассеяния рудных компонентов во вмещающих породах.

рудного тела. Градиент концентрации по величине равен тангенсу острого угла α , образованного графиком распределения с осью абсцисс. Как следует из графиков, в верхних частях крутопадающих рудных тел, в местах их выклинивания по восстанию, градиент концентраций урана и особенно элементов-спутников является минимальным, а в нижних частях рудных тел, в местах их выклинивания по падению, резко возрастает ($\alpha_1 < \alpha_2 < \alpha < \alpha_4$). Все это обуславливает максимальную ширину ореолов на уровне верхних частей рудных тел и в надрудных сечениях и резкое уменьшение ширины ореолов на уровне нижних частей рудных тел и в подрудных сечениях. Градиент убывания концентраций элементов по восстанию ореола над рудными телами меньше градиента по падению. Различие в величине градиентов особенно заметно для ореолов рассеяния свинца. Все это проявляется в том, что

ореолы урана, молибдена и особенно свинца имеют большую протяженность по восстанию в надрудной толще пород, чем по падению под рудными телами.

Отмеченные особенности распределения элементов в ореолах рассеяния около крутопадающих рудных тел определяют форму ореолов в вертикальном разрезе, сходную с формой языка пламени (см. рис. 1, *a*, *b*). Более сложную, но в общем виде также пламевидную форму в вертикальном разрезе имеют ореолы около пологозалегающих рудных тел.

Постепенное уменьшение размеров ореолов и концентраций элементов в них по мере удаления от рудных тел по восстанию указывает на выклинивание ореолов в надрудных толщах. Вследствие значительных размеров ореолов их выклинивание в надрудных толщах не всегда удается установить, поскольку ореолы в полях низких концентраций, как правило, вскрываются эрозивной поверхностью. Слепые ореолы урана и элементов-спутников обычно наблюдаются около небольших рудных тел, вскрытых на значительных глубинах. В этом отношении показательны ореолы рассеяния около рудных тел на месторождении, залегающем в гранитах (рис. 2).

Изучение ореолов, развивающихся вокруг рудных тел, которые залегают на различных глубинах, но в сходной литолого-структурной обстановке, показывает, что морфология ореолов и особенности их строения не зависят от глубины залегания рудных тел.

На одном и том же уровне часто наблюдаются нижние подрудные части ореола одного рудного тела и верхние надрудные части ореола другого, более глубоко залегающего рудного тела. Часто происходит пространственное совмещение надрудных частей ореола глубоко залегающего рудного тела с подрудными частями ореола выше залегающего рудного тела.

Рассмотрение распределения элементов в ореолах и морфологии ореолов позволяет прийти к предположению о миграции рудообразующих компонентов.

Постепенный спад концентраций элементов в ореолах с удалением от рудных тел подтверждает представление о том, что именно участки рудоотложения были местами накопления рудообразующих компонентов. Экспоненциальное убывание содержания урана и других элементов позволяет считать, что рассеяние компонентов в стороны от участков рудоотложения происходило в основном путем диффузии. Значительная ширина ореолов, обычно пре-

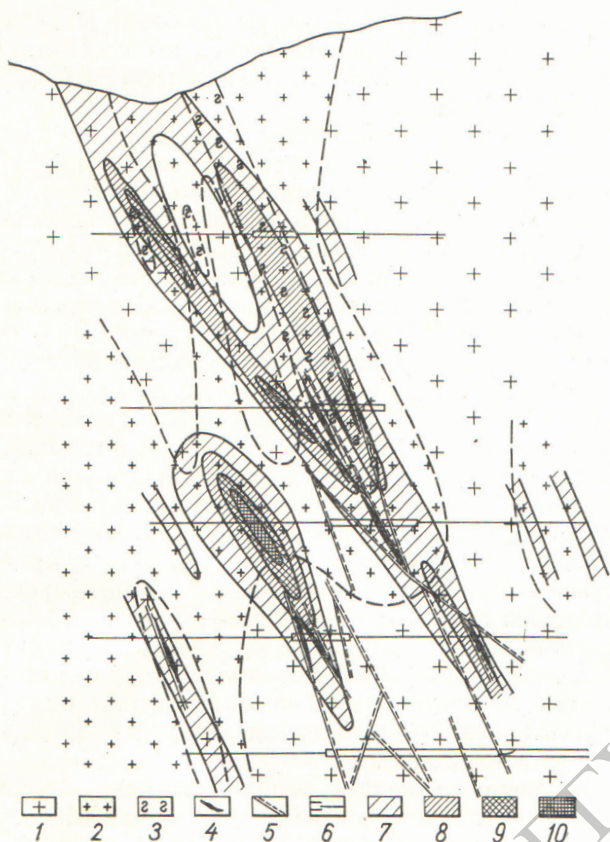


Рис. 2. Ореолы рассеяния свинца около рудных тел в вертикальном поперечном сечении:

1 — крупнозернистые граниты; 2 — мелкозернистые граниты; 3 — грейзенизация; 4 — рудные тела; 5 — тектонические нарушения; 6 — горные выработки и скважины. Содержание свинца в ореолах, %: 7 — 0,01—0,03; 8 — 0,03—0,1; 9 — 0,1—0,3; 10 — более 0,3.

вышающая возможности диффузионного проникновения компонентов в стороны от питающих каналов, обуславливается наличием зон мелкой трещиноватости около относительно крупных рудовмещающих нарушений, вследствие чего незначительные по ширине диффузионные ореолы около отдельных мелких

трещин суммируются в один общий широкий ореол.

Пламевидная форма ореолов и их отчетливое выклинивание по восстанию свидетельствуют о том, что выше рудных тел по мере удаления от них миграция рудообразующих компонентов постепенно прекращалась. При выклинивании ореолов исчезают и другие признаки воздействия гидротермальных рудоносных растворов (измененные породы и т. п.). Следовательно, выше рудных тел на некотором удалении от них циркуляции и просачивания гидротермальных растворов не происходило. Учитывая все это, можно прийти к выводу о том, что ореолы, а следовательно, и рудные тела не могли быть сформированы в результате воздействия сквозного потока циркулирующих гидротермальных рудоносных растворов, а образовались, очевидно, в результате поступления в участки рудоотложения отдельных относительно ограниченных по объему порций растворов.

Сделанный вывод подтверждают и другие аргументы. Для изученных месторождений выявляется симбатная зависимость между параметрами рудных тел и окаймляющих их ореолов. В общем виде она выражается в том, что в сходных литолого-структурных условиях ореол рассеяния крупного рудного тела по размерам гораздо больше, чем ореол мелкого рудного тела. На месторождении, залегающем в гранитах, установлена четкая зависимость продуктивности* ореолов от мощности рудных тел (рис. 3).

Физико-математический анализ этой зависимости для диффузионных ореолов был сделан Р. И. Дубовым [5]. Он показал, что при увеличении объема стационарного рассеивающего тела (в данном случае при увеличении объема поступившей порции рудоносных растворов) увеличивается и ширина диффузионного ореола, тогда как при поддержании постоянной концентрации на границе рассеивающего тела

* Имеется в виду линейная продуктивность ореола [4].

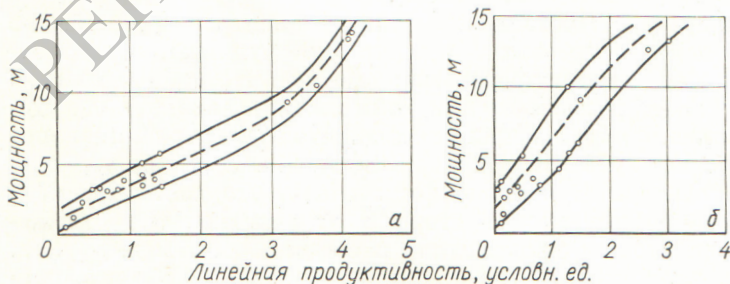


Рис. 3. Изменение продуктивности ореолов урана и свинца в зависимости от мощности рудных тел:

а — уран; б — свинец; ○ — точки наблюдений; — — — границы разброса точек; — — — средняя линия значения продуктивности ореолов.

(что может быть около полости, по которой циркулируют растворы) ширина ореола не зависит от объема рассеивающего тела. С учетом ведущей роли диффузии в рассеянии элементов в стороны от рудных тел на изученных месторождениях выводы Р. И. Дубова могут быть распространены и на случай, рассматриваемый авторами настоящей работы. Следовательно, наличие зависимости между параметрами рудных тел и окаймляющих их ореолов должно рассматриваться как дополнительное подтверждение того, что объем гидротермальных растворов в рудовмещающих полостях был ограничен и значительной циркуляцией растворов в участках рудоотложения не происходило.

Выявляемые, по данным изучения ореолов, особенности движения растворов при формировании урановых месторождений исследуемой группы согласуются с представлениями А. Г. Бетехтина [6] о причинах движения гидротермальных растворов при формировании жильных месторождений.

Как известно, согласно представлениям Бетехтина, движение гидротермальных растворов связывается с образованием в раскрывающихся на глубине трещинах вакуума, засасывающего растворы. В рассматриваемом случае при образовании урановых рудных тел приоткрывание трещинных полостей приводило к тому, что гидротермальные растворы под воздействием разности давлений с большой скоростью устремлялись в эти полости, выполняя их. Количество (объем) гидротермальных растворов, поступивших в полость, естественно, ограничивалось объемом самой полости. Приоткрывание полостей трещин вследствие возобновления текто-

нических движений и соответственно поступление в них рудоносных растворов могло происходить неоднократно. Отражение этого можно видеть в пульсирующем развитии процесса минералообразования на рассматриваемых месторождениях: в многостадийности процесса минералообразования и возникновении нескольких генераций настурана [2].

Очевидно, рассмотренный механизм движения гидротермальных растворов мог иметь место и при формировании других гидротермальных месторождений. Но в целом он, по видимому, не является универсальным для образования гидротермальных месторождений и отражает частный случай формирования данной группы урановых месторождений.

Поступила в Редакцию 18/X 1965 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Е. М. Янишевский и др. Эндогенные ореолы рассеяния некоторых гидротермальных месторождений. М., Гостеолтехиздат, 1963.
2. А. И. Тишкин и др. В кн. «Труды Второй международной конференции по мирному использованию атомной энергии (Женева, 1958)». Докл. советских ученых. Т. 3. М., Атомиздат, 1959, стр. 101.
3. А. Д. Каблук, Г. И. Веретенов. «Геология рудных месторождений», № 2, 20 (1960).
4. А. Д. Каблук и др. Использование ореолов рассеяния урана и элементов-спутников при поисках и разведке гидротермальных урановых месторождений (методическое руководство). М., «Недра», 1964.
5. Р. И. Дубов. В сб. «Геохимия рудных месторождений». М., «Наука», 1964.
6. А. Г. Бетехтин. В сб. «Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях». М., Изд-во АН СССР, 1953.

Акцессорный торуранинит из нефелиновых сиенитов Тувы

Ю. Л. КАПУСТИН

УДК 549.51

Приведены данные о находке уранинита в нефелиновых сиенитах юго-восточной Тувы. Уранинит представлен двумя генерациями и отличается аномальным составом: в нем отсутствуют шестивалентный уран и свинец. Кроме того, изученный уранинит содержит около 27% ThO_2 , что также является необычным для уранинитов. Минерал имеет червеый состав редких земель. По физическим свойствам минерал близок к теоретическому соединению $(\text{U}, \text{Th})\text{O}_2$.

дах [1]. В нефелинсодержащих породах уранинит до сих пор не отмечался. Нами он обнаружен в щелочных массивах Коргерге-Даба, Пичехоль и Улан-Эрге (Сангилен, юго-восточная Тува), причем по своим свойствам и составу минерал резко отличается от обычных уранинитов из гранитных пегматитов.

Указанные массивы Тувы сложены трахитоидными гастингситовыми и эгирино-гастингситовыми нефелиновыми сиенитами. Они прорывают толщу мраморов и кристаллических сланцев протерозойского возраста [2]. В интрузивных массивах широко развиты пегма-

Уранинит до сих пор считался характерным акцессорным минералом кислых пород (гранитоидов) и их пегматитов. Известны единичные находки этого минерала в щелочных поро-